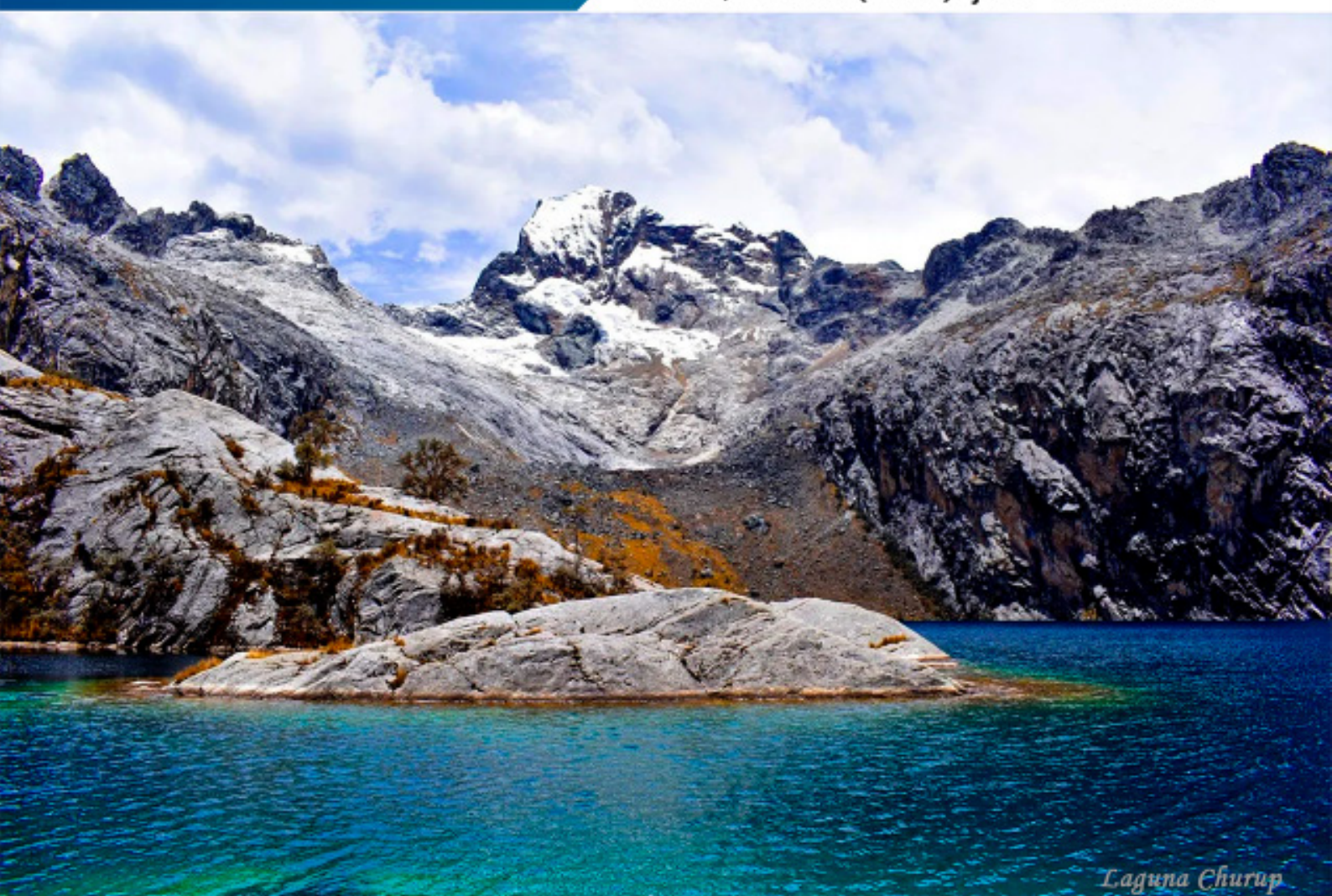




ISSN: 2616-9541

Revista de Investigación
APOORTE
SANTIAGUINO
Ingeniería e Innovación

Vol. 18, Núm. 2 (2025): julio-diciembre



Laguna Churup





AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

RECTOR

Dr. Carlos Reyes Pareja

VICERRECTOR ACADÉMICO

Dr. Marco Sila Lindo

VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN

Dra. Consuelo Valencia Vera

UNASAM
LICENCIADA

"Una Nueva Universidad para el Desarrollo"

¡La primera en la región Ancash!

ISSN-L: 2616-9541
ISSN: 2070-836X

**UNIVERSIDAD NACIONAL
SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO**
“Una Nueva Universidad para el Desarrollo”

Vicerrectorado de Investigación

Dirección del Instituto de Investigación

Revista de Investigación

**APORTE
SANTIAGUINO**

Ingeniería e Innovación

Vol. 18 Núm. 2 (2025), julio - diciembre



Huaraz, Perú

Revista de Investigación
APOORTE SANTIAGUINO
Ingeniería e Innovación
Vol. 18 Núm. 2 (2025), julio - diciembre





Cuerpo Editorial

DIRECCIÓN

Dra. Karina Soledad Vilca Mallqui

Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Perú
kvilcam@unasam.edu.pe

EDICIÓN

Dra. Karina Soledad Vilca Mallqui

Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Perú
kvilcam@unasam.edu.pe

COMITÉ EDITORIAL

Dr. Elio Alejandro Milla Vergara

Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Perú

Dr. Edwin Julio Palomino Cadenas

Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Perú

Dr. Julián Pérez Falcón

Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Perú

Dr. Edwin Johny Asnate Salazar

Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Perú

Mag. Katy Medina Marcos

Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Perú

Dr. Hugo Chirinos Collantes

Universidad Nacional de Ingeniería, Perú

Dr. Flavio Gutiérrez Segura

Universidad Nacional de Piura, Perú

Dr. Freddy Mejía Coico

Universidad Nacional de Trujillo, Perú

CONSEJO CONSULTIVO

PhD. Khngdet Phasinam

Pibulsonskram Rajabhat University, Thailandia

PhD. Raul Narciso Carvahlo Guedes

Universidade Federal de Vicosa, Brasil

Dr. Harold Blas Achic

Universidad Federal de Mato Grosso, Brasil

PhD. Ángel Cobo Ortega

Universidad de Cantabria, España

Dr. Raymundo Erazo Erazo

Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú

Dr. Jesús Edilberto Espinola Gonzales

Universidad Carlos III de Madrid, España

PhD. Eusebio Mercedes Ingol Blanco

Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú

Dr. Nicolás Kemper Valverde

Universidad Nacional Autónoma de México, México

PhD. Gretty Katherina Villena Chávez

Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú

Dra. Carmen Eusebia Palacios Jara

Universidade de São Paulo - Instituto de Biociências, Brasil

GESTIÓN DE LA REVISTA ELECTRÓNICA

William Eduardo Varillas

Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo

La revista de investigación *Aporte Santiaguino* es una publicación científica de periodicidad semestral. Tiene como objetivo difundir los resultados de los trabajos de investigación desarrollados en los ámbitos regional, nacional e internacional, como una contribución a la solución de la problemática natural, social y cultural.

La revista publica artículos científicos originales e inéditos en las Ingenierías. Los trabajos recepcionados son evaluados por árbitros externos según criterios de calidad.

La revista de investigación *Aporte Santiaguino* está indizada en el Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal (Latindex) y en el Directorio de Revistas de Acceso Abierto (DOAJ).

Hecho el depósito legal en la
Biblioteca Nacional del Perú N° 2008-13057
ISSN-L: 2616-9541
ISSN: 2070-836X

Comunicaciones:

Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.
Vicerrectorado de Investigación.
Dirección del Instituto de Investigación.
Av. Centenario N° 200, Huaraz, Perú.
Teléfono: (51) 043-640020 Anexo: 3613.
Apartado Postal: 70.
Correo electrónico: revistaaportesantiaguino@unasam.edu.pe.

El contenido de cada artículo es de responsabilidad exclusiva de los autores y no expresa, necesariamente, la opinión de la revista.

Licencia:

Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.
Vicerrectorado de Investigación



Licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-Compartir Igual 4.0 Internacional.

La revista está disponible a texto completo en la página web: <http://revistas.unasam.edu.pe>.

CONTENIDO

Vol. 18 Núm. 2 (2025), julio - diciembre

CONTENT

Vol. 18 Núm. 2 (2025), july - december

Artículos Originales

Análisis hipsométrico para la estimación de la evolución geomorfológica de la subcuenca del río Yurma, Mariscal Luzuriaga y Yungay (Áncash, Perú)

Toribio Reyes Rodriguez

Pág. 121-132

Comportamiento de la mezcla asfáltica modificada mediante la adición de polietileno de baja densidad

Wenceslao Garro Espinoza, Elio Milla Vergara, Alfredo Huaman Livia y Daylu Pagola Ávila

Pág. 133-142

Primer informe de caracterización molecular de *Septoria glycines* de soja en Argentina y Uruguay

Miguel Ángel Lavilla y Ana Edith Fernández

Pág. 143-146

Consecuencias del uso excesivo de pesticidas en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en el Callejón de Huaylas, campaña 2018 -2019

Eusebio Reyes Huamán, Marco Salvador-Mendez, Keila Borja Villanueva y Karina Vilca-Mallqui

Pág. 147-156

Análisis de relaves filtrados para la estabilización física en la conformación de una presa

Ronald Chilon Chilon

Pág. 157-168

Uso de relaves mineros como agregado fino en concreto de baja resistencia para veredas en una mina peruana (2025)

Luis Ewes Blas, Gustavo Bojorquez Huerta y Pedro Monja Ruiz

Pág. 169-180

Biocomercio y valoración de la biodiversidad del bosque amazónico en la selva central del Perú

Alejandrina Agui Ortiz

Pág. 181-190

Obtención y caracterización de un extracto hidrosoluble concentrado a base de tarwi (*Lupinus mutabilis* sweet) saborizado con esencias

Paula Falcón Romero, Ángel Peláez Cruzado, Estefanía Agurto Basurto, Yuly Colonia Villanueva y Elza Aguirre Vargas

Pág. 191-202

Comportamiento del concreto 175 kg/cm² en canales a 2800 - 3500 m s.n.m.

Sara Pillaca Mori

Pág. 203-214

Evaluación del impacto ambiental por emisiones atmosféricas y huella hídrica en las 5 empresas de transporte turístico del muelle de Puno – 2025

Julio Arestegui Flores, Abdail Pinto Chipana, Bladimir Chura Pacha, Hugo Apaza-Aquino

Pág. 215-224

CONTENIDO

Vol. 18 Núm. 2 (2025), julio - diciembre

CONTENT

Vol. 18 Núm. 2 (2025), July - December

Artículos de Revisión

Revisión sistemática del modelo SWAT como herramienta para evaluar el balance hídrico ante el cambio climático en Perú (2019-2024)

Fidel Aparicio Roque, Carlos Calvo Toledo y Eugenio Mejía Zúñiga

Pág. 225-235

Análisis hipsométrico para la estimación de la evolución geomorfológica de la subcuenca del río Yurma, Mariscal Luzuriaga y Yungay (Áncash, Perú)

Resumen



Toribio Reyes Rodríguez 
treyesr@unasam.edu.pe

Se analizó el comportamiento hipsométrico de la subcuenca del río Yurma, ubicada en las provincias de Mariscal Luzuriaga y Yungay (Áncash), con el objetivo de estimar su evolución geomorfológica. Se aplicó un diseño de investigación no experimental, corte transversal y de nivel descriptivo, empleando datos geoespaciales procesados con el software ArcGIS 10.8.2. Los resultados muestran que la integral hipsométrica es 0,427 y la desviación hipsométrica máxima es 0,184, lo cual indica que la subcuenca se encuentra en una etapa geomorfológica madura, con un relieve parcialmente erosionado y todavía funcional hidrológicamente. Estos indicadores reflejan un potencial erosivo moderado y una dinámica tectónica relativamente estable. Se concluye que el análisis hipsométrico constituye un método de evaluación para estimar el grado de evolución geomorfológica de las cuencas, así como para la planificación territorial y ambiental.

Palabras clave: Curva hipsométrica adimensional, Integral hipsométrica, Desviación máxima, Evolución geomorfológica.

“**Cómo citar este artículo:** Análisis hipsométrico para la estimación de la evolución geomorfológica de la subcuenca del río Yurma, Mariscal Luzuriaga y Yungay (Áncash, Perú). (2025). *Aporte Santiaguino*, 18(2), pp. <https://doi.org/10.32911/as.2025.v18.n2.1297>”



Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo - Huaraz - Perú.

Recibido: 2025-09-29 | Aceptado: 2025-08-12

Hypsometric analysis for estimating the geomorphological evolution of the Yurma, Mariscal Luzuriaga and Yungay river sub-basin (Áncash, Peru)

The hypsometric behavior of the Yurma River sub-basin, located in the provinces of Mariscal Luzuriaga and Yungay (Áncash), was analyzed with the aim of estimating its geomorphological evolution. A non-experimental, cross-sectional, descriptive research design was applied, using geospatial data processed with ArcGIS 10.8.2 software. The results show that the hypsometric integral is 0,427 and the maximum hypsometric deviation is 0,184, indicating that the sub-basin is in a mature geomorphological stage, with partially eroded relief that is still hydrologically functional. These indicators reflect moderate erosion potential and relatively stable tectonic dynamics. It is concluded that hypsometric analysis constitutes an evaluation method to estimate the degree of geomorphological evolution of basins, as well as for territorial and environmental planning.

Keywords: Dimensionless hypsometric curve, Hypsometric integral, Maximum deviation, Geomorphological evolution number.

Introducción

La subcuenca del río Yurma está ubicada en las provincias de Yungay y Mariscal Luzuriaga, específicamente se encuentra en los distritos de Llumpa y Yanama.

La curva hipsométrica se utiliza comúnmente para determinar las áreas situadas por encima o por debajo de una determinada cota topográfica de una cuenca. No obstante, también puede emplearse para la estimación de la evolución geomorfológica de una cuenca. Tanto la integral hipsométrica como la desviación hipsométrica son indicadores importantes del análisis hipsométrico, porque facilitan la

estimación de la evolución geomorfológica de una cuenca.

El objetivo general que orientó el trabajo de investigación fue: Realizar un análisis hipsométrico para estimar la evolución geomorfológica de la subcuenca del río Yurma, ubicada en las provincias de Mariscal Luzuriaga y Yungay (Áncash, Perú).

Vivoni et al. (2008) destacan que la forma hipsométrica de una cuenca influye significativamente en su comportamiento hidrológico. Las cuencas con curvas convexas, propias de terrenos poco erosionados, tienden a generar escurrimientos más rápidas e intensas. En cambio, las cuencas con curvas cóncavas, relacionadas a un mayor grado de erosión, generan escurrimientos más lentos y atenuados, debido a su topografía más llana.

El análisis hipsométrico de las cuencas del Valle del Rift Jordano evidencia que la mayoría de ellas se encuentran en una etapa juvenil de evolución geomorfológica, con valores de integral hipsométrica (HI) elevados, entre 0,63 y 0,88, y curvas convexas que indican procesos activos de erosión (Farhan, Anbarci, Al-Awadhi, 2016).

Bubú (2014) subraya que el análisis hipsométrico es importante para la estimación de la evolución geomorfológica de las cuencas, la forma de la curva hipsométrica está relacionada con la etapa geomorfológica de desarrollo de la cuenca, la curva hipsométrica de una cuenca es afectada por los factores geológicos y climáticos.

La forma de la curva hipsométrica proporciona información importante sobre de erosión de la cuenca y de los factores tectónicos que la controlan (Kim, 2022).

Bras (1990) destaca que en el estudio de la topografía de una cuenca de drenaje se emplea la curva hipsométrica, las diversas formas

de las curvas hipsométricas son causadas por los procesos de levantamiento tectónico y la degradación por erosión.

Bajracharya y Jain (2022) destacan que la curva hipsométrica representa la distribución del área en función de la altitud dentro de una cuenca, siendo una curva importante para la evaluación de su madurez geomorfológica y su evolución erosiva. La forma de la curva, ya sea cóncava o convexa, permite realizar inferencias de procesos hidrológicos relacionados con la escorrentía.

El análisis hipsométrico consiste en el empleo de la curva e integral hipsométrica para estimar el estado evolutivo de la cuenca.

Bras (1990) para transformar la curva hipsométrica a curva hipsométrica adimensional, las áreas acumuladas por encima de una determinada elevación se relativizan o normalizan, también las elevaciones.

Área acumulada relativa por encima de una elevación

$$A_r = \frac{a}{A}$$

Elevación normalizada

$$Z_r = \frac{Z - Z_{\min}}{Z_{\max} - Z_{\min}}$$

La curva hipsométrica adimensional se emplea para la realización del análisis de similitud altimétrica entre dos o más cuencas.

Strahler (1952) propuso una función de dos parámetros para la modelación de las curvas hipsométricas adimensionales:

$$Z_r = \left[1 - (A_r)^a\right]^b$$

Donde Z_r representa la altitud adimensional y A_r el área acumulada relativa. Los parámetros a y b describen la forma de la curva hipsométrica. Estos parámetros reflejan el estado morfológico de la cuenca y, de manera conjunta, permiten inferir el grado de erosión presente en la misma.

La integral hipsométrica es el área debajo de la curva hipsométrica adimensional, que representa el volumen de una cuenca que aún no ha sido erosionada. La altitud media adimensional de la curva hipsométrica es igual a su integral hipsométrica (Strahler, 1952).

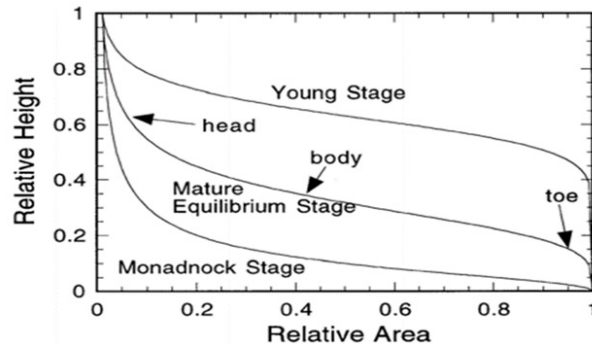
Ranjita (2015) afirma que la forma del relieve influye directamente en la dinámica del escurrimiento en la cuenca. Las cuencas con HI altas generan mayor escorrentía superficial, debido a la velocidad del flujo sobre pendientes fuertes y a la baja capacidad de retención.

La curva hipsométrica adimensional se clasifica según el valor de la integral hipsométrica (HI). Valores de HI mayores a 0.6 indican cuencas jóvenes con poca erosión (curva convexa). Valores entre 0.35 y 0.6 corresponden a cuencas en etapa madura. Valores menores a 0.35 reflejan cuencas antiguas y muy erosionadas (curva cóncava). Esta clasificación permite evaluar el grado de evolución geomorfológica de una cuenca (Duan et al., 2022).

Harsha (2020) presenta las formas de las curvas hipsométricas que se indica en la Figura 1.

Figura 1

Formas de las curvas hipsométricas adimensionales y estado geomorfológico



Nota. Harsha et al. (2020), basado en Willgoose y Hancock (1998).

Materiales y métodos

La investigación es de tipo aplicado porque busca emplear el análisis hipsométrico para estimar la evolución geomorfológica de la subcuenca Yurma. Este conocimiento es fundamental para la planificación territorial, la gestión del riesgo por erosión y sedimentación, y el diseño de estrategias de manejo sostenible de cuencas.

La investigación es de nivel descriptivo porque se enfoca en la caracterización hipsométrica de la subcuenca Yurma, con el propósito de determinar su evolución geomorfológica mediante los criterios establecidos por Strahler (1952), quien propuso este método.

El diseño de la investigación es no experimental y transversal. No experimental porque no se manipulan las variables ni se interviene directamente sobre el objeto de estudio. Es transversal porque el análisis se realiza en un momento específico, utilizando

datos geoespaciales para la caracterización de la subcuenca del río Yurma.

La muestra fue seleccionada de manera intencional con el fin de caracterizar hipsométricamente la subcuenca Yurma.

Las cartas nacionales 18h, 18i, 19h y 19i fueron descargadas del portal electrónico del Ministerio de Educación (MINEDU) y procesadas posteriormente con el software ArcGIS 10.8.2, con el objetivo de delimitar la cuenca, obtener los mapas geológico y ecológico, y para construir la curva hipsométrica dimensional y adimensional.

A partir de las áreas parciales adimensionales y las altitudes normalizadas, se ajustó la curva hipsométrica a la ecuación que se indica

$$Z_r = \left[1 - (A_r)^a\right]^b$$

Donde Z_r es la altitud normalizada y A_r es el área relativa acumulada de la cuenca del río Yurma.

La integral hipsométrica (HI) de la subcuenca del río Yurma se estimó con la fórmula que se indica

$$HI = \int_0^1 \left[1 - (A_r)^a\right]^b dA_r = \frac{1}{a} B\left(\frac{1}{a}, b+1\right)$$

También se dedujo la expresión que permite calcular la distancia desde un punto de la curva hipsométrica adimensional hasta dicha línea de equilibrio, la cual está dada por la siguiente ecuación

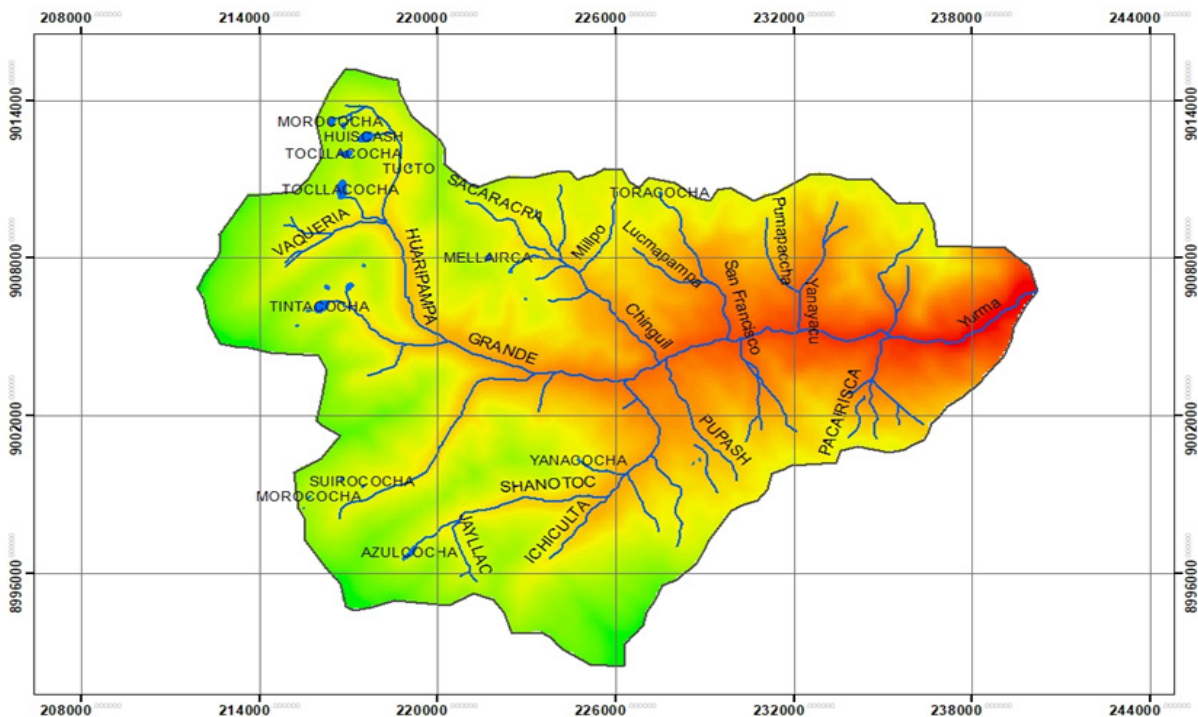
$$d = \frac{Z_r + A_r - 1}{\sqrt{2}}$$

Resultados

La subcuenca del río Yurma tiene un área de 350 km² y un perímetro de 91 km, coeficiente de Gravelius 1,362. La coordenada UTM – WGS84 del centroide de la subcuenca Yurma es (224910 m, 9004083 m), la elevación en la cuenca varía de 2399.92 m s. n. m. hasta 6196.79 m s. n. m. En la Figura 2 se indica el mapa de la subcuenca Yurma.

Figura 2

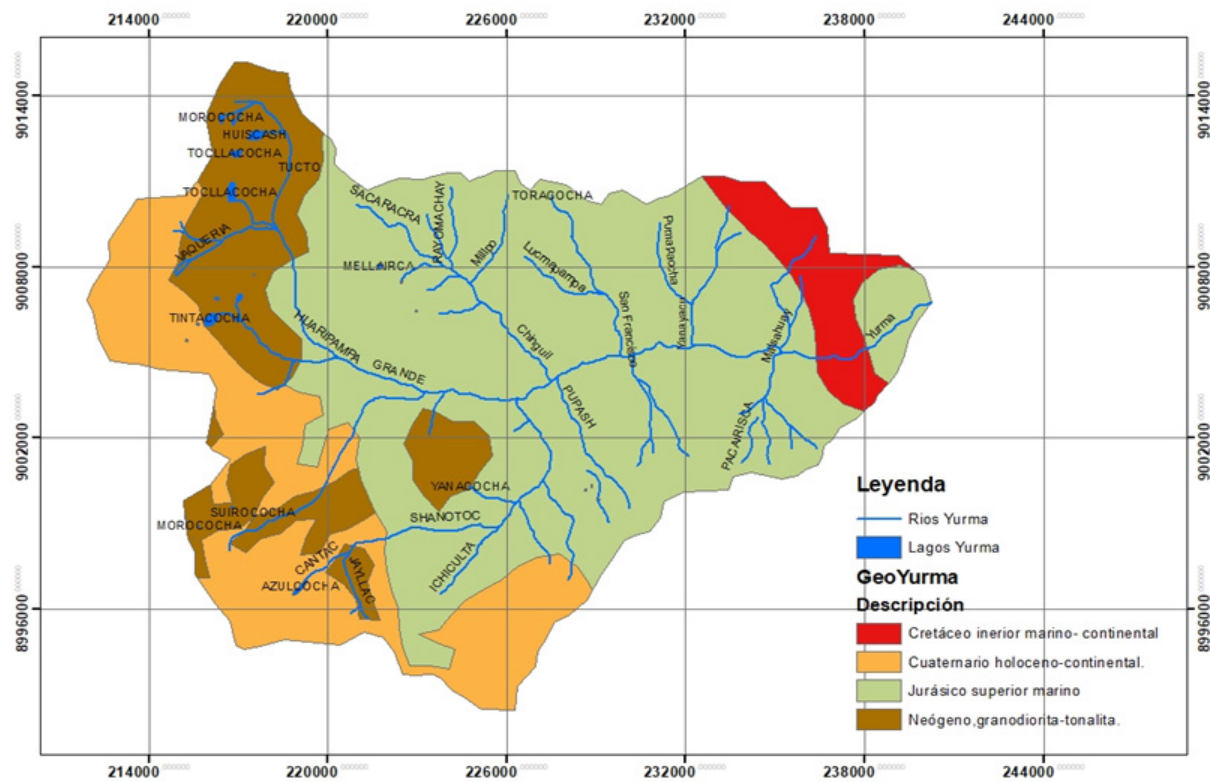
Mapa de la subcuenca del río Yurma



La subcuenca del río Yurma presenta una diversidad litológica acorde con una compleja evolución geodinámica. Predominan unidades sedimentarias marinas del Jurásico Superior (59,41 %) y del Cretáceo Inferior (19,73 %), constituidas principalmente por lutitas, calizas y areniscas, que son litologías de resistencia intermedia a baja, susceptibles a la erosión. También se reconocen rocas ígneas intrusivas del Neógeno (15,97 %) de mayor resistencia, y depósitos cuaternarios aluviales recientes (4,89 %), fácilmente erosionables. Tiene un relieve moderadamente erosionado, lo cual es consistente con la presencia dominante de rocas sedimentarias mesozoicas, parcialmente erosionadas, y con la dinámica geomorfológica activa evidenciada por los depósitos recientes y la incisión fluvial. En la Figura 3 se indica el mapa de las unidades geológicas en la subcuenca Yurma.

Figura 3

Mapa de unidades geológicas en la subcuenca Yurma

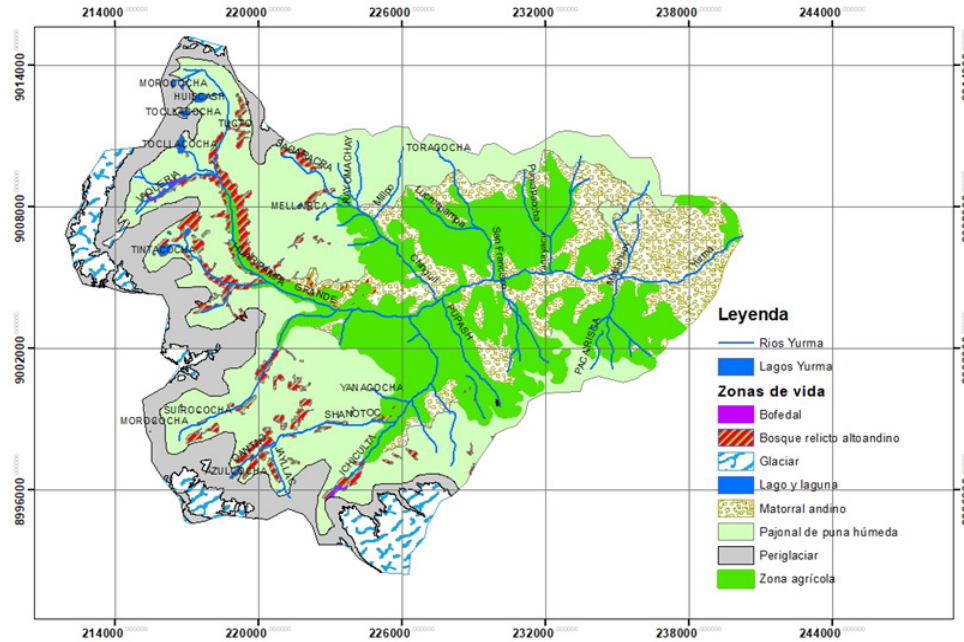


En la Figura 4, se indica el mapa de las zonas de vida de la subcuenca del río Yurma. La subcuenca del río Yurma presenta una variedad de zonas de vida distribuidas según la altitud y forma del relieve. Predominan los pajonales de puna húmeda y el matorral andino en sectores altos,

mientras que las superficies agrícolas se ubican en zonas intermedias con pendientes moderadas. Las coberturas glaciaria y periglaciaria ocupan las partes más elevadas, y otras coberturas, como bosque relicto y cuerpos lacustres, son escasas y localizadas.

Figura 4

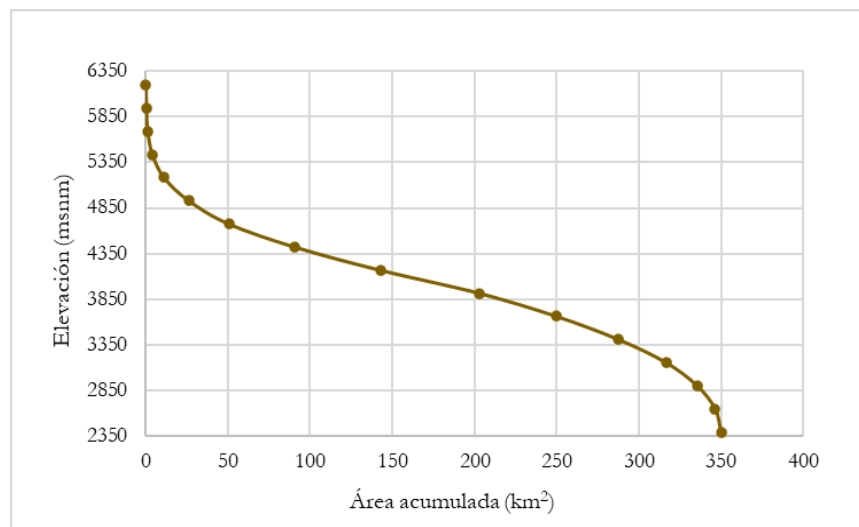
Zonas vida de la cuenca del río Yurma



En la Figura 5 se indica la curva hipsométrica de la subcuenca Yurma.

Figura 5

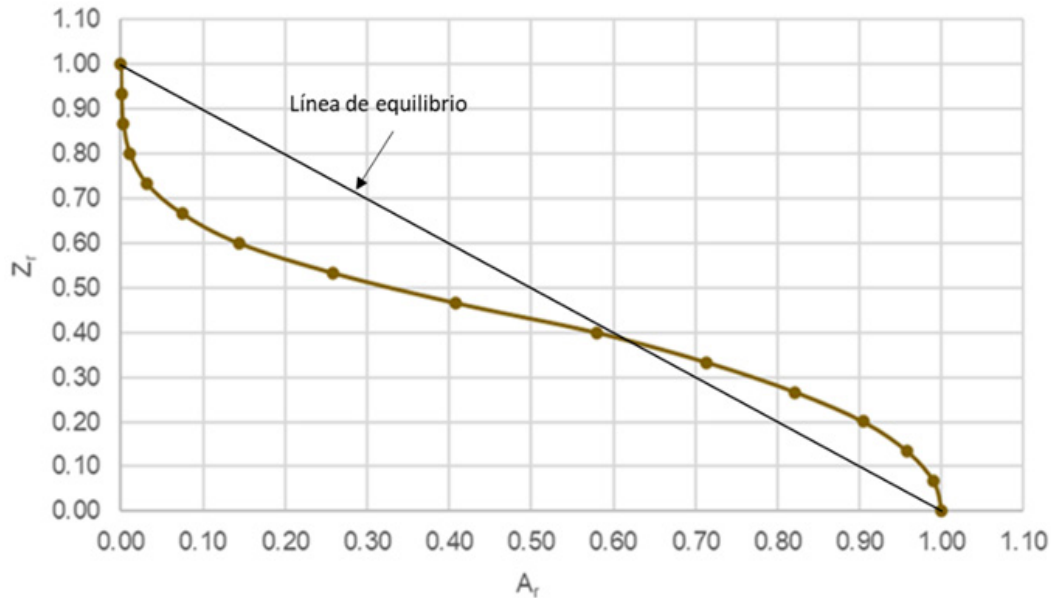
Curva hipsométrica de la subcuenca Yurma



En la Figura 6 se indica la curva hipsométrica adimensional y la línea de equilibrio de la subcuenca Yurma.

Figura 6

Curva hipsométrica adimensional y línea de equilibrio de la subcuenca Yurma



La curva hipsométrica de la subcuenca Yurma que se obtuvo se indica:

$$Z_r = \left[1 - (A_r)^{0.196} \right]^{0.415}$$

$$R^2 = 0.998$$

La integral hipsométrica de la subcuenca Yurma es igual a 0,427 que se obtuvo desarrollando la integral que se indica mediante la función beta (B)

$$HI = \int_0^1 \left[1 - (A_r)^{0.196} \right]^{0.415} dA_r = 0,427$$

Considerando que la integral hipsométrica es igual a la altitud media adimensional de la cuenca se obtuvo la altitud media de la cuenca

$$Z_m = (1 - HI)Z_{min} + (HI)Z_{max}$$

$$Z_m = 4021.18m.s.n.m.$$

Las desviaciones hipsométricas, entendidas como las distancias entre la curva hipsométrica y la línea de equilibrio, se calcularon mediante la siguiente ecuación:

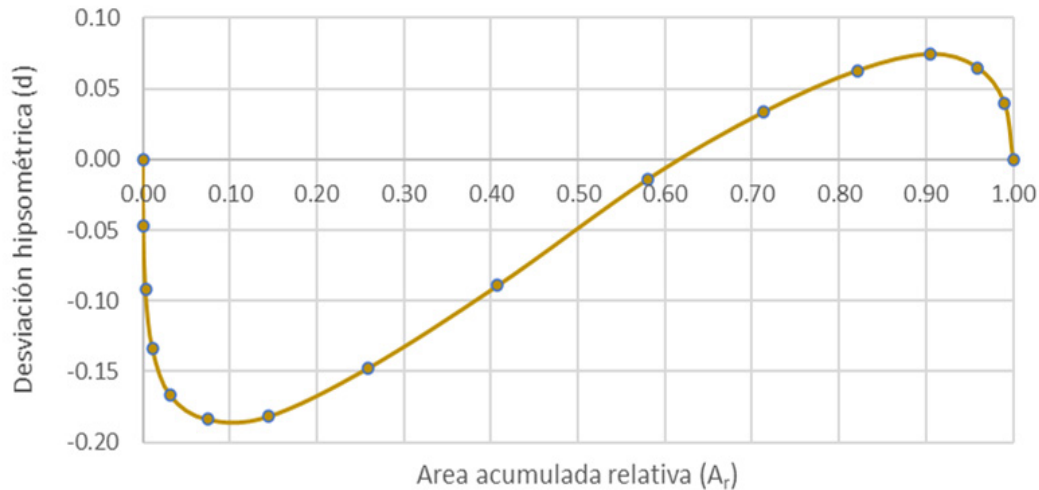
$$d = \frac{\left(\left[1 - (A_r)^{0.196} \right]^{0.415} + A_r - 1 \right)}{\sqrt{2}}$$

La desviación hipsométrica máxima es 0,184 en punto (0,075 y 0,667)

En la Figura 7, se indica el gráfico de las desviaciones hipsométricas versus el área acumulada relativa.

Figura 7

Desviaciones hipsométricas de la subcuenca Yurma



Discusión

El valor de la integral hipsométrica (HI) de 0,427 indica que la subcuenca del río Yurma se encuentra en una etapa geomorfológica madura, según la clasificación de Duan et al. (2022). Este valor indica que el relieve ha sido sometido a una evolución erosiva intermedia. La subcuenca Yurma conserva una topografía activa desde el punto de vista hidrológico, con pendientes capaces de generar escorrentía, pero también evidencia procesos erosivos sostenidos en el tiempo.

Desde el punto de vista geológico, la predominancia de rocas sedimentarias del Jurásico Superior (lutitas, calizas y areniscas), que representan el 59,41 % del área, confirma la vulnerabilidad a procesos de erosión hídrica. Esta susceptibilidad explica, en parte, la geomorfología actual de la cuenca. La presencia de rocas ígneas intrusivas neógenas (15,97 %), más resistentes a la erosión, condiciona localmente el relieve y actúa como barrera natural frente al avance erosivo. Los depósitos cuaternarios aluviales

(4,89 %) sugieren una dinámica geomorfológica reciente activa.

La zonificación de vida de la subcuenca Yurma refuerza el diagnóstico geomorfológico. Las coberturas de pajonal de puna húmeda, matorrales andinos y agricultura en terrazas, distribuidas según altitud y pendiente, reflejan un equilibrio dinámico entre la geomorfología y el uso del suelo. Las zonas agrícolas en pendientes intermedias evidencian la adaptación humana al relieve moderadamente erosionado, mientras que la cobertura glacial y periglacial en las zonas más altas sugiere una influencia climática importante en la dinámica geomorfológica, especialmente relacionada con el deshielo y la escorrentía.

La desviación hipsométrica máxima de 0,184, obtenida en el análisis comparativo entre la curva hipsométrica observada y la línea de equilibrio, respalda la hipótesis de una cuenca morfológicamente estabilizada, con baja actividad tectónica reciente. La subcuenca tiene una variabilidad litológica y ecológica.

Conclusiones

Del trabajo de investigación desarrollado se llegaron a las siguientes conclusiones:

El análisis hipsométrico aplicado a la subcuenca del río Yurma permitió estimar su grado de evolución geomorfológica, cumpliendo así el objetivo general de la investigación. El valor obtenido de la integral hipsométrica (HI = 0,427) confirma que la cuenca se encuentra en una etapa geomorfológica madura, lo que concuerda con los rangos propuestos por Duan et al. (2022).

La desviación hipsométrica máxima (0,184), indica que la forma de la cuenca difiere poco de la línea de equilibrio, lo cual es característico de cuencas estabilizadas con escasa actividad tectónica reciente (Kim et al., 2022; Mehar et al., 2018). Este resultado fortalece la validez del análisis matemático y geomorfológico aplicado en la investigación.

Desde la perspectiva geológica, la presencia predominante de rocas sedimentarias del Jurásico Superior y Cretácico Inferior de resistencia intermedia a baja, combinadas con rocas ígneas intrusivas del Neógeno y depósitos cuaternarios recientes, sustenta el patrón erosivo observado. Esta composición geológica condiciona la evolución del relieve y explica la madurez geomorfológica alcanzada.

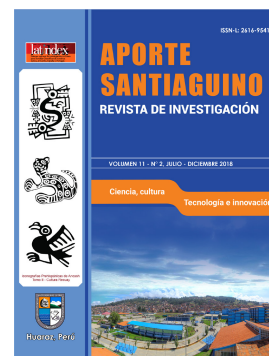
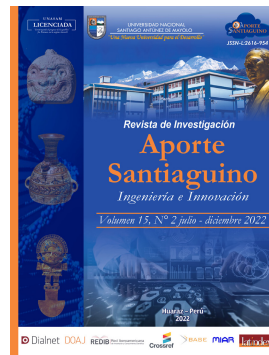
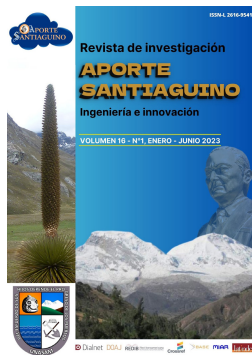
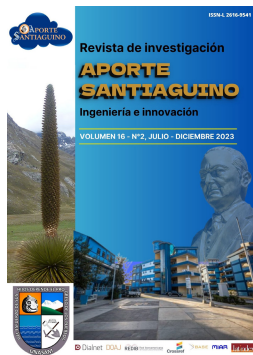
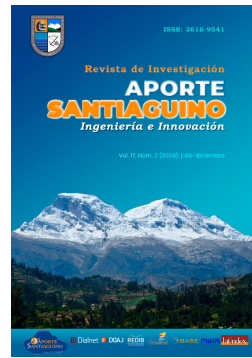
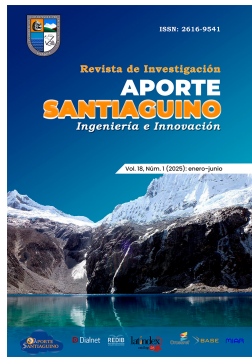
En el aspecto ecológico, la zonificación altitudinal que incluye pajonales de puna húmeda, matorrales andinos, zonas agrícolas, y coberturas glaciares en las partes altas, revela una interacción estrecha entre la morfología, la altitud y el uso del suelo. Esta estructura ecológica funcional refuerza la interpretación de una cuenca activa desde el punto de vista hidrológico, pero sin procesos erosivos extremos.

En conjunto, se concluye que la subcuenca del río Yurma presenta una dinámica geomorfológica madura, con potencial erosivo moderado, tectónica reciente poco activa, y una configuración geológica y ecológica coherente con los indicadores hipsométricos. Por tanto, el análisis hipsométrico se valida como un método eficaz para la evaluación geomorfológica integral de cuencas altoandinas y su aplicación en la planificación territorial y ambiental sostenible.

Referencias

- Bajracharya, P., Jain, S. (2022). Hydrologic similarity based on width function and hypsometry: An unsupervised learning approach. *Computers & Geosciences*, 162, 105097. <https://acortar.link/IyKd1H>
- Bras, R.(1990). *Hydrology: an introduction to hydrologic science*. USA: Addison – Wesley Publishing Company, Inc.
- Duan, Y., Pei,X., Zhang, X. (2022). The hypsometric integral based on digital elevation model for the area west of Lvliang mountains in loess Plateau, Shanxi, China. *Frontiers in Earth Science: 10*. <https://acortar.link/nL3z1i>
- Farhan, Y., Anbarci, M., Al-Awadhi, J. (2016). Regional hypsometric analysis of the Jordan Rift drainage basins (Jordan). *Open Journal of Geology*, 6(10), 1229–1250. <https://acortar.link/vQEnKn>
- Harsha, J., Ravikumar, A., Shivakumar, B. (2020). Evaluation of morphometric parameters and hypsometric curve of Arkavathy river basin using RS and GIS techniques. *Applied Water Science*, 10(86). <https://acortar.link/rzxWLa>

- Kim, D., Kim, J., Wang, W., Lee, H., Kim, H. (2022). On hypsometric curve and morphological analysis of the collapsed irrigation reservoirs. *Water*, 14(6), 907. <https://acortar.link/ZG0eGw>
- Ranjita, R., Kushwaha, R. (2015). Hipsometric analysis of a part of Ijai River, Manipur. *American International Journal of Research in Science, Technology, Engineering & Mathematics*: 346 – 349. <https://acortar.link/aIRg8L>
- Strahler, A. N. (1952). Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Geological Society of America Bulletin*, 63(11), 1117–1142. <https://acortar.link/fd1JV5>
- Vivoni, E., Di Benedetto, F., Grimaldi, S., Eltahir, E. (2008). *Hypsometric control on surface and subsurface runoff*. *Water Resources Research*, 44(12), W12502. <https://acortar.link/0v0UsB>



Comportamiento de la mezcla asfáltica modificada mediante la adición de polietileno de baja densidad

Resumen



Wenceslao Garro Espinoza 

wgarroe@unasam.edu.pe

Elio Milla Vergara 

emillav@unasam.edu.pe

Alfredo Huaman Livia 

ahuamanl@unasam.edu.pe

Daylu Pagola Ávila 

dpagolaa@unasam.edu.pe

El objetivo de la presente investigación fue contribuir y mejorar el comportamiento físico y mecánico de las mezclas asfálticas en caliente (MAC) mediante la modificación del cemento asfáltico (CA) al adicionarle polietileno de baja densidad (PEBD). Esto contribuye a mejorar la calidad de las mezclas asfálticas, respaldados por los parámetros que ofrece el ensayo Marshall. El método tiene un enfoque cuantitativo, diseño transversal debido a que se analizó el problema en su situación presente. Es experimental porque manipula las variables independientes. Es deductivo ya que parte de una caracterización general, de tipo descriptivo y explicativo. Los instrumentos utilizados son fichas de recolección de datos y formatos de laboratorio. Las fuentes utilizadas son el MTC, artículo científico, tesis, libros. Los resultados obtenidos de la mezcla asfáltica en caliente modificada (MACM) con respecto a la mezcla asfáltica en caliente (MACC) fueron: densidad 2 %, vacíos 15 %, el V.M.A -8 %, Vacíos Llenos del CA -7 %, Flujo en 6 % y Estabilidad 16 %. Se concluye que la adición de PEBD aporta de manera significativa en la mejora de la calidad de la MACC.

Palabras clave: Polietileno de baja densidad; Mezcla asfáltica modificada; Mezcla asfáltica convencional; Cemento asfáltico.

“**Cómo citar este artículo:** Comportamiento de la mezcla asfáltica modificada mediante la adición de polietileno de baja densidad. (2025). *Aporte Santiaguino*, 18(2), pp. <https://doi.org/10.32911/as.2025.v18.n2.1292>.”



Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo - Huaraz - Perú.

Recibido: 2025-08-29 | Aceptado: 2025-11-12



Behavior of the asphalt mixture modified through the addition of low-density polyethylene

The objective of this research is to contribute and improve the physical and mechanical behavior of hot mix asphalt (HCM) by modifying the asphalt cement (AC) by adding low-density polyethylene (LDPE), this contributes to improving the quality of asphalt mixtures, supported by the parameters offered by the Marshall test. The method has a quantitative approach, cross-sectional design because the problem was analyzed in its present situation, it is experimental because it manipulates the independent variables, it is deductive since it will start from a general characterization, descriptive and explanatory. The instruments used are data collection sheets, laboratory formats. The sources used are the MTC, scientific article, thesis, books. The results obtained from the modified hot mix asphalt (MACM) with respect to the hot mix asphalt (MACC) were: density 2 %, voids 15 %, V.M.A -8 %, Full Voids of CA -7 %, Flow at 6 % and Stability 16 %. Finally, it is concluded that by adding LDPE, it contributes significantly to improving the quality of the MACC.

Keywords: Low-density polyethylene, Modified asphalt mixture, Conventional asphalt mixture, Asphalt cement.

Introducción

El propósito de la presente investigación es que sus propiedades tanto físicas como mecánicas de la MAC obtengan un mejor comportamiento mediante la incorporación del polietileno de baja densidad (PEBD) al cemento asfáltico (CA) PEN 85/100 (mediante la técnica vía húmeda) proveniente del reciclaje, con la intención de brindarle una mejor resistencia y mayor durabilidad a la carpeta asfáltica del pavimento flexible ante el deterioro prematuro que sufre actualmente la carpeta asfáltica. En la actualidad,

la demanda de obtener pavimentos de mejor calidad, capaces de soportar esfuerzos, ha llevado al desarrollo de tecnologías nuevas de mezclas asfálticas conteniendo productos reciclados y/o químicos con el fin de obtener pavimentos con mejor comportamiento estructural frente al aumento de volumen vehicular y agresivos cambios climáticos y de esta manera aumentar su vida útil. Bajo estas condiciones, se propone una mezcla asfáltica modificada.

Contreras Vizcarra y Zuñiga Pinillos (2020) utilizaron diferentes tipos, porcentajes y tamaños de partículas de plásticos agregados a las mezclas para comparar las dos mezclas y analizar el grado de mejora que se consigue con la adición de plásticos, utilizando plásticos en mezclas asfálticas modificadas como aditivo a ligantes asfálticos. Consiguieron el mejoramiento de sus características tales como, la relación de vacíos, la estabilidad y el flujo, destacando que la propiedad mecánica de la Estabilidad es la más beneficiada con la adición de plásticos al asfalto.

Según Suaryana (2018), Indonesia es el segundo país más grande en contribuir con desechos marinos plásticos en el mundo. Por otro lado, Indonesia enfrenta problemas de pavimento debido a varias razones, por lo que su calidad necesita ser mejorada, así como el rendimiento del pavimento. La incorporación de residuos plásticos a la MAC en realidad tiene un efecto beneficioso para el mejoramiento de la calidad del pavimento. El uso de restos de plásticos utilizados en la construcción de pavimentos y carreteras se lleva a cabo incorporando los residuos plásticos a la MAC como aditivo con procesos de mezcla húmeda o seca. La finalidad de este trabajo fue la de investigar el desempeño en laboratorio de la MAC utilizando la adición o incorporación de los residuos plásticos y su efecto sobre la sensibilidad a la humedad, la resistencia ante las deformaciones y la duración ante la fatiga de la MAC. La adición de desechos plásticos en la MAC aumentará la Estabilidad Marshall y el módulo resiliente de la

mezcla mejorará la resistencia al desprendimiento, la susceptibilidad a la humedad y también la resistencia (estabilidad) a las formaciones de surcos. Hasta cierto contenido de plástico, la adición de residuos plásticos mejorará la vida útil, la fatiga y la resistencia al deshilachado de la MAC. Por el contrario, la adición excesiva de residuos plásticos disminuirá la vida útil a la fatiga y la resistencia al deshilachado en función a la MACC. La aplicación de campo es muy similar a la MAC convencional, excepto que requiere tiempo adicional durante el proceso de mezcla seca en la planta de producción.

Considerando el aumento significativo del volumen de tráfico, con vehículos de alta capacidad de carga y las condiciones climáticas del Perú, se debe adquirir experiencias que permitan incorporar nuevas tecnologías de la MAC. Por ello se pretende encontrar aquella forma de modificar las propiedades físicas y mecánicas de la carpeta asfáltica, lo que se logra mediante la adición del PEBD. Junto al problema del deterioro prematuro de los pavimentos, se encuentra la disposición inadecuada de los residuos sólidos como el plástico, el caucho y demás desechos. Estos residuos son difíciles de darle un tratamiento final, además de poseer el impacto ambiental negativo por su mal uso. Estos son abundantes en el Perú y no se ha definido un método adecuado para su posterior reutilización.

El objetivo de la presente investigación es contribuir y mejorar el comportamiento físico y mecánico de las mezclas asfálticas en caliente (MAC) mediante la modificación del cemento asfáltico (CA) al adicionarle polietileno de baja densidad (PEBD). Esto contribuye a mejorar la calidad de las mezclas asfálticas, respaldados por los parámetros que ofrece el ensayo Marshall.

Materiales y métodos

Por su naturaleza, los datos tienen un enfoque cuantitativo y un diseño transversal, debido a que se analizó el problema en su situación presente. Es experimental porque manipulamos las variables independientes que afectan a las dependientes y es deductivo porque parte de una caracterización general de los requerimientos de los resultados referidos a la modificación de cemento asfáltico adicionando el PEBD y su contribución en la mejora de la calidad de la mezcla asfáltica en caliente convencional. La investigación que se desarrolló es de tipo descriptivo porque describió el comportamiento de la MAC con la adición del PEBD en diferentes porcentajes contenidos en la mezcla asfáltica. Es explicativa porque detalla los efectos de adición del PEBD para otorgarle una mayor durabilidad a la carpeta asfáltica del pavimento flexible. El nivel de la investigación es descriptivo ya que su finalidad es describir parámetros de la variación respecto a la dosificación de cemento asfáltico convencional y el PEBD.

La población del estudio está compuesta por los especímenes de MAC y la muestra está constituida por 18 especímenes de MACC y 24 especímenes de MACM, tal como se aprecia en la Figura 1. La muestra elegida ha sido del tipo no probabilístico, intencionado.

Se empleó la técnica de la observación por medio de la investigación experimental. Los datos se recolectaron mediante tablas y formatos para la data de los ensayos de laboratorio.

Figura 1

Registro de valores de los especímenes de la MACC y MACM



En base al Manual de Carretas (MTC) que establece los parámetros a cumplir para los pavimentos flexibles, se realizó el muestreo de los agregados de la cantera de Recuay, la compra de CA PEN 85/100, cal y recolección de PEBD, tal como se aprecia en la Figura 2. Posteriormente, se elaboró en laboratorio 3 especímenes por muestra y se obtuvo un total de 24 especímenes para 6 muestras de la MACM (Tabla 1).

Figura 2

Entrega y recepción de los materiales para la elaboración de la MACC y MACM



Tabla 1

Muestras y porcentaje de PEBD (Polietileno de Baja Densidad) para mezclas asfálticas modificada

Muestras y porcentajes de PEBD para elaboración de MACM								
Muestras (8)	A'	B'	C'	D'	E'	F'	G'	H'
% de asfalto para c/m, incluido PEBD	6.0 %	6.0 %	6.0 %	6.0 %	6.0 %	6.0 %	6.0 %	6.0 %
% de Polietileno de Baja Densidad	1.0 %	1.5 %	2.0 %	3.0 %	5.0 %	7.0 %	9.0 %	12.0 %
Cantidad de especímenes	3	3	3	3	3	3	3	3
Total de especímenes	24							

Resultados

Para determinar el óptimo contenido del CA PEN 85/100 en la MAC, se consideró como punto de partida los resultados obtenidos en el laboratorio. Se analizaron los valores y curvas de cada parámetro Marshall, marcando y delimitando los valores mínimos y máximos admisibles para la mezcla asfáltica que se realizó. Estos valores están establecidos en el MTC (EG-2013), sección 423.

- El contenido de Vacíos permitido para determinar el óptimo contenido de CA es de 3 a 5, establecido en el MTC, EG-2013, sección 423. Esta gráfica de curva va limitando el óptimo contenido de CA. Es así que ahora el contenido del ligante se encuentra entre 5,5 % y 7,0 %. En esta gráfica se determina el contenido de CA del 6 % y la intersección con la curva se da en 4,1 % de vacíos en la mezcla.
- Se verificó que toda la curva de Vacíos en el Agregado Mineral (VMA) se encuentre por encima del 14 %, valor que cumple con lo establecido en el MTC, EG-2013, sección 423. Para esta gráfica de curva todos los porcentajes de cemento asfáltico cumplen.
- Posteriormente, se comprobó el valor de la estabilidad para el óptimo contenido del CA que se seleccionó previamente con el análisis del % de vacíos en la mezcla, según el MTC (EG-2013). La estabilidad para esta mezcla debe ser superior a 5.44 kN, lo cual cumple con este requerimiento.
- De igual manera, se comprobó el flujo para los contenidos de cemento asfáltico elegido. En este caso, la deformación según el MTC, EG-2013, sección 423, nos indica que el valor del flujo debe estar situado entre un valor mínimo de 8 y máximo 16, lo cual, de acuerdo a la curva nos limita a determinar que el contenido óptimo de CA para esta mezcla es del 6 %.

Tabla 2

Resultados de las propiedades físicas y mecánicas de la MACC

Resultados de los parámetros Marshall de la mezcla asfáltica convencional con adición de porcentajes de cemento asfáltico								Especificaciones Técnicas de control MTC EG-2013
C.A.	%	4.50	5.00	5.50	6.00	6.50	7.00	-
Densidad	(g/cm ³)	2.196	2.231	2.25	2.239	2.252	2.251	Máximo
Vacíos	%	6.50	5.60	4.70	4.10	3.70	3.10	3.00 - 5.00
V.M.A.	%	19.30	18.50	18.40	19.00	19.00	19.50	Mínimo 14
Vacíos llenos C.A.	%	66.50	69.60	74.30	78.20	80.70	84.30	65 - 78
Flujo (0.01")	(0.25mm)	15.30	15.40	14.50	14.20	18.20	25.00	8 - 16
Estabilidad	(KN)	16.80	17.10	18.00	14.90	12.90	9.50	Mínimo 5.44 KN
Estabilidad/flujo	(kg/cm)	4524.36	4598.33	5055.70	4285.60	2914.71	1578.61	1700 - 4000

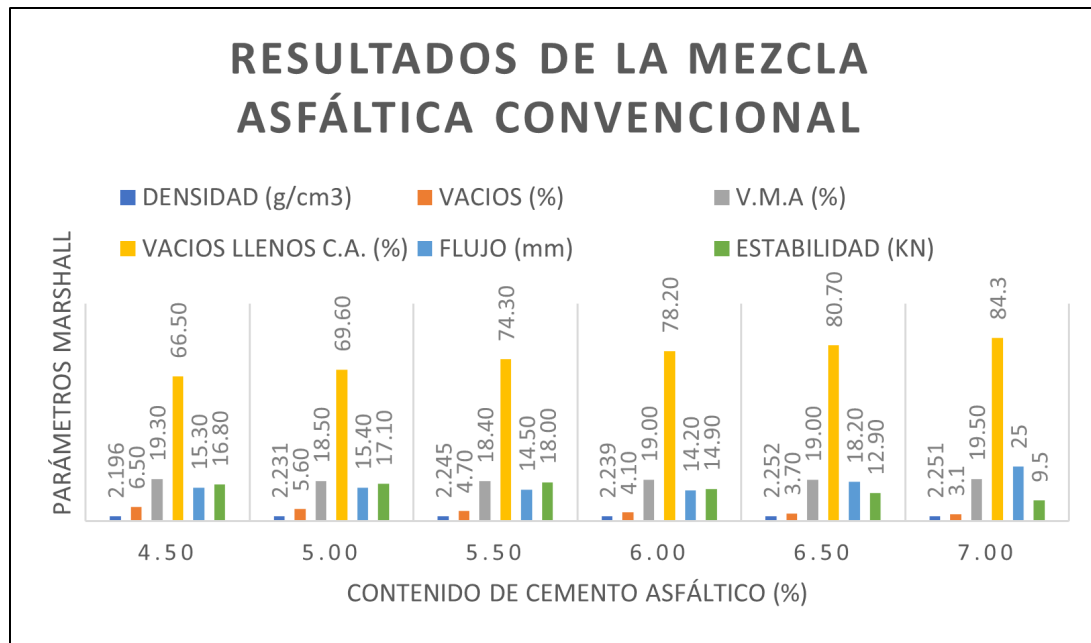
La Tabla 2 muestra el resumen de los resultados obtenidos de los parámetros Marshall con todos los porcentajes de contenido de CA presente en las MAC, determinando que el óptimo contenido de CA con el que cumple los requisitos para la producción de la MACM según el MTC, EG-2013 es el de 6,00 %.

En la Figura 3, se observa la gráfica de barras de los seis valores obtenidos con contenido

de CA en porcentajes de 4,50 %, 5,00 %, 5,50 %, 6,00 %, 6,50 % y 7,00 % para establecer el óptimo contenido de la MACC. Estos valores se obtuvieron mediante los parámetros del Equipo Marshall. De todos estos valores, se determinó que el óptimo contenido de CA en la MACC es el de 6,00 %, por cumplir con las condiciones que se encuentran señaladas en las Especificaciones Técnicas del MTC, EG-2013.

Figura 3

Propiedades físicas y mecánicas de MACC con el Ensayo Marshall



En la Tabla 3, se aprecia el resumen de los resultados obtenidos de las propiedades físicas y mecánicas de la MACM con sus respectivas adiciones en porcentaje de PEBD, evaluando y determinando que el porcentaje que cumple con los requerimientos del MTC, EG-2013, Sección 423 es el de 2.00 %.

En la Figura 4, se observa la gráfica de barras de los ocho valores obtenidos con la adición de PEBD en porcentajes de 1,00 %, 1,50 %, 2,00 %, 3,00 %, 5,00 %, 7,00 %, 9,00 % y 12,00 % añadidos en la MAC. Estos valores se obtuvieron por medio del Ensayo Marshall. De todos estos valores se determinó que la MACM con contenido del 2,00 % de PEBD es el que cumple con los requerimientos señalados en las Especificaciones Técnicas del MTC, EG-2013.

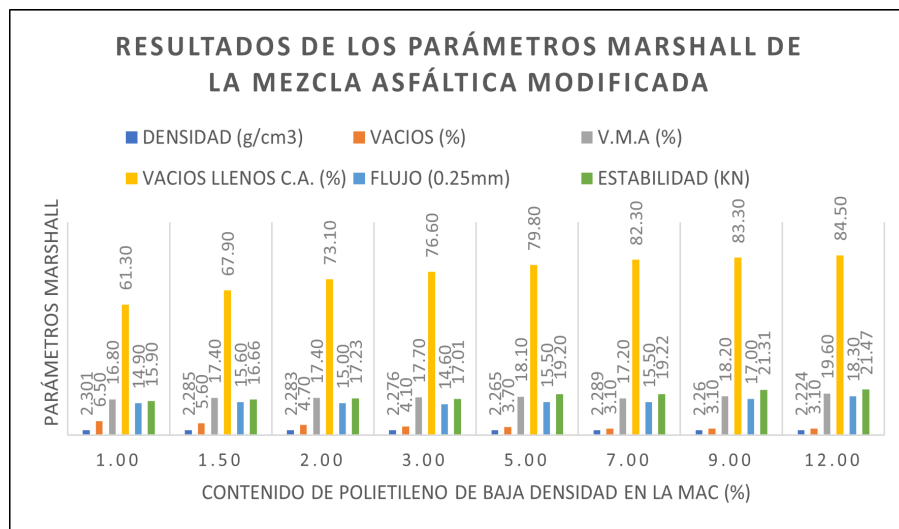
Tabla 3

Resultados de las propiedades físicas y mecánicas de la MACM con PEBD

Resultados de los parámetros Marshall de la mezcla asfáltica modificada con adición de polietileno de baja densidad										Técnicas de control MTC, EG-2013
PBD respecto al C.A	%	1.00	1.50	2.00	3.00	5.00	7.00	9.00	12.00	-
C.A	%	5.94	5.91	5.88	5.82	5.70	5.58	5.46	5.28	-
Densidad	g/cm ³	2.30	2.29	2.28	2.28	2.27	2.29	2.26	2.22	Máximo
vacíos	%	6.50	5.60	4.70	4.10	3.70	3.10	3.10	3.10	3.00 - 5.00
V.M.A	%	16.80	17.40	17.40	17.70	18.10	17.20	18.20	19.60	Mínimo 14
Vacíos llenos de C.A	%	61.30	67.90	73.10	76.60	79.80	82.30	83.30	84.50	65 - 78
Flujo 0,25 mm		14.90	15.60	15.00	14.60	15.50	15.50	17.00	18.30	8 - 16
Estabilidad	kN	15.90	16.66	17.23	17.01	19.20	19.22	21.31	21.47	Mínimo 5.44 kN
Estabilidad/flujo	kg/cm	4357.40	4353.85	4708.95	4731.59	5157.35	5043.45	5087.19	4774.04	1700 - 4000

Figura 4

Propiedades físicas y mecánicas de la MACM con el Ensayo Marshall



A continuación, en la Tabla 4 se muestra los resultados finales de la variación de las propiedades físicas y mecánicas de la MACC con respecto a la MACM.

Tabla 4

Resultados de la variación de las propiedades físicas y mecánicas de la MACC con respecto a la MACM

Parámetros	Variación de parámetros Marshall de la mezcla asfáltica modificada con respecto a la mezcla asfáltica convencional		Variación %	Especificaciones técnicas de control MTC-EG 2013
	Mezcla asfáltica convencional	Mezcla asfáltica modificada		
PEBD respecto al CA (%)	-	2.00	-	-
CA (%)	6.00	5.88	98 %	-
Densidad (g/cm ³)	2.239	2.283	102 %	-
Vacíos (%)	4.10	4.70	115 %	3.00 - 5.00
V.M.A (%)	19.00	17.40	92 %	Mínimo 14
Vacíos llenos CA	78.20	73.10	93 %	65 - 78
Flujo (0.01") (0.25 mm)	14.20	15.00	106 %	8 - 16
Estabilidad (kN)	14.90	17.23	116 %	Mínimo 5.44 (kN)
Estabilidad/Flujo (kg/cm)	4285.60	4708.95	110 %	1700 - 4000

Discusión

La discusión se realizó partiendo de los resultados obtenidos en esta investigación, los mismos que son comparados y contrastados con los estudios realizados anteriormente.

Según Rondón Quintana y Reyes Lizcano (2015), con la adición de polímeros u otros productos al asfalto se modifican las propiedades físico-mecánicas, químicas y reológicas de las mezclas asfálticas. Cuando se utiliza esta tecnología se pretende mejorar el comportamiento que experimentan las mezclas tradicionales cuando son sometidas a diferentes condiciones de carga y del medio ambiente. De igual manera, Contreras Vizcarra y Zuñiga Pinillos (2020) hacen saber sobre el empleo del plástico en la MAC en la cual, utilizando diferentes tipos, proporciones y tamaños de partículas de plásticos agregados a las mezclas, compararon ambas mezclas y se observó

la mejora por la adición de plásticos como aditivos a la capa asfáltica en las propiedades mecánicas tales como la Relación de Vacíos, la Estabilidad y el Flujo, destacando notablemente que la propiedad mecánica que más se beneficia al agregar plástico al asfalto es la Estabilidad.

Delgado Reyes y Solano Paredes (2019) investigaron los efectos causados por diferentes porcentajes (3 %, 6 % y 9 %) de gránulos de plástico PEBD en la MAC. Se realizaron pruebas Marshall para establecer la estabilidad y el comportamiento del flujo en un total de 48 briquetas. Los resultados evidencian que un porcentaje mayor de gránulos de plástico PEBD en la MAC conduce a una mejor estabilidad y fluidez, siempre respetando y cumpliendo con lo que establece la norma peruana MTC, EG-2013. Para la estabilidad de 1200 kg y el

flujo de 3,12 mm, se determinó que el contenido óptimo de asfalto de la MAC base era del 5,8 %. Por otro lado, los gránulos de plástico PEBD al 6 % fueron los más representativos de los tres diseños de la MACM y el óptimo contenido de asfalto modificado es de 5.78 % con una estabilidad de 1380 kg, un flujo de 3.45 mm, una rigidez Marshall de 3994.91 kg/cm, vacíos con aire de 4 % y un V.M.A de 15.05 %. La estabilidad de la MACM aumentó en un 15 % y la rigidez Marshall aumentó en un 4 % cuando se incorporaron gránulos de plástico PEBD al 6 % en relación con la mezcla asfáltica base, pero no hubo aumento en las variables de flujo.

Finalmente, Suaryana (2018) investigó el desempeño en laboratorio de la MAC utilizando la adición de residuos plásticos y su efecto sobre la sensibilidad a la humedad, la resistencia a la deformación y la vida a fatiga de la mezcla asfáltica. La adición de desechos plásticos en la MAC aumentó la estabilidad Marshall y el módulo resiliente de la mezcla mejoró la resistencia al desprendimiento, la sensibilidad a la humedad y también la resistencia a la formación de surcos. Hasta cierto contenido de plástico, la adición de residuos plásticos mejoró la vida útil a la fatiga y la resistencia al deshilachado de la MAC. Por el contrario, la adición excesiva de residuos plásticos disminuyó la vida útil a la fatiga y la resistencia al deshilachado en comparación con la MACC. Según el resultado de la prueba Marshall, la adición de desechos plásticos aumenta la estabilidad Marshall de la MAC. Cuantos más desechos plásticos se agreguen a la mezcla, mayor es la estabilidad Marshall. La mezcla asfáltica con un 10 % de adición de residuos plásticos da mayor estabilidad. Esto está relacionado con el incremento de la rigidez de la mezcla debido a la adición de plástico. El plástico derretido se adhiere a la superficie del agregado, lo que aumenta la adherencia del áspalo y el agregado.

Las investigaciones descritas reafirman lo obtenido en la presente investigación, al obtener

mejoras de los parámetros físicos y mecánicos de la MACC por el Ensayo Marshall, mejorando considerablemente la Estabilidad de 14.90 kN a 17.23 kN y el Flujo de 14.20 (0.25mm) a 15.00 (0.25mm), cumpliendo con lo determinado en las Especificaciones Técnicas del MTC, EG-2013, tal como se aprecia en la Tabla 3.

Conclusiones

Al adicionar el polietileno de baja densidad, la mejora la calidad de las características de la mezcla asfáltica en caliente convencional, lo que significa mayor resistencia y durabilidad de la carpeta asfáltica frente a las condiciones desfavorables de clima y del incremento de volumen vehicular, que por consecuencia incrementa la vida útil de pavimento.

Se determinó mediante los ensayos realizados que el óptimo contenido del cemento asfáltico presente en la mezcla asfáltica convencional es del 6,00 %. Es así que para la mezcla asfáltica modificada se estableció la dosificación adecuada del 2,00 % del polietileno de baja densidad, lo que dio como resultado un mejor comportamiento físico de la mezcla modificada basado en los parámetros Marshall obtenidos, los cuales cumplen con los requisitos de calidad establecidos por el MTC, EG-2013. Se obtuvo los siguientes resultados con respecto a la mezcla asfáltica convencional, el contenido de cemento asfáltico(%) bajo de 6,00 % a 5,88 %, lo que nos permite un ahorro considerable del 0,12 % de CA, la densidad (g/cm³) aumento de 2.239g/cm³ a 2.283g/cm³ lo que permite tener una mezcla más densa. El porcentaje de vacío con aire (%) aumentó de 4.1 a 4.7, lo que permite cumplir con el rango establecido que es de 3 % a 5 %. Los vacíos de agregado mineral VMA (%) disminuye de 19,00 % a 17,4 % cumpliendo con el mínimo establecido de 14 %, los vacíos llenos con CA (%) disminuye de 78.2 a 73.10 cumpliendo ambos con el rango de 65 a 78.

La adición del polietileno de baja densidad en la mezcla asfáltica, mediante el proceso por vía húmeda, se incrementa de manera notable el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica modificada, esto con respecto a la mezcla asfáltica convencional, en los siguientes indicadores Marshall, la Estabilidad (KN) se incrementó considerablemente de 14.90 KN a 17.23 KN, cumpliendo con el valor mínimo de 5.44 KN. Este aumento es un indicador de su mayor resistencia a la deformación. Con respecto al Flujo (0.25mm), aumentó de 14.20 a 15.00, cumpliendo con el rango permitido de 8-16. Este incremento es un indicador de su mayor flexibilidad. Finalmente, la Estabilidad/Flujo (Kg/cm) aumentó de 4285.60 kg/cm a 4708.95 kg/cm. Estos dos resultados, tanto de la mezcla convencional, como de la mezcla modificada, se encuentran fuera del intervalo permitido, que es de 1700 a 4000 kg/cm, según establece el MTC (EG-2013). Este incremento es un indicador de mayor rigidez.

Agradecimientos

Agradezco infinitamente a Dios por siempre acompañarme a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza, y también a mi familia por su apoyo incondicional.

A la prestigiosa Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo y en ella a la Facultad de Ingeniería Civil, encargada de nuestra formación profesional y ética para contribuir con el desarrollo de nuestra sociedad.

Referencias

Contreras Vizcarra, D. F., & Zuñiga Pinillos, J. M. (2020). *Influencia de los desperdicios plásticos en las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas modificadas*. <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/3686>

Delgado Reyes, C. N., & Solano Paredes, S. J. (2019). Análisis de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente con la adición de. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/41898>

Marea Verde, P. (29 de 09 de 2020). *Marea Verde Panamá*. https://twitter.com/MareaVerde_PA/status/1311098803718696961

MTC. (2013). EG. Lima. https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_10%20EG%202013.pdf

MTC. (3 de junio de 2016). *Manual de Ensayo de Materiales*. https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_5%20%20EM-2016.pdf

MTC. (2018). *Glosario de Términos de Uso Frecuente en Proyectos de Infraestructura Vial*. https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/03_GT%20Uso%20Frecuente.pdf

Rodríguez, D. (28 de 03 de 2019). *Los 7 tipos de plásticos, características y usos*. <https://www.lifeder.com/tipos-de-plasticos/>.

Rondón Quintana, H. A., & Reyes Lizcano, F. A. (2015). *Pavimentos, materiales, construcción y diseño*. <https://onx.la/7197b>

Suaryana, N. N. (2018). Residuos de bolsas de plástico en mezcla asfáltica en caliente como modificador. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.789.20>

Turmero, P. (2011). *Materiales Plásticos*. <https://tinyurl.com/24g4uxcy>

Primer informe de caracterización molecular de *Septoria glycines* de soja en Argentina y Uruguay

Resumen



Miguel Ángel Lavilla¹ 

aefernandez@comunidad.unnoba.edu.ar

Ana Edith Fernández¹ 

mllavilla@comunidad.unnoba.edu.ar

La mancha marrón en soja es causada por *Septoria glycines* Hemmi. El objetivo del estudio fue analizar molecularmente los aislamientos de *Septoria glycines* en Argentina y en Uruguay. Estos aislamientos fueron incubados a 24 ± 2 °C en agar papa dextrosa (PDA) durante 15 días. Cada uno de los 12 aislamientos fueron analizados mediante amplificación por PCR y secuenciación de fragmentos de la región espaciadora transcrita interna (ITS) y del gen de actina (ACT) con los primers: ITS1 / ITS4, ACT-512F / ACT-783R. Los resultados indican que fue posible identificar 7 y 8 haplotipos diferentes con las secuencias diana ITS y actina, respectivamente. Las secuencias ITS, bajo los números de acceso de Genbank MT162722-MT162733, mostraron homologías del 98,54 % al 99,38 % con las secuencias ITS de *S. glycines* KU195826.1 de China y AY826767.1 de EE. UU. Las secuencias de actina MT180168.1-MT180179.1 mostraron homologías del 97,35 % al 100 % con KF253733.1, previamente reportada como *S. glycines* en Japón. También se encontraron altas homologías con ITS y secuencias de actina de otras especies de China (*S. tormentillae* -MN150507.1), Japón (*S. menthae*-KF253780.1), Corea del Norte (*S. glycinicola*- KF253734.1, *S. codonopsidis* - KF253689.1) e Irán (*S. sonchi*-JQ308342.1). Sin embargo, ninguna de estas especies fue reportada como agente etiológico de la enfermedad de la mancha marrón en soja. Se concluye que la información genética confirmó que los aislamientos pertenecían a *Septoria glycines*. Esta es la primera descripción molecular del patógeno en Sudamérica.

Palabras clave: *Septoria glycines*, Soja, ITS, Actina, Haplotipos.



Cómo citar este artículo: Primer informe de caracterización molecular de *Septoria glycines* de soja en Argentina y Uruguay. (2025). *Aporte Santiaguino*, 18(2). <https://doi.org/10.32911/as.2025.v18.n2.1288>.



Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires. Pergamino, Argentina.

Recibido: 2025-10-09 | Aceptado: 2025-11-12



Primer informe de caracterización molecular de *Septoria glycines* de soja en Argentina y Uruguay

Brown spot on soybeans is caused by *Septoria glycines* Hemmi. The objective of the study was to molecularly analyze the isolates of *Septoria glycines* in Argentina and Uruguay. These isolates were incubated at 24 ± 2 °C in potato dextrose agar (PDA) for 15 days. Each of the 12 isolates were analyzed by PCR amplification and sequencing of fragments of the internal transcribed spacer region (ITS) and the actin gene (ACT) with the primers: ITS1 / ITS4, ACT-512F / ACT-783R. The results indicate that it was possible to identify 7 and 8 different haplotypes with the target sequences ITS and actin, respectively. The ITS sequences, under the Genbank accession numbers MT162722-MT162733, showed homologies of 98.54 % to 99.38 % with the ITS sequences of *S. glycines* KU195826.1 from China and AY826767.1 from the USA. Actin sequences MT180168.1-MT180179.1 showed homologies of 97.35 % to 100 % with KF253733.1, previously reported as *S. glycines* in Japan. High homologies with STIs and actin sequences from other species were also found from China (*S. tormentillae*-MN150507.1), Japan (*S. menthae*-KF253780.1), North Korea (*S. glycinicola*-KF253734.1, *S. codonopsidis* -KF253689.1) and Iran (*S. sonchi*-JQ308342.1). However, none of these species was reported as an etiologic agent of soybean brown spot disease. It is concluded that the genetic information confirmed that the isolates belonged to *Septoria glycines*. This is the first molecular description of the pathogen in South America.

Keywords: *Septoria glycines*, Soybean, ITS, Actin, Haplotype.

Introduction

Brown spot, caused by the fungus *Septoria glycines*, is one of the most common foliar diseases of soybean (*Glycine max*).

Lesions begin as dark brown and irregularly shaped, with the surrounding tissue turning yellow or chlorotic, and affected leaves may drop prematurely (Young, 1979).

Although disease susceptibility varies among lines, there are no sources of resistance or genes for this disease (Brogin et al., 2003). The fungal pathogen, *S. glycines*, overwinters in soybean debris forming pycnidia. Pycnidiospores produced in the following growing season are spread by rain splash to seedlings and initiate initial outbreaks from the lower canopy. Typical symptoms of this disease are irregular brown necrotic lesions surrounded by an extensive chlorotic zone. Vertical progression of disease development in the later stages of soybean maturity is positively associated with yield loss. We previously reported that when disease symptoms reach up to 30 % of plant height at the R6 stage, it leads to an estimated 10 % yield loss, and if it reaches 80 % of plant height, it leads to an estimated 27 % yield loss (Carmona, 2014).

The objective was to molecularly analyze *Septoria glycines* isolates from Argentina and Uruguay.

Materials and methods

Isolations were made from leaves from Argentina and Uruguay under a vertical laminar flow chamber (Dahuerhaft by BIOBASE BIODUSTRY (SHANDONG) Co., Ltd.) with the burner lit under sterile conditions, in Petri dishes previously prepared using Potato Dextrose Agar (PDA) as the culture medium, with a pH of 5.5. The culture medium was incubated for 15 days in a growth chamber at $24^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, alternating between 12 hours of near-ultraviolet light and 12 hours of darkness. The isolates were described macroscopically and microscopically.

Molecular Study of *Septoria* Isolates

To conduct the molecular study of the isolates, approximately 50 mg of fresh, actively growing mycelium was sampled. DNA was extracted, and its quality and concentration were estimated on 0,8 % agarose gels stained with ethidium bromide (5 µl/100 ml TAE) and compared with samples of known concentration. These DNAs were subsequently used to amplify two known partial sequences by polymerase chain reaction (PCR). The primers were named: actin and the internal transcribed spacer (ITS) region.

The samples were amplified in a 30 µl reaction volume. Each reaction used 1 µl of template DNA, 7.8 µl of reaction mix, and 0.23 µl of Taq.

The reaction mix was made with 500 µl of 10X Buffer, 150 µl of MgCl₂ (50 mM), 10 µl of each of the dNTPs (100 mM), and adjusted to a final volume of 1300 µl with water.

The annealing temperature or *T_M* was different for each sequence: act: 53 °C and ITS: 55°C.

The thermocycling program used was as follows: 5 min at 95 °C; 45 cycles of 45 seconds at 94 °C, 45 seconds at the annealing (melting) temperature (*T_M*) corresponding to each primer pair, and 45 seconds at 72 °C. and a final extension step of 10 min at 72°C. The PCR amplification products were stored in a freezer at -20°C.

Before sending the samples for sequencing, the quality and quantity of amplified DNA were analyzed on agarose gels as previously described, using 3 µl of the PCR product, 10 µl of xylene glycol as a dye, and 5 µl of 100 bp marker. The PCR products were sent to an external sequencing service provider using the Sanger technique (Macrogen, Korea).

Results

Seven and eight different haplotypes were identified with the ITS and actin target sequences, respectively. The ITS sequences, under Genbank accession numbers MT162722-MT162733, showed 98,54 % to 99,38 % homologies with the ITS sequences of *S. glycines* KU195826.1 from China and AY826767.1 from the USA. The action sequences MT180168.1-MT180179.1 showed 97,35 % to 100 % homologies with KF253733.1, previously reported as *S. glycines* in Japan. High homologies with ITS and action sequences from other species from China (*S. tormentillae* -MN150507.1), Japan (*S. menthae*-KF253780.1), North Korea (*S. glycinicola*-KF253734.1, *S. codonopsidis* - KF253689.1) and Iran (*S. sonchi* -JQ308342.1) were also found; however, none of these species was reported as an etiological agent of soybean brown spot disease.

Discussion

It is considered an end-of-cycle disease, although it can manifest throughout the crop, but it becomes more widespread in advanced reproductive stages (R5-R6) (Carmona 2014).

The G143A mutation (Bolton et al., 2012) has been detected in the mitochondrial *cytb* gene of *Septoria glycines*, associated with resistance to QoI fungicides (quinone inhibitors). This mutation indicates the need to monitor the fungus' sensitivity to fungicides and the dynamics of these mutations at the population level.

The *cytb* gene is a key component of the mitochondrial respiratory chain and plays an important role in fungicide resistance in several fungi (Rivera et al., 2018).

The pathogen often infects plants at the V2 to V3 stage and remains in the lower canopy until the reproductive stage.

The development of specific and sensitive molecular tools for the detection, quantification, and diagnosis of *Septoria brown spot* is necessary to manage fungicide applications, better understand epidemics caused by this disease, and characterize the pathogen's interactions with other late-season soybean diseases (White et al., 1990).

The *Septoria glycines* sequences used were identified for the species at NCBI

Conclusions

Genetic information confirmed that the isolates belonged to *Septoria glycines*. This is the first molecular description of the pathogen in South America.

References

- Bolton, M. D., Rivera, V., & Secor, G. (2012). Identification of the G143A mutation associated with QoI resistance in *Cercospora beticola* field isolates from Michigan, United States. *Pest Management Science*, 69(1), 35-39. <https://doi.org/10.1002/ps.3358>
- Brogini, C., Arias, C., & Toledo, J. (2003). Genetic control of soybean resistance to brown spot (*Septoria glycines*): first studies. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 3(1), 35-44. <https://doi.org/10.12702/1984-7033.v03n01a05>
- Carmona, M. A. (2014). *Enfermedades de fin de ciclo y mancha ojo de rana en el cultivo de soja: desarrollo de un sistema de puntuación y determinación del umbral de control*. <https://doi.org/10.35537/10915/34100>
- Rivera, P. C., González-Ittig, R. E., Barcia, A. R., Trimarchi, L. I., Levis, S., Calderón, G. E., & Gardenal, C. N. (2018). Molecular phylogenetics and environmental niche modeling reveal a cryptic species in the *Oligoryzomys flavescens* complex (Rodentia, Cricetidae). *Journal Of Mammalogy*, 99(2), 363-376. <https://doi.org/10.1093/jmammal/gyx186>
- White, T., Bruns, T., Lee, S., & Taylor, J. (1990). Amplification And Direct Sequencing of Fungal Ribosomal Rna Genes for Phylogenetics. En *Elsevier eBooks* (pp. 315-322). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-372180-8.50042-1>
- Young, L. D. (1979). Brown Spot Development and Yield Response of Soybean Inoculated with *Septoria glycines* at Various Growth Stages. *Phytopathology*, 69(1), 8. <https://doi.org/10.1094/phyto-69-8>

Consecuencias del uso excesivo de pesticidas en el cultivo de maíz (Zea mays L.) en el Callejón de Huaylas, campaña 2018 -2019

Resumen



Eusebio Reyes Huamán¹ 

ereyesh@unasam.edu.pe

Marco Salvador-Mendez¹ 

msalvador@unasam.edu.pe

Keila Borja Villanueva¹ 

kborjav@unasam.edu.pe

Karina Vilca-Mallqui¹ 

kvilcam@unasam.edu.pe

Esta investigación se realizó en la zona maicera de los distritos de Tinco, Carhuaz, Acopampa y Marcará, provincia de Carhuaz en el Callejón de Huaylas, Áncash. El objetivo fue determinar las consecuencias del uso excesivo de pesticidas en el cultivo de maíz. La metodología incluyó entrevistas directas mediante encuestas semiestructuradas y visitas a parcelas de productores. Se entrevistó a 63 agricultores, identificándose como pesticidas más utilizados al Metamidophos, Metomyl, Cypermetrina y el herbicida Glifosato, los cuales se comercializan bajo diferentes nombres, lo que genera confusión entre los agricultores. Los resultados muestran que un 77,77 % de agricultores realizan aplicaciones cada ocho días sin utilizar medidas de protección. Aunque no existen antecedentes documentados de contaminación ambiental en el área de estudio, ni en todo el Callejón de Huaylas, los agricultores reportan casos de intoxicación en personas y animales. Asimismo, se evidenció un incremento de las poblaciones de plagas debido a la mortalidad de controladores naturales, ocasionada por aplicaciones reiteradas de pesticidas, realizándose entre 15 a 18 aplicaciones por campaña de cinco meses. Finalmente, el incremento del costo de producción no es determinado por el agricultor. Todos estos problemas impactan negativamente en la calidad de vida de los agricultores y la sociedad.

Palabras clave: Pesticidas, Maíz, Callejón de Huaylas, Metamidophos, Metomyl, Cypermetrina.



Cómo citar este artículo: Consecuencias del uso excesivo de pesticidas en el cultivo de maíz (Zea mays L.) en el Callejón de Huaylas, campaña 2018 -2019. (2025). *Aporte Santiaguino*, 18(2), pp. <https://doi.org/10.32911/as.2025.v18.n2.1327>.



Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo - Huaraz - Perú.

Recibido: 2025-08-10 | Aceptado: 2025-11-12



Consequences of the excessive use of pesticides in maize (*Zea mays* L.) cultivation in the Callejón de Huaylas, 2018-2019 season

This research was conducted in the maize-producing areas of the districts of Tinco, Carhuaz, Acopampa, and Marcará, in the province of Carhuaz, Callejón de Huaylas, Ancash, with the objective of determining the consequences of excessive pesticide use in maize cultivation. The methodology included direct interviews through semi-structured surveys and visits to farmers' plots. A total of 63 farmers were interviewed, identifying Matamidophos, Metomyl, Cypermethrin, and the herbicide Glyphosate as the most commonly used pesticides. These products are marketed under different trade names, which often causes confusion among farmers. The results show that 77.77 % of farmers apply pesticides every eight days without using protective measures. Although there are no documented records of environmental contamination in the study area or in the Callejón de Huaylas, farmers reported cases of intoxication in both people and animals. In addition, an increase in pest populations was observed due to the mortality of natural controllers caused by repeated pesticide applications, ranging from 15 to 18 per five-month growing season. Finally, the increase in production costs is not determined by the farmer. All these problems negatively affect the quality of life of farmers and society.

Keywords: Pesticides, Maize, Callejón de Huaylas, Matamidophos, Metomyl, Cypermethrin.

Introducción

El maíz constituye uno de los cultivos más importantes en la alimentación a nivel local, nacional y mundial. Anteriormente, estaba considerado como el tercer cultivo en importancia en el mundo después del trigo y el arroz. Actualmente, el maíz ocupa el primer

lugar, seguido por el trigo, el arroz y la papa. Su producción es utilizada para el consumo directo en la alimentación humana a través de diferentes formas de preparación (Shiferaw et al., 2011).

En el Callejón de Huaylas, una de las actividades importantes en la agricultura es la producción de maíz para consumo, principalmente en estado de choclo en los mercados locales y nacionales.

Como todo cultivo en la naturaleza (campo), el maíz está expuesto a una serie de factores adversos, tanto bióticos como abióticos. Entre los factores bióticos se encuentran: plagas causadas por insectos, aves, roedores, etc., y enfermedades causadas por hongos, bacterias, virus y mollicutes.

Para controlar las plagas del maíz destinado para consumo en choclo en el Callejón de Huaylas, actualmente se aplican pesticidas (insecticidas, fungicidas, herbicidas) y abonos foliares con cada vez más frecuencia, con intervalos de ocho, diez o hasta doce días.

Kim et al. (2017) indican que los pesticidas en general causan contaminación del suelo, el agua, el aire y la salud humana. Uno de los casos más clamorosos de agresión al ecosistema, si no el mayor, es el uso masivo de pesticidas en los campos de cultivo. Aunque fueron diseñados y preparados con la misión específica de matar y destruir a las plagas de los cultivos agrícolas, lamentablemente, se pasó por alto un pequeño detalle: estos compuestos químicos no tienen la habilidad para hacer distinguos entre las plagas y los demás seres vivos del ecosistema (Wan et al., 2025).

La primera clarinada de alerta, que tuvo resonancia mundial, respecto a este gran problema de contaminación ambiental por efecto de los pesticidas, fue dado por Rachel Carson, en 1962, a través de la publicación de su libro *La*

Primavera Silenciosa. Esta publicación remeció hasta sus cimientos a las grandes transnacionales productoras de pesticidas, y a toda la comunidad científica involucrada en el tema (Carson, 1962).

En la década de los años 50, Rachel Carson, una investigadora norteamericana, había centrado su atención en la conservación del medio ambiente, poniendo especial interés en los problemas causados por los pesticidas sintéticos. El principal argumento de Carson fue que los pesticidas tienen efectos perjudiciales sobre el medio ambiente. Dice que estos se denominan más correctamente biocidas, porque sus efectos no se limitan solo a las plagas.

La Teoría de la Revolución Verde, iniciada por el estadounidense Norman Borlaug (entre 1960 y 1980), con la ayuda de Organizaciones Agrícolas Internacionales, consistió en la siembra de variedades mejoradas de maíz, trigo y otros granos cultivando una sola especie en un terreno durante todo el año (monocultivo) y la aplicación de grandes cantidades de agua, fertilizantes y plaguicidas. Con estas variedades y procedimiento se percibe que la producción es mayor a la obtenida con las técnicas y variedades tradicionales de cultivo (Rodríguez, 2001).

Los efectos sociales de la adopción de este paquete fueron el de marginar a gran parte de la población rural. Se incrementó la diferencia entre los campesinos pobres y ricos y aumentó la dependencia de los predios agrícolas. Debido a la degradación de los recursos naturales, se observó que la producción agrícola comenzó a declinar en algunos cultivos en los últimos años denotando cierto agotamiento del modelo (Hazell y Hadad, 2001)

Cisneros (2005) indica que el fenómeno de resistencia de las plagas a los pesticidas ha sido observado cuando se utilizan estos productos en forma rutinaria y los especialistas lo aceptan como una consecuencia natural del proceso evolutivo.

Plagas que inicialmente fueron susceptibles a dosis baja de un producto (pesticida), después de un tiempo de sucesivas aplicaciones, requieren dosis mayores y eventualmente terminan no siendo afectadas.

En 1989, la FAO ya había registrado 504 casos de resistencia a plaguicidas, afectando principalmente a órdenes como Dípteros, Lepidópteros, Coleópteros y Ácaros. Por otra parte, y con el objetivo de regular su impacto, la OMS (2005) y la FAO (2006) clasifican estos compuestos en base a su toxicidad aguda determinada en estudios con animales. Esta clasificación divide los pesticidas en clases: extremadamente peligrosos (Ia), altamente peligrosos (Ib), moderadamente peligrosos (II), poco peligrosos (III), y aquellos que normalmente no ofrecen peligro bajo uso normal o no clasificados (IV). Por todo ello, el objetivo del presente trabajo de investigación fue determinar el tipo de pesticidas y las consecuencias directas en la salud de la población e indirectos en el medio ambiente y los animales debido al uso excesivo de pesticidas en el cultivo de maíz en el Callejón de Huaylas.

Materiales y métodos

La presente investigación es de tipo aplicado ya que su objetivo es proponer alternativas para reemplazar o disminuir el uso excesivo de pesticidas, adoptando un enfoque cualitativo, a nivel exploratorio y descriptivo debido a que los datos primarios se recolectaron directamente del campo entre los agricultores. El diseño es no experimental y de corte transversal, pues no se aplicaron tratamientos y se ejecutó en un tiempo determinado. La población de estudio estuvo constituida por todos los agricultores propietarios de parcelas de maíz para choclo en los distritos de Tinco, Carhuaz, Acopampa y Marcará, en la Provincia de Carhuaz. La muestra se conformó por los 63 agricultores entrevistados mediante una encuesta semiestructurada; para

la determinación de este tamaño muestral se consideró la recomendación de Hernández, quien señala que “en la investigación cualitativa el tamaño de muestra no se fija a priori y a veces se perfila un número relativamente aproximado de casos”.

La contrastación de las hipótesis se realizó en base a la encuesta semiestructurada no estandarizada, por la naturaleza de la investigación, que es de enfoque cualitativo. En algunos casos, las preguntas se hicieron en forma puntual y en otros, la respuesta se dedujo del diálogo o entrevista que se entabló con el agricultor.

Las interrogantes que más se utilizaron para comprobar las hipótesis fueron: ¿Qué productos aplica? ¿Cuándo aplica estos productos?, ¿Ha tenido alguna intoxicación o algún malestar a

causa del producto aplicado? Cuándo siente malestar o mareos, ¿qué hace? ¿Para determinar el producto apropiado a aplicar alguien lo asesora?, ¿Cada cuánto tiempo aplica?, ¿Conoce otros tipos de control de plagas en maíz?, ¿Cuáles?

El ámbito de las entrevistas abarcó parte de cuatro distritos de la provincia de Carhuaz, cercanos al Río Santa (Tinco, Carhuaz, Acopampa y Marcará).

Se entrevistó a 17 agricultores en Tinco, 18 en Carhuaz, 15 en Acopampa y 13 en Marcará, tal como aparece en la Tabla 1 de resultados. Para el análisis de los datos se hizo uso de los métodos inductivo y analítico, recomendados en una investigación cualitativa (Hernández et al., 2010; Muñoz, 2015; Ñaupas et al., 2013).

Resultados

Preferencias de uso de pesticidas de los agricultores

En la Tabla 1, se muestran los resultados de la preferencia del agricultor, por pesticida: Metamidophos es utilizado por 33 agricultores (52,38 %); Methomyl, por 25 agricultores (39,68 %) y Cipermetrina, por 5 agricultores (7,94 %), con diferentes nombres comerciales, pero que en países desarrollados están prohibidos.

Sin embargo, en la zona donde se ha llevado a cabo el presente trabajo de investigación, son los pesticidas que más se utilizan, porque según manifiestan los agricultores son los que mejor controlan las plagas y tienen un costo relativamente menor.

Tabla 1

Pesticidas más usados por los agricultores, por ingrediente activo

Distrito	Metamidophos	Methomyl	Cipermetrina	Total
Tinco	6	9	2	17
Carhuaz	11	7	----	18
Acopampa	9	5	1	15
Marcara	7	4	2	13
Total	33	25	5	63
%	52,38	39,68	7,94	100

Frecuencia de aplicación

Según los entrevistados, la aplicación de pesticidas al cultivo se realiza principalmente cada 8 días, práctica reportada por 49 agricultores (77,77 %). En menor proporción, 9 agricultores (14,28 %) indicaron aplicar los pesticidas cada 10 días, mientras que 5 agricultores (7,94 %) lo hacen cada 12 días. Estas aplicaciones se inician cuando las plantas presentan entre 2 y 3 hojas y se extienden hasta el inicio de la floración, lo que implica un total aproximado de entre 10 y 15 aplicaciones durante la fase de desarrollo vegetativo del cultivo.

Los agricultores mencionan que cuantas más aplicaciones se hacen, el producto sale más limpio y por lo tanto los precios son mejores.

En la Tabla 1 se ha resumido el tipo de producto que utilizan para el control de plagas en el cultivo de maíz: Metamidophos, Metomil y Cipermatrina. Sin embargo, los agricultores

no los conocen con esos nombres, sino por el nombre comercial que cada empresa le asigna, lo cual les causa una confusión al momento de adquirirlos.

Efectos directos de los pesticidas en la salud

Cuando se le preguntó si han tenido problemas de intoxicación graves o muertes por envenenamiento de pesticidas, 30 agricultores entrevistados (47,6 %) manifestaron que cuando aplican no sienten ningún síntoma; 20 agricultores (31,74 %) dijeron que solo percibían el olor fuerte del pesticida; 11 entrevistados (20,63 %) contestaron que sí sentían náuseas y ligero malestar y dolor cabeza. Según sus propias interpretaciones, esto se debería al olor fuerte. Recalaron que este problema lo perciben principalmente cuando las aplicaciones se hacen cuando las plantas sobrepasan el tamaño de la persona que aplica. Solo en 2 entrevistados (3,18 %) manifestaron haber tenido intoxicaciones graves, hasta vómitos.

Tabla 2

Síntomas e intoxicaciones

Parámetro	Ningún síntoma	Sólo un fuerte olor	Náuseas y malestar	Intoxicación grave	TOTAL
Cantidad	30	20	11	2	63
Porcentaje	47,61	31,74	17,46	3,18	100

En cuanto a la pregunta referida a qué acciones toman cuando sienten malestar o mareos, 13 agricultores (20,63 %) respondieron que toman un vaso de leche; 31 agricultores

(49,21 %) dijeron que se lavan las manos y la cara; 19 agricultores (33,16 %) manifestaron que cuando termina el trabajo de aplicación de los pesticidas, se duchaban y se cambiaban de ropa.

Tabla 3

Acciones que toman cuando sienten malestar o mareos

Parámetro	Toman un vaso de leche	Se lavan las Manos y cara	Terminado el trabajo Se duchan y se cambian	TOTAL
Cantidad	13	31	19	63
Porcentaje	20,63	49,21	30,16	100

Uso de medidas de protección en la aplicación de pesticidas

Por otro lado, se observó que todos los agricultores aplican estos productos sin ninguna protección corporal adecuada (no utilizan uniforme, gafas, mascarilla, guantes) manifestando que siempre han hecho las aplicaciones de esta forma. Los 63 agricultores entrevistados mencionaron que en lugar de colocarse un mameluco se cubren con algún plástico en la espalda o en algunos casos con una casaca usada que se lo quitan al término de la aplicación. El 14,29 % (9) de agricultores entrevistados respondieron que no utilizan ninguna protección, pero sí el 85,71 % (54) manifestó que solo utiliza botas de jebe (Tabla 4).

En cuanto a la contaminación ambiental, en la zona donde se realizó el estudio, ni en todo el Callejón de Huaylas, no existen estudios. En el presente trabajo, se ha determinado que, al hacer las aplicaciones, la mayor parte del producto cae al suelo y otra parte va a la atmósfera. Lo que cae al suelo en muchas parcelas cuando se riega, estos residuos de pesticidas son arrastrados al canal o acequia. Esta agua en algunos casos es utilizada para el desamargado de “tarwi” (*Lupinus mutabilis* L.). También de las acequias beben agua algunos animales (vacunos, ovinos, equinos, aves, perros y otros).

Por otro lado, se observó que cuando se aplican los pesticidas a los cultivos en floración se produce mortandad de abejas que recogen néctar y polen de las flores y cualquier otro insecto.

Tabla 4

Tipo de protección que usan para aplicar pesticidas

Parámetro	Ninguna protección	Gafas	Mameluco	Guantes	Botas de jebe	Total
Cantidad	9	No	No	No	54	63
Porcentaje	14,29	0,00	0,00	0,00	85,71	100

Discusión

Los productores de maíz en la zona de Carhuaz, en el Callejón de Huaylas, donde se realizó el estudio, utilizan para el control de plagas productos extremadamente tóxicos (Ia) y altamente tóxicos (Ib) como los formulados a partir de los ingredientes activos: Metamidophos, Methomyl y Cipermetrina y, en algunos casos, mezclas de estos productos, según manifiestan los agricultores, porque el control es más efectivo mezclando los productos. Sin embargo, estas mezclas causan mayor contaminación en el ambiente como lo explica Del Puerto (2012) y en el mismo producto (choclo). También causan resistencia de las plagas a estos productos, tal como lo menciona Cisneros (2005).

Los pesticidas elaborados en base a las materias activas mencionadas, que se comercializan en el mercado nacional con diferentes nombres, están considerados como extremadamente tóxicos por la Organización Mundial de la Salud (2005) y por el Código Internacional de Conducta para la Utilización y Distribución de Plaguicidas (FAO, 2006). Del total de agricultores entrevistados, el 77,77 % (49) manifestó aplicar cada ocho días; el 14,28 % (9), cada 10 días; y el 7,94 % cada 12 días. Si se toma como promedio de la frecuencia de aplicaciones ocho días, significa que en una campaña de maíz para choclo que es de 150 días aproximadamente, se hacen entre 15 a 18 aplicaciones de pesticidas.

Existe una idea generalizada entre los productores de que los plaguicidas han perdido efectividad. Sin embargo, esta disminución no se debe a un fallo del producto químico, sino que las plagas han adquirido resistencia, un fenómeno que se explica con la teoría de la resistencia genética de Cisneros (2005).

Los agricultores y productores manifiestan que no conocen otras formas de control de plagas disponibles en la actualidad. Este desconocimiento

no implica la inexistencia de alternativas de manejo, sino más bien la imposibilidad de implementarlas debido a la desorganización interna y, fundamentalmente, a la ausencia de capacitaciones. La falta de asistencia técnica es crítica, ya que el estado no proporciona una formación necesaria sobre el manejo y control de plagas y enfermedades, un aspecto crucial para el éxito de una explotación agrícola, como es el caso de la producción de maíz.

La forma como los agricultores del Callejón de Huaylas hacen aplicaciones de pesticidas en el cultivo de maíz trae consecuencias lamentables dado que se están contaminando los suelos, el agua, el ambiente y los productos cosechados, los cuales probablemente en la mayoría de los casos son causantes de enfermedades en los humanos y animales domésticos.

Conclusiones

En el Callejón de Huaylas, se usan pesticidas químicos altamente tóxicos de las categorías Ia (extremadamente peligrosos) y Ib (altamente peligrosos) para el control de plagas en el cultivo de maíz, los mismos que están prohibidos por la OMS y la FAO.

Los agricultores utilizan solamente el método químico para controlar plagas y enfermedades, haciendo aplicaciones cada ocho días, realizando entre 15 a 18 aplicaciones por campaña, sea combinando productos o duplicando las dosis recomendadas en las etiquetas de los pesticidas, porque desconocen otros métodos de control de plagas.

El uso excesivo de pesticidas tiene consecuencias directas en la salud social, manifestadas en casos de intoxicación reportados por los agricultores en personas y animales. Aunque no se registraron muertes, el 20,63% de los entrevistados reportó síntomas como náuseas,

ligero malestar y dolor de cabeza durante la aplicación, y el 3,18% sufrió intoxicaciones graves con vómitos.

Una de las consecuencias sociales de todos estos y otros factores, es que la mayoría de productores de maíz en la zona de Carhuaz y en todo el Callejón de Huaylas están migrando hacia los cultivos ornamentales (flores), frutales (diferentes especies) y hortalizas (diferentes especies), mayormente de exportación.

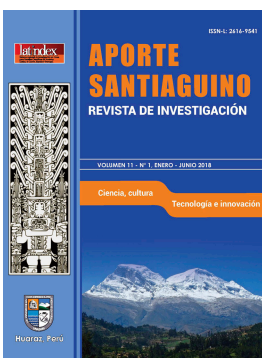
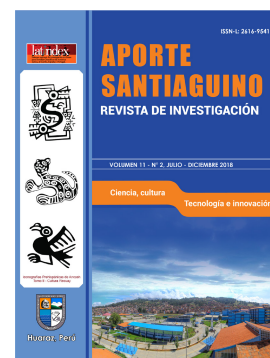
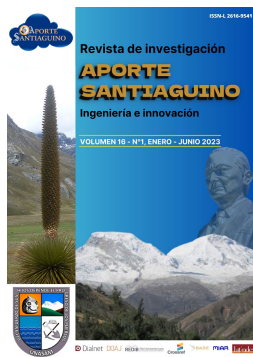
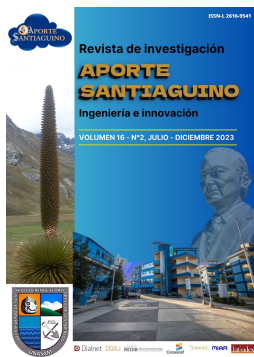
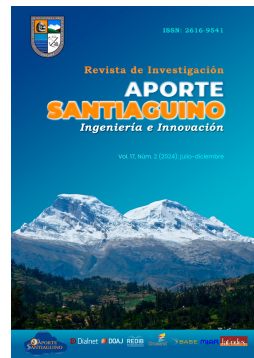
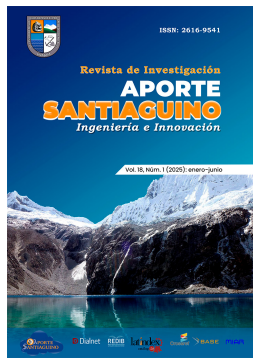
En la ciudad de Carhuaz, se encuentra concentrada la comercialización de pesticidas de todo el Callejón de Huaylas. En este estudio realizado entre los años 2018 y 2019, se registraron hasta 20 casas comerciales de pesticidas agrícolas.

Referencias

- Andrews Keinth, French James y Goodell Grace. (1989). El contexto socioeconómico del manejo integrado de Plagas, pp.: 163-183. En: Andrews Keith y Quezada José (Eds.) *Manejo integrado de plagas insectiles en la agricultura: Estado actual y futuro*. Departamento de protección vegetal. Escuela Agrícola Panamericana El Zamorano Honduras Centroamérica. 183 p.
- Carson Rachel. (1962). *Primavera Silenciosa. Biología y Psicología de hoy*. Serie menor. Edit. Grijalbo. S.A.
- Cisneros Vera. (1995). *Control de plagas agrícolas*. 2da. Ed. Edit. Full Print S.R.L.
- Del Puerto Rodríguez, Suarez T Susana, Palacio Estrada. (2012). *Efecto de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud*. Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología (INHEM), La Habana, Cuba. 11 p.
- Hazell Peter y Hadad Lawrwnc. 2001. *La investigación agrícola y la reducción de la pobreza. Una visión de la alimentación, la agricultura y el medio ambiente en el año 2020*. International Food Polyce Reearch Institute. Washington, D. C. 20006-1002 U.S.A. 11 p.
- Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio. (2010). *Metodología de la investigación*. 5ta. Ed. McGraw Hill. 613 p.
- Kim, K., Kabir, E., y Ara, S. (2017). *Exposure to pesticides and the associated human health effects*. Science of the Total Environment, 575, 525–535. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.009>
- Muñoz R. (2015). *Cómo elaborar y asesorar una investigación de Tesis*. 3ª Ed. Pearson Educación México. 462 p.
- Ñaupas P., Mejía M., Novoa R., Villagomez P. (2013). *Metodología de la investigación. Cuantitativa – cualitativa y redacción de la Tesis*. Ediciones de la Universidad. 4ª Ed. Bogotá, Colombia. 536 p.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación-FAO. (2006). *Código Internacional de Conducta para la Distribución y Utilización de Plaguicidas*. 35p.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2005). *Clasificación toxicológica de los plaguicidasquímicos: Ia, Ib, II, III, IV*. pp.: 245-247.
- Rodríguez S. (2001). *Revolución verde*. Pontificia Universidad Católica Madre y Maestra. Santo Domingo, República Dominicana. 8 p.

Shiferaw, B., Prasanna, B. M., Hellin, J., y Bänziger, M. (2011). *Crops that feed the world 6. Past successes and future challenges to the role played by maize in global food security*. *Food Security*, 3(3), 307–327. <https://doi.org/10.1007/s12571-011-0140-5>.

Wan, N.-F., Fu, L., Dainese, M., Kiaer, L. P., Hu, Y.-Q., Xin, F., Goulson, D., Woodcock, B. A., Vanbergen, A. J., Spurgeon, D. J., Shen, S., y Scherber, C. (2025). *Pesticides have negative effects on non-target organisms across terrestrial and aquatic ecosystems*. *Nature Communications*, 16:1360. <https://doi.org/10.1038/s41467-025-56732-x>.



Análisis de relaves filtrados para la estabilización física en la conformación de una presa

Resumen



Ronald Chilon Chilon¹

ronald.chilon@unmsm.com.pe



Actualmente se discuten varios problemas relacionados con el desempeño de las represas de relaves en las empresas mineras, ya que para construir de manera convencional se debe tener un área considerable y no debe afectar el ecosistema en la zona porque construir una presa de relaves cerca a una población o fuentes de agua sería causante de grandes daños ambientales, económicos y sociales ante una ruptura de la presa. Frente a esta problemática proponemos el análisis de filtrar relaves y con ello conformar el dique que sería una mezcla con el desmonte de mina Esperanza en una relación de (3Relave+1Desmonte de Mina) y la conformación del vaso de relave que sería solo con relave filtrado. En el presente artículo mostraremos los procedimientos de análisis de relaves filtrados en la conformación de la represa minera, las pruebas piloto con ayuda de un filtro prensa, para tener la certeza de una humedad óptima para la conformación del dique y la disposición en el vaso. Con el análisis de estabilidad física garantizamos la seguridad para condiciones estadísticas mayores a 1.5 y condiciones pseudoestáticas mayores a 1.0 según las normativas del Ministerio de Energía y Minas.

Palabras clave: Relaves filtrados, Filtro prensa, Estabilidad de taludes.



Cómo citar este artículo: Análisis de relaves filtrados para la estabilización física en la conformación de una presa. (2025). *Aporte Santiaguino*, 18(2), pp. <https://doi.org/10.32911/as.2025.v18.n2.1232>.



Universidad Nacional Mayor de San Marcos - Lima - Perú.

Recibido: 2025-08-10 | Aceptado: 2025-11-12



Consequences of the excessive use of pesticides in maize (*Zea mays* L.) cultivation in the Callejón de Huaylas, 2018-2019 season

Several issues related to the performance of tailings dams in mining companies are currently being discussed. Conventional construction requires a considerable area and must not affect the local ecosystem. Building a tailings dam near a population or water source would cause significant environmental, economic, and social damage in the event of a dam failure. Addressing this issue, we propose analyzing filtered tailings and thereby forming the dam, which would be a mixture of the Esperanza mine waste in a ratio of (3 tailings + 1 mine waste) and forming the tailings basin, which would consist solely of filtered tailings. In this article, we will present the procedures for analyzing filtered tailings in the construction of the mining dam, as well as pilot tests using a filter press to ensure optimal moisture content for the dam's construction and disposal in the basin. With the physical stability analysis we guarantee safety for statistic conditions greater than 1.5 and pseudo-static conditions greater than 1.0 according to the regulations of the Ministry of Energy and Mines.

Keywords: Filtered Tailings, Filter Press, Slope Stability.

Introducción

En el Perú, OSINERGMIN indica que en la minería el problema principal es el manejo del relave porque ocupa grandes extensiones de áreas la construcción de depósitos residuales, y por las grandes cantidades de mineral que se viene procesando ha causado el incremento de disposición de estos residuos en la minería, por ende, su llenado más rápido de los depósitos (Quispe, 2021).

El gran impacto que generan los relaves mineros en el Perú ha llegado hasta desequilibrar el ecosistema, afectando la salud humana, siendo

un alto contaminante de los flujos de aguas superficiales y subterráneos, y modificando sustancialmente el paisaje. La mala disposición y el pésimo manejo que se ejerce sobre éstos provocan riesgos inminentes siendo muchas veces de larga duración (Ledesma, 2018).

La mayor parte de los depósitos de relaves mineros o presas de relaves existentes en la actualidad se han construido mediante el sistema de relleno hidráulico. Técnicas nuevas de espesamiento y filtrado de relaves (cycloneados) permiten extraer porciones significativas del agua contenida en los relaves, que así se depositan en un estado más seco (Rodríguez y Oldecop, 2006).

Los depósitos donde se disponen relaves ocupan superficies extensas de terreno por tiempo indefinido. Tal disposición si no está aislada genera impacto por infiltración de las aguas de proceso contenidas en dicho relave. Según el tipo de suelo de contacto, esta infiltración puede alcanzar algún cuerpo receptor tal como un acuífero; las consecuencias de impacto ambiental pueden ser irreversibles (Apaza, 2019).

Actualmente, se discuten varios problemas relacionados con el desempeño de estas represas, si bien cada depósito de relaves tiene características únicas y que reflejan las particularidades físicas, geoquímicas, hidrológicas específicas del lugar. Son estas particularidades las que contribuyen a configurar el diseño más apropiado para lograr un desempeño adecuado en un depósito de relaves filtrados. Uno de ellos es la Minera Huayllay que no tiene suficiente área para construir una represa de relaves, o construirlos en áreas ya estudiadas sería causante de grandes daños ambientales, económicos y sociales.

Frente a esta problemática presentamos filtrar relaves para poder diseñar, construir, operar y cerrar el depósito de relaves filtrados de una manera segura y responsable con el medioambiente y la sociedad.

Métodos

En el presente artículo planteamos el tipo de investigación a seguir según, lo cual nos ayuda a enmarcar al nivel de estudio que se quiere llegar, basándose específicamente en la metodología aplicada y todas las herramientas que nos ayuden a desarrollar la investigación.

Tipo y nivel de investigación

La investigación es de tipo aplicada, ya que se aplican los principios de la ciencia utilizando el equipo filtro prensa para sacar la mayor cantidad de agua del relave y así obtener un contenido óptimo de humedad de 14 % para su conformación.

La investigación es de nivel explicativa, porque el interés está en explicar los beneficios de filtrar relaves y su posterior conformación como presa de relaves que nos garantiza una estabilidad superior a las disposiciones tradicionales.

Métodos de investigación

El método general es el científico. Se refiere a un estudio en el que se manipulan intencionalmente una o más variables independientes (supuestas causas antecedentes)

para analizar las consecuencias que la manipulación tiene sobre una o más variables dependientes (supuestos efectos consecuentes), dentro de una situación de control para el investigador (Hernández, 2014).

Para obtener el resultado óptimo se debe manipular el tiempo de filtrado, porcentaje de humedad, se debe tener el análisis granulométrico del relave, la cantidad de placas de membrana, todas estas variables deben tener valores fijos al final del experimento.

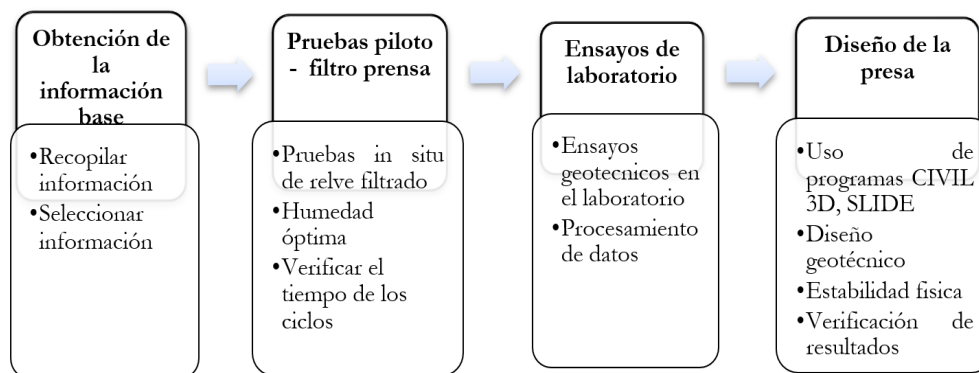
Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es experimental ya que los experimentos manipulan tratamientos, estímulos, influencias o intervenciones (denominadas variables independientes) para observar sus efectos sobre otras variables (las dependientes) en una situación de control (Hernández, 2014).

En nuestro caso, son 3 grupos de control. Se realizaron 03 tratamientos. Los porcentajes de la variable independiente fueron 12,82 %, 12,04 % y 10,81 % de humedad del relave filtrado. Para lo cual se utilizó una muestra de 25 Kg de relave, obteniendo un total de 03 muestras.

Figura 1

Procedimiento de análisis de relaves filtrados en la conformación de la presa



Resultados

Ejecución del plan operativo de investigación

En el presente artículo, el plan operativo se inicia con la instalación de un equipo piloto en la unidad minera para poder realizar los ensayos de relave en el filtro prensa, con diferentes parámetros.

La técnica de recolección de datos implica elaborar un plan detallado de procedimientos que nos conduzcan a reunir datos con un propósito específico (Hernández, 2014).

Los relaves fueron producidos en la planta de filtrado, la cual se localiza aguas arriba del depósito Huayllay, en el lado izquierdo de la quebrada Quimacocha. La planta de filtrado está conformada por filtros prensa, los cuales desecaron los relaves desde una concentración de sólidos de 65 a 70 % al ingreso de filtro hasta un contenido de sólidos mínimo de 86 % a la salida del filtro.

Una muestra de relave extraída de la planta se pasa a homogenizar para tener un resultado óptimo de la prueba.

Figura 2

Homogenización de muestras de relave



Los detalles de datos experimentales obtenidos de las pruebas de filtración, utilizando el filtro prensa a nivel piloto, se observa en la siguiente tabla:

Tabla 1

Datos Pruebas Piloto

Datos de filtración del relave total								
Nº Prueba	Densidad (g/L)	Alimentación (min)	Membrana (min)	Secado (min)	Proceso (min)	Ciclo Total (min)	Presión Max. (bar)	Espesor torta (mm)
1	1,420	10	2	6	5	23	10	38
2	1,420	10	2	6	5	23	10	38
3	1,500	9	2	5	5	21	10	38

En la Tabla 1, se observa los datos de la densidad del relave usado para esta prueba, la alimentación en minutos, el número de membranas usadas, el tiempo de secado para obtener el producto deshidratado, el ciclo de duración del filtrado desde la colocación del relave en el envase de extracción, la presión máxima y el espesor de la torta. Con esto veremos en el resultado el porcentaje de humedades que sale en cada prueba realizada.

Diseño geotécnico

El depósito de relaves almacena relave filtrado puro y mezcla de relave filtrado con material de desmonte de mina seleccionado, en una proporción de 3:1 respectivamente, ambos materiales fueron conformados por equipos pesados. El depósito estuvo constituido por dos componentes principales:

- Dique de contención compuesto con material de mezcla en la proporción de 3:1 (Relave filtrado y material de desmonte de mina), y
- Vaso de relave filtrado puro, conformación en capas con solo el relave sin la mezcla de desmonte.

Descripción general del proceso de producción y colocación de relaves.

Los relaves serán producidos en la planta de filtrado, la cual se localizará aguas arriba del depósito, en el lado izquierdo de la quebrada. La planta de filtrado está conformada por filtros prensa los cuales desecarán los relaves desde una concentración de sólidos de 65 a 70 % al ingreso de filtro hasta un contenido de sólidos mínimo de 86 % a la salida del filtro.

Los relaves fueron apilados en el área de la planta de filtrado. El carguío de los relaves se realizó mediante un cargador frontal, para el transporte se usarán camiones de 15 m³

toneladas de capacidad de carga. Los relaves fueron descargados y esparcidos mediante un tractor D6.

Los relaves depositados con una humedad natural de 14 % fueron esparcidos y pasaron por un ciclo mínimo de secado hasta alcanzar un contenido de humedad mejor o igual a 12 %, se mezclaron los relaves con desmonte de mina esperanza autorizadas que han sido establecidas en el estudio, luego el material mezcla se compactó a una densidad mínima del 95 % del Proctor modificado y humedad de 12 %.

La superficie de la plataforma final del vaso del depósito de Relaves se construyó con una pendiente de 1 % hacia la margen interior izquierda del valle, de manera que las aguas de lluvia en la plataforma puedan escurrir hacia una zona donde puedan ser evacuadas rápidamente del área del depósito de relaves.

El agregado de relaves filtrados con el desmonte se monitoreó geotécnicamente, se controló la densidad, la humedad de compactación y espesor de cada capa. Se controló las filtraciones captadas por el sistema de drenaje del depósito de relaves.

Parámetros claves por controlar durante la operación y niveles permisibles:

- Contenido mínimo de sólidos de la planta: 86 %;
- Densidad mínima para compactación (Dique): 95 % del Proctor modificado aprox. 2.10 ton/m³;
- Densidad mínima de colocación (Vaso): aprox. 1.80 ton/m³;
- Humedad máxima de compactación (Dique): 12 %;

- Humedad máxima de colocación (Vaso): 14 %;
- Espesor máximo de capa compactada (Dique): 0.35 m; y
- Espesor promedio de capa compactada (Dique): 0.30 m.

simultánea; sin embargo, para el presente artículo se ha utilizado el Método de Spencer empleando dovelas para el cálculo de superficies de falla. La superficie de falla crítica es definida como aquella que proporciona el menor factor de seguridad, y fue encontrada en forma interactiva modificando las condiciones de búsqueda de esta, evaluándose superficies de falla circulares y del tipo bloque.

Análisis de estabilidad física

El análisis de estabilidad de taludes implica determinar el esfuerzo cortante desarrollado a lo largo de la superficie más probable de falla con la resistencia cortante del suelo, determinándose un factor de seguridad.

$$FS = \frac{\tau_f}{\tau_d}$$

Donde:

FS: Factor de seguridad

τ_f : Resistencia cortante del suelo

τ_d : Esfuerzo cortante promedio desarrollado a lo largo de la superficie potencial de falla

Como hipótesis del análisis se considera que las propiedades de los materiales que conforman las diferentes estructuras analizadas son homogéneas e isotrópicas y que el colapso se produciría como resultado de fallas simultáneas a lo largo de la superficie de deslizamiento. Cada material tiene sus propiedades y características físicas y mecánicas.

Para el análisis pseudoestático se considera que la masa involucrada en la falla está sometida a una aceleración horizontal igual a un coeficiente sísmico multiplicado por la aceleración de la gravedad, esto con el objetivo de tomar en cuenta el efecto de las fuerzas inerciales producidas por el terremoto de diseño.

Metodología de análisis

Para los análisis de estabilidad de taludes, se utilizó el programa de cómputo SLIDE (Rocscience), versión 2018. Este es un programa de análisis de estabilidad de taludes completamente integrado, que permite: (1) desarrollar la geometría del talud interactivamente y (2) definir los tipos y propiedades de los materiales de manera muy amigable con el usuario.

El análisis para calcular el factor de seguridad se lleva a cabo de manera bidimensional usando el concepto de equilibrio límite. El programa tiene la opción de utilizar diferentes métodos de análisis de estabilidad de manera

Criterios de evaluación

En la Tabla 2, se presenta los valores de los factores de seguridad mínimos de acuerdo con el criterio del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos (USACE) y del Ministerio de Energía y Minas (MEM).

Tabla 3

Valores de factores de seguridad mínimos admisibles

Factor de seguridad	USACE	MEM
Estático	1.5	1.5
Pseudoestático	1.0	1.0

Nota. Obtenido de USACE; MEM.

Se debe indicar que un factor de seguridad pseudoestático mayor a 1.0 no significa que la estructura no se moverá durante un terremoto. Lo que probablemente ocurrirá es que los desplazamientos serán mínimos y no se producirán daños permanentes en la estructura, asociados al terremoto de diseño.

Aceleración de diseño

Para la sección, se consideró una aceleración sísmica de 0.16g resultado del estudio de riesgo sísmico, equivalente a un sismo con período de retorno de 500 años (sismo de cierre).

Características de los análisis

- Los escenarios de análisis se han considerado para condiciones estáticas y pseudo-estáticas.
- La sección ha sido analizada buscando obtener fallas críticas, sean circulares (método auto refine search) o no circulares (método cuckoo search).

- Propiedades de los Materiales del modelo geotécnico

Las propiedades de los materiales que intervinieron en el modelo geotécnico son las siguientes:

Prueba de hipótesis

Para la investigación se empleó la prueba empírica, para tomar la decisión con relación a ser aceptadas o rechazada, de acuerdo a la observación de los resultados reales del experimento, con la finalidad de contrastar la hipótesis.

Con los datos del plan piloto del relave filtrado y la caracterización geotécnica se pudo obtener resultados reales en cuanto a laboratorio y gabinete.

Con los análisis en las diferentes secciones de la presa se pudo determinar un factor de seguridad acorde con estándares nacionales e internacionales que nos asegura la construcción de la presa de una manera segura.

Tabla 4

Resultados de porcentaje de humedad

Datos y resultados de pruebas de filtración del relave total									
Nº Prueba	Densidad (g/L)	Alimentación (min)	Membrana (min)	Secado (min)	Proceso (min)	Ciclo Total (min)	Presión Max. (bar)	Espesor Torta (mm)	Humedad (%)
1	1,420	10	2	6	5	23	10	38	12.82
2	1,420	10	2	6	5	23	10	38	12.04
3	1,500	9	2	5	5	21	10	38	10.81

Como se muestra en la tabla 4, la primera prueba con los datos la fila 1 se ha obtenido una humedad de 12,82 %, la prueba 2, se obtiene una humedad de 12,04 % y la tercera prueba nos da

un resultado de 10,81 % de humedad, realizando un promedio entre los tres resultados se obtiene una humedad del 11,89 %.

Tabla 5

Modelo geotécnico

Unidad geotécnica	Peso específico (kN/m ³)	Cohesión (kPa)	Ángulo de fricción (°)
Unidad 01: Roca de fundación	22	223	25
Unidad 02: Depósito fluvioglaciario	18	0	32
Unidad 03: Bofedal	16	30	10
Unidad 04: Bofedal consolidado	17	60	12
Unidad 05: Relave filtrado	19	30	30
Unidad 06: Material mezcla (3R:1P)	20	30	32
Unidad 07: Material de préstamo	20	5	38
Unidad 08: Filtro	19	0	32

En todas las unidades geotécnicas se utilizó el modelo constitutivo Mohr Coulomb (M-C) para realizar los análisis de estabilidad.

Secciones de análisis

El análisis de estabilidad se llevó a cabo sobre dos (02) secciones de análisis, las cuales se encuentran distribuidas de manera transversal en el relleno que se utilizó como dique para el depósito de relaves. Estas secciones cortan

perpendicularmente a las zonas más críticas o de mayor pendiente.

En este caso no analizamos las filtraciones (la red de flujo) y análisis de sifonamiento porque es una presa de relaves filtrados, se extrae la mayor cantidad de agua y por ende no son factores que afectan la estabilidad.

Figura 3

Análisis de estabilidad física - Estado pseudoestático (k=0.16) - Sección A

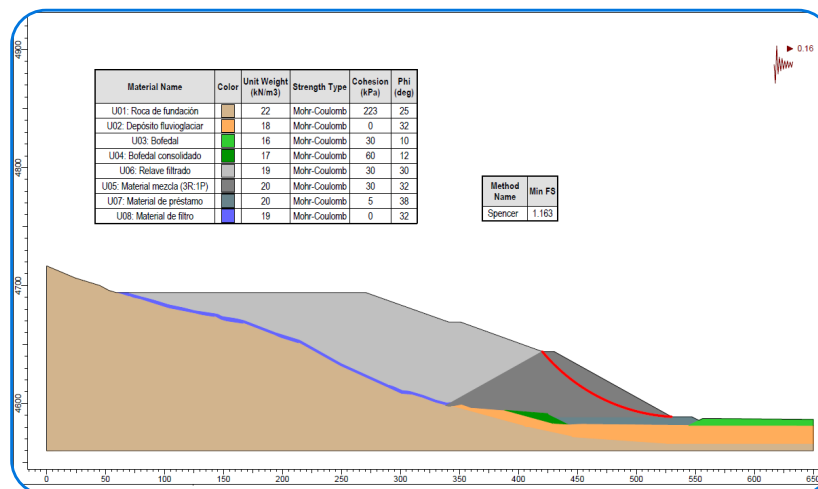


Figura 4

Análisis de estabilidad física - Estado estático ($k=0.00$) - Sección A

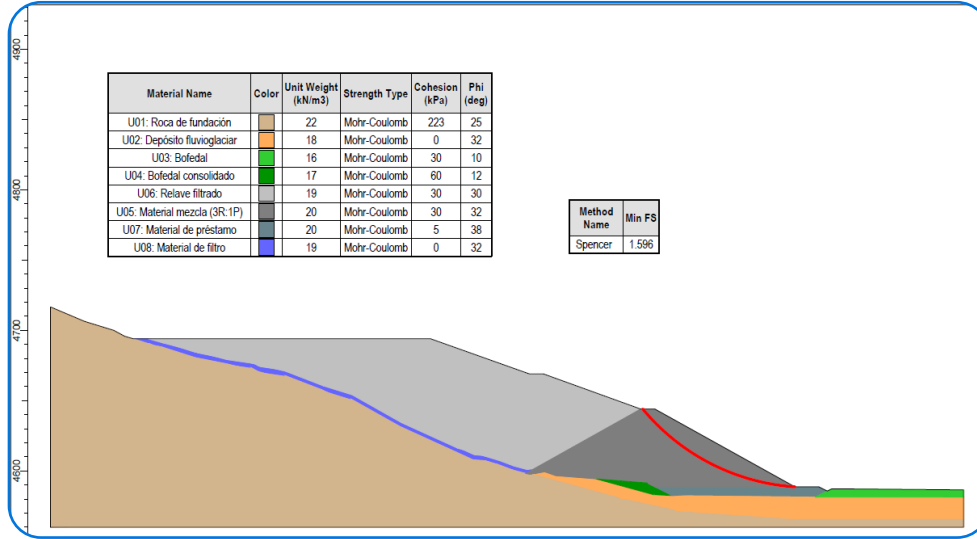


Figura 5

Análisis de estabilidad física - Estado estático ($k=0.00$) - Sección B

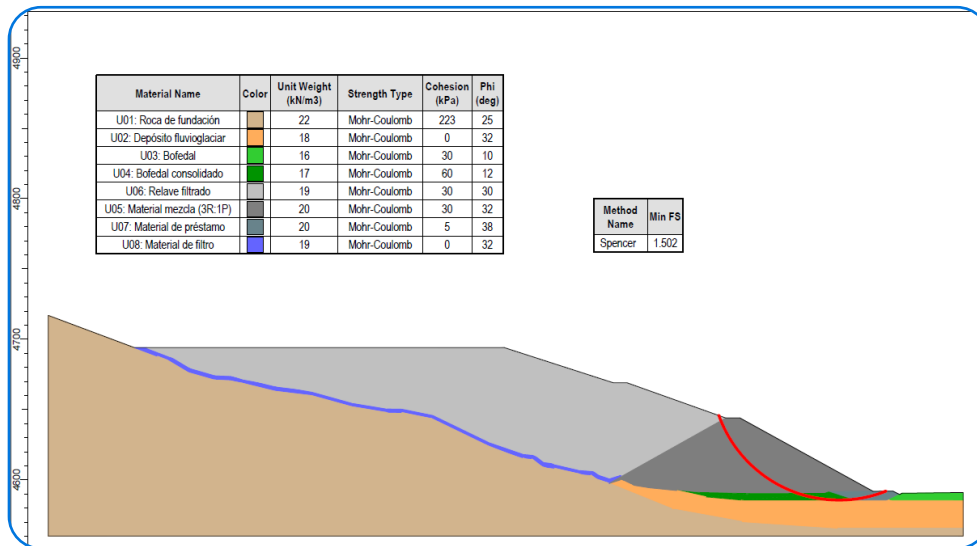


Figura 6

Análisis de estabilidad física - Estado estático ($k=0.00$) - Sección B

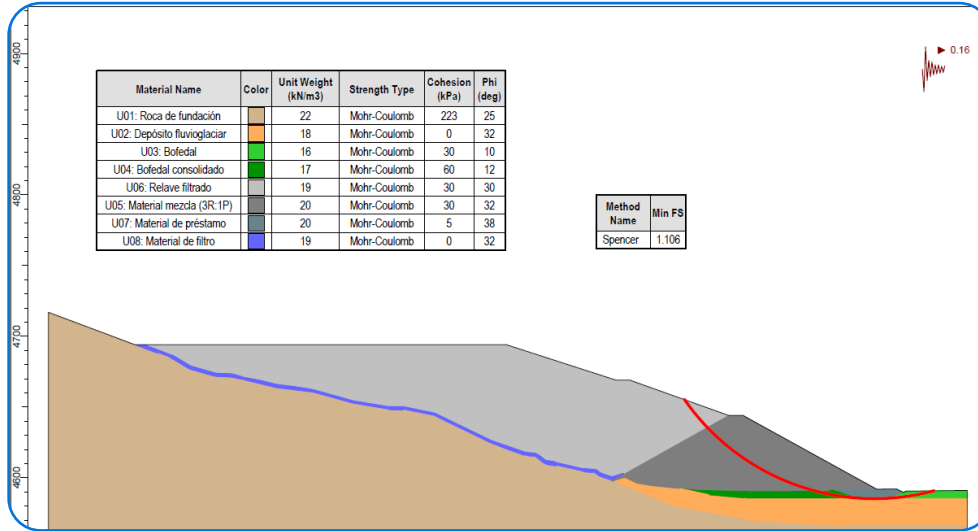


Tabla 6

Factores de seguridad de los depósitos de relave

Componente	Sección	Estático ($k=0.00$)	Pseudoestático ($k=0.16$)
Depósito de relaves filtrados	A-A	1.596	1.163
	B-B	1.502	1.106

A partir de los resultados obtenidos en la tabla 6, se puede concluir que la sección presenta valores de estabilidad física para condiciones estáticas y pseudo estáticas mayores que los recomendados por el Ministerio de Energía y Minas.

Discusión

En el análisis y en los resultados del filtro piloto el relave filtrado fino se llegó a un porcentaje de humedad del 11,89 %, aclarando que este porcentaje es para el dique de contención, ya que en el vaso debemos garantizar un porcentaje menor 14 % de humedad para lograr su estabilidad física.

Los relaves filtrados producidos en la planta de filtrado deberán salir con un contenido mínimo de sólidos de 86 % o un contenido máximo de humedad de 14 %, lo cual varía en el contenido de sólidos y en la humedad esto se debe principalmente al factor del tipo de relave.

Conclusiones

Respecto a la viabilidad de filtrar relaves:

De las pruebas realizadas en campo con el filtro prensa se determinó que es factible obtener un porcentaje de humedad por debajo del 14 %. Este parámetro garantiza una conformación estable de la presa de relave, como se observa en la Tabla 4. En la primera prueba, se obtuvo una humedad de 12,82 %, la prueba 2, 12,04 % y la tercera prueba de 10,81 % de humedad. Realizando un promedio entre los tres resultados se obtiene una humedad del 11,89 % muy por debajo del 14 %.

Respecto al análisis de estabilidad física:

Del análisis del talud de la presa según la caracterización geotécnica, con la ayuda del programa Slide se determinó los factores de seguridad en las secciones más críticas. Análisis en la Sección A-A, el valor estático mostró como resultado de 1.596 y el pseudoestático ($k=0.16$) un valor de 1.163. en la sección B-B, el valor estático nos da un valor de 1.502 y el pseudoestático ($k=0.16$) un valor de 1.106. Estos resultados son mucho mayores a la normativa del Ministerio de Energía y Minas que para condición estática debe ser mayor que 1.5 y para condiciones pseudoestáticas mayores a 1.0. El análisis físico para el depósito en las dos secciones críticas evaluadas garantiza la estabilidad de la presa.

Referencias

- Almerco Palomino, D. (2014). *Construcción de dique con tratamiento del relave, en mina Catalina Huanca – Región Ayacucho* [Tesis para optar el título de Ingeniería Civil, Universidad de San Martín de Porres].
- AMC, Asociación de Minería de Canadá (2019). *Guía para el Manejo de Depósitos de Relaves*. Canadá.
- Apaza Quispe, S. (2019). *Diseño de recrecimiento de la presa de relaves de la unidad de producción Untuca-Minera Cori Puno SAC*. [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas, Universidad Nacional del Altiplano de Puno].
- Arroyo, A. (2012). *Metodología de la investigación Científica*.
- Braga Calderón, I. (2016). *Filtros de prensa para relaves* [Tesis para optar al grado de magíster en gestión y dirección de empresas, Universidad de Chile de Santiago].
- Cabrera Huamán, J. (2017). *Previsão numérica do comportamento sísmico da barragem de rejeitos de Alpamarca no Perú* [Tesis para optar el grado de Magíster, Pontificia Universidad Católica do Río de Janeiro].
- Cidelco S.A.C (2018). *Fabricación de filtros prensa*.
- Golder Associates (2009) “Ensayos geoquímicos de la desmontera Esperanza”. Lima, Perú.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6ta Edición).
- Huaña Gonzales, O. (2015). *Diseño de depósitos de relaves filtrados* [Tesis para el título de Ingeniero Civil, Universidad Nacional de Ingeniería].
- INGEMMET (1996). *Boletín Geología del Cuadrángulo Cerro de Pasco*, Hoja 22-K.
- Lara, J. (2013). *Experiencias de Operación de Depósitos de Relaves Espesados y Filtrados*. Golder Associates.

Ministerio de Energía y Minas (1995). *Guía Ambiental Para el Manejo de Relaves Mineros*.

Ministerio de Energía y Minas (1997). *Guía ambiental para la estabilidad de taludes de depósitos de desechos sólidos de mina*.

Oré, G., Parodi, M. (2008). *Evaluaciones y modelamientos geotécnicos para la ampliación de depósitos de relaves* [Tesis para el título profesional de Ingeniero Civil, Universidad Privada Ricardo Palma].

Quispe Isidro, E. (2021). *Análisis del Relave Filtrado como Sustituto del Relleno Estructural para Terraplenes de Relaves Filtrados, Unidad Cerro Lindo – Chavín – Chincha* [Tesis para el título profesional de Ingeniero Civil, Universidad Privada César Vallejo].

Rodriguez, P.R.; Oldecop, L. (2006). *Influencia del agua en el comportamiento de los relaves mineros*. Instituto Geológico y Minero de España. España.

Salazar Romero, S. (2018). *Estabilidad física de la presa de relaves para el nivel de crecimiento hasta la cota 4,320 m.s.n.m. utilizando relave cicloneado* [Tesis para optar el título de Ingeniero Civil, Universidad Peruana Los Andes].

Taco Juárez, G. (2018). *Evaluación del comportamiento dinámico de la presa de relaves Ocroyoc a partir del análisis del contenido frecuencial en registros sísmicos y vibraciones ambientales* [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Geofísico, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa].

Uso de relaves mineros como agregado fino en concreto de baja resistencia para veredas en una mina peruana (2025)

Resumen



Luis Ewes Blas¹ 

lewesb@unasam.edu.pe

Gustavo Bojorquez Huerta¹ 

gbojorquezh@unasam.edu.pe

Pedro Monja Ruiz² 

pmonjar@ucvvirtual.edu.pe

Esta investigación evalúa el uso de relaves mineros como agregado fino en la elaboración de concreto de baja resistencia, orientado a la construcción de veredas en una mina peruana. El estudio responde a la necesidad urgente de encontrar soluciones técnicas sostenibles frente a la acumulación de pasivos ambientales derivados de la actividad minera. La metodología empleada fue de tipo aplicada, con nivel explicativo, enfoque cuantitativo y diseño cuasiexperimental. Se elaboraron 36 probetas de concreto con sustituciones de 0 %, 10 %, 25 % y 50 % de agregado fino por relave, evaluadas a los 7, 14 y 28 días para determinar su resistencia a la compresión y su trabajabilidad. Los ensayos revelaron que la mezcla con 10 % de relave alcanzó la mayor resistencia (248.50 kg/cm²) y mostró adecuada cohesión, superando al concreto patrón. Este resultado demuestra la factibilidad técnica de reutilizar relaves en infraestructura no estructural, promoviendo así la economía circular en zonas mineras. Además, se identifica una mejora potencial en la gestión ambiental y un impacto positivo en la calidad de vida de las comunidades. Se concluye que el uso controlado de relaves puede reducir el uso de recursos naturales y aportar a soluciones sostenibles en contextos de influencia minera. La investigación ofrece evidencia científica relevante para políticas de reutilización de residuos mineros y prácticas de construcción sustentables, destacando su viabilidad en obras urbanas de bajo requerimiento estructural.

Palabras clave: Concreto de baja resistencia, Relave minero, Agregado fino, Economía circular, Sostenibilidad.

“**Cómo citar este artículo:** Uso de relaves mineros como agregado fino en concreto de baja resistencia para veredas en una mina peruana (2025). (2025). *Aporte Santiaguino*, 18(2), pp. . <https://doi.org/10.32911/as.2025.v18.n2.1260>.



¹Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo - Huaraz - Perú.



²Universidad César Vallejo - Huaraz - Perú.

Recibido: 2025-06-24 | Aceptado: 2025-11-12

Consequences of the excessive use of pesticides in maize (*Zea mays* L.) cultivation in the Callejón de Huaylas, 2018-2019 season

This study assesses the use of mining tailings as fine aggregate in the production of low-strength concrete for sidewalk construction in a Peruvian mining area. The research responds to the urgent need for sustainable technical solutions to address the accumulation of environmental liabilities generated by mining activity. An applied, explanatory-level methodology was used, with a quantitative approach and quasi-experimental design. A total of 36 concrete specimens were produced, replacing natural fine aggregate with tailings at 0%, 10%, 25%, and 50%. The specimens were tested at 7, 14, and 28 days to evaluate compressive strength and workability. Results indicated that the 10% tailings mix achieved the highest compressive strength (248.50 kg/cm²) and demonstrated good cohesion, surpassing the control mix. These findings support the technical feasibility of incorporating tailings in non-structural infrastructure, promoting circular economy practices in mining-affected areas. Moreover, the controlled use of tailings may reduce dependence on natural resources and generate positive environmental and social impacts. The study contributes relevant scientific evidence for policies on mining waste reuse and sustainable construction practices, highlighting their applicability to urban infrastructure projects with low structural demands. The use of tailings in this context represents a viable and scalable strategy for improving environmental management and community well-being in mining regions.

Keywords: Low-strength concrete, Mining tailings, Fine aggregate, Circular economy, Sustainability.

Introducción

En el contexto minero peruano, los relaves constituyen uno de los residuos más significativos y complejos en cuanto a su gestión. Se trata de subproductos generados durante el proceso de

concentración de minerales metálicos, compuestos por partículas finas de minerales residuales, agua y, en muchos casos, agentes químicos utilizados en la extracción. La acumulación de estos materiales no solo representa un riesgo latente para los ecosistemas y la salud de las comunidades cercanas, sino que plantea desafíos económicos, sociales y ambientales que demandan soluciones integrales. Según el Ministerio de Energía y Minas (2022), más de 1,200 depósitos de relaves están registrados en el país, muchos de ellos sin un tratamiento adecuado.

Frente a esta problemática, surge el interés por explorar formas de valorización de los relaves mineros dentro del enfoque de economía circular, el cual promueve el uso eficiente de recursos y la minimización de residuos. La reutilización de relaves en la industria de la construcción, particularmente como componente del concreto, ha ganado atención por su potencial técnico y ambiental. Investigaciones recientes han demostrado que, al incorporarse en proporciones controladas, los relaves pueden mejorar la trabajabilidad del concreto e incluso contribuir a la resistencia mecánica en ciertas aplicaciones no estructurales (Aubakirova et al., 2022; Enríquez et al., 2022).

En este marco, la construcción de veredas urbanas de bajo tránsito y baja exigencia estructural representa una oportunidad concreta para aplicar tecnologías sostenibles con materiales alternativos. Las veredas no solo son elementos esenciales para la movilidad peatonal, sino también para garantizar accesibilidad, seguridad y calidad de vida urbana. En muchas comunidades mineras, estas infraestructuras presentan un deterioro significativo, en parte por la falta de materiales adecuados y por el elevado costo de transporte de agregados naturales desde zonas distantes.

La presente investigación se realizó durante el año 2025 en una mina peruana con el objetivo de evaluar el uso de relaves como agregado fino

alternativo en concreto de baja resistencia ($f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$) para la construcción de veredas. Se elaboraron 36 probetas con sustituciones del 0 %, 10 %, 25 % y 50 % de agregado fino por relave, sometidas a ensayos de resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días, así como evaluaciones de trabajabilidad. El enfoque metodológico fue cuantitativo, de tipo aplicado, con diseño cuasiexperimental.

Se parte de la hipótesis de que la incorporación controlada de relave no solo puede igualar, sino superar las propiedades del concreto patrón, especialmente en términos de resistencia y manejabilidad. Asimismo, se plantea que esta práctica puede contribuir a reducir la presión sobre fuentes naturales de áridos y disminuir los pasivos ambientales de la actividad minera, articulando sostenibilidad ambiental, eficiencia técnica y responsabilidad social.

La revisión de antecedentes revela diversas experiencias exitosas en el uso de residuos mineros en la construcción. Por ejemplo, Arias et al. (2021) lograron resultados satisfactorios al sustituir el agregado fino con relaves en Colombia; de igual forma, estudios realizados en Brasil (Gomes et al., 2021) y Ecuador (Enríquez et al., 2022) muestran que este tipo de materiales puede cumplir con las normas técnicas vigentes para elementos prefabricados. No obstante, en el Perú, la literatura científica sobre el uso específico de relaves como agregado fino para concreto de veredas sigue siendo limitada. Este vacío justifica la pertinencia de la presente investigación.

La innovación del estudio radica no solo en la propuesta técnica, sino también en su enfoque territorial, al considerar las características particulares del relave de una operación minera peruana. La intención es generar datos replicables que puedan escalarse a otras comunidades con contextos similares. Además, se busca fortalecer las prácticas de gestión sostenible de residuos y fomentar una cultura de construcción responsable

en zonas tradicionalmente excluidas del desarrollo urbano.

En este sentido, el artículo tiene como propósito presentar los resultados del estudio experimental sobre el uso de relaves mineros en concreto para veredas, analizando su viabilidad técnica y su potencial impacto ambiental y social. La estructura del artículo incluye, además de esta introducción, una sección de materiales y métodos que detalla el procedimiento seguido, una sección de resultados con los hallazgos principales, una discusión crítica y finalmente, las conclusiones y recomendaciones orientadas a la aplicación práctica de los resultados.

Materiales y métodos

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, de tipo aplicada, con un nivel explicativo y diseño cuasiexperimental. El objetivo fue analizar el comportamiento mecánico del concreto de baja resistencia ($f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$) al incorporar relaves mineros como sustituto parcial del agregado fino. El estudio se llevó a cabo durante el año 2025 en una operación minera peruana, respetando el anonimato institucional conforme a principios éticos y normativos.

Se elaboró un total de 36 probetas cilíndricas de concreto ($15 \times 30 \text{ cm}$), distribuidas en cuatro grupos experimentales según el porcentaje de sustitución del agregado fino por relave minero: 0 % (mezcla patrón), 10 %, 25 % y 50 %. Las probetas fueron ensayadas a los 7, 14 y 28 días para determinar su resistencia a la compresión. Paralelamente, se evaluó la trabajabilidad de cada mezcla mediante el ensayo de revenimiento (slump test), siguiendo la norma ASTM C143.

El relave utilizado fue previamente caracterizado a través de ensayos de granulometría, pH, peso unitario y desgaste Los Ángeles, en conformidad con las normas

técnicas ASTM. Asimismo, se verificó la no presencia de contaminantes químicos en niveles que impidieran su uso en concreto, de acuerdo con la normativa ambiental nacional.

El análisis de datos incluyó estadística descriptiva para comparar los valores medios de resistencia y trabajabilidad entre las distintas proporciones de mezcla. La selección de proporciones respondió a criterios de viabilidad técnica, sustentabilidad y replicabilidad para aplicaciones en infraestructura urbana no estructural, como veredas. Todos los procedimientos experimentales se realizaron respetando protocolos de calidad y seguridad en laboratorio.

Resultados

La presente investigación permitió identificar y analizar los efectos del uso de relaves mineros como agregado fino en mezclas de concreto de baja resistencia para veredas. Se evaluaron dos variables principales: la resistencia a la compresión y la trabajabilidad (medida mediante el ensayo de revenimiento), en distintos porcentajes de reemplazo del agregado fino natural por relave: 0 %, 10 %, 25 % y 50 %. Cada mezcla fue sometida a ensayos a los 7, 14 y 28 días, permitiendo observar el desarrollo de las propiedades mecánicas a lo largo del tiempo.

Comportamiento de la mezcla patrón (0 % relave)

La mezcla sin incorporación de relave, considerada como patrón o control, presentó un comportamiento mecánico estable, con una resistencia promedio de 196.50 kg/cm² al día 7, 213.00 kg/cm² al día 14 y 226.00 kg/cm² al día 28. Esta mezcla se caracterizó por una buena cohesión y asentamiento adecuado, con una trabajabilidad considerada normal para concreto de baja resistencia.

Este comportamiento sirvió como línea base para evaluar los efectos de las mezclas con incorporación progresiva de relave, considerando tanto mejoras como reducciones en sus propiedades técnicas.

Mezcla con 10 % de relave minero

La mezcla con 10 % de relave como reemplazo parcial del agregado fino mostró el mejor desempeño entre todas las proporciones evaluadas. Al día 7, alcanzó una resistencia promedio de 215.50 kg/cm², superando en 9.7 % al concreto patrón. Al día 14, la resistencia se incrementó a 236.50 kg/cm², y al día 28 alcanzó el valor más alto de toda la investigación: 248.50 kg/cm², equivalente a un incremento del 9.9 % respecto al patrón.

Este resultado sugiere que una incorporación controlada de relave puede actuar como un mejorador de la matriz del concreto, posiblemente debido a su granulometría fina y su capacidad de compactación, que favorece una mejor densificación del mortero. Además, esta mezcla presentó una trabajabilidad adecuada, con un revenimiento promedio de 6 cm, compatible con las exigencias técnicas para la construcción de veredas urbanas.

Mezcla con 25 % de relave minero

La incorporación del 25 % de relave presentó un comportamiento intermedio. Si bien la resistencia fue inferior a la mezcla con 10 %, superó ligeramente al concreto patrón. A los 7 días, se obtuvo una resistencia de 203.00 kg/cm²; a los 14 días, 219.00 kg/cm²; y al día 28, 233.00 kg/cm², lo que representa un aumento del 3.1 % respecto al patrón.

No obstante, se observó una ligera pérdida de cohesión en la mezcla fresca y un revenimiento de 5 cm, que, si bien es aceptable, denota una reducción en la trabajabilidad con respecto a

la mezcla patrón y la de 10 %. Este resultado indica que, aunque técnicamente viable, esta proporción podría requerir aditivos o ajustes en la dosificación para asegurar una colocación eficiente y homogénea en obra.

Mezcla con 50 % de relave minero

El grupo con mayor proporción de relave (50 %) mostró los valores más bajos de resistencia a la compresión y mayores dificultades de trabajabilidad. A los 7 días, la resistencia promedio fue de 187.00 kg/cm²; a los 14 días, de 195.00 kg/cm²; y a los 28 días, de 209.00 kg/cm². Si bien estos valores se aproximan al concreto patrón, reflejan una reducción del 7.5 % en su desempeño mecánico final.

La trabajabilidad de esta mezcla también fue afectada, con un revenimiento promedio de solo 3.5 cm, lo que implicó mayor rigidez y dificultad en su manipulación durante el colado. Esto sugiere que, a partir de este porcentaje, el contenido fino del relave genera una compactación deficiente, posiblemente por la presencia de partículas demasiado finas o limosas que incrementan la demanda de agua.

Análisis comparativo y tendencias

El análisis general revela que el comportamiento del concreto con relave no sigue una línea recta. La mezcla con un 10 % mostró mejoras tanto en la resistencia como en la trabajabilidad, lo que indica que esta proporción permite integrar el relave de forma adecuada dentro de la matriz del concreto, sin comprometer sus propiedades esenciales.

Sin embargo, al aumentar el porcentaje de relave, los beneficios se reducen y empiezan a aparecer efectos negativos, sobre todo en lo que respecta a la trabajabilidad. Esto respalda la idea de que hay un límite óptimo para su incorporación, el cual, en este caso, se ubicó alrededor del 10 %.

Superar ese punto puede provocar acumulación de partículas finas, lo que lleva a problemas como segregación, menor adherencia entre la pasta y el agregado, y un aumento en la porosidad.

Implicancias técnicas y sostenibilidad

Desde una perspectiva técnica, los resultados respaldan el uso del relave minero como agregado fino, siempre que se utilice en proporciones controladas, para fabricar concreto destinado a obras no estructurales, como banquetas o veredas. En particular, la mezcla con un 10 % de relave no solo cumplió con los requisitos mínimos de resistencia para concretos de baja resistencia, sino que incluso superó el desempeño del concreto convencional.

Este hallazgo es relevante para la sostenibilidad ambiental, ya que ofrece una forma efectiva de reutilizar residuos mineros en áreas urbanas. Al hacerlo, se reduce la extracción de áridos naturales y se contribuye a disminuir los pasivos ambientales derivados de la minería. Además, desde el punto de vista económico, el uso de relave permite ahorrar en transporte de materiales y optimizar la gestión de recursos en zonas mineras.

Consideraciones adicionales

Hay que tomar en cuenta que todos los ensayos se llevaron a cabo en laboratorio y bajo condiciones controladas, lo que asegura cierta consistencia en los resultados obtenidos. No obstante, si se busca aplicar esta propuesta en situaciones reales, es fundamental realizar estudios complementarios en campo que contemplen variables como el clima, la humedad del ambiente y las particularidades del terreno.

También es importante analizar cómo responde el concreto con relave ante escenarios más exigentes, por ejemplo, frente a ciclos repetidos de humedad y sequedad, o en presencia

de sulfatos. Este tipo de evaluaciones permitiría determinar su durabilidad en el tiempo. En el caso de mezclas con más del 25 % de relave, conviene además explorar el uso de aditivos como plastificantes o reductores de agua, que podrían mejorar su manejabilidad sin afectar negativamente la resistencia.

En conjunto, este estudio representa un aporte relevante para el sector de la construcción civil en el Perú, especialmente en lo que respecta al uso de residuos mineros. Al mismo tiempo, ofrece evidencia empírica que puede servir de base para orientar decisiones técnicas y políticas públicas enfocadas en una gestión ambiental más eficaz y en el impulso de un desarrollo sostenible.

Discusión

Los resultados obtenidos en esta investigación permiten establecer un marco comparativo entre las diferentes proporciones de relave minero utilizadas como agregado fino en mezclas de concreto de baja resistencia para veredas. Los datos analizados reflejan una tendencia que confirma parcialmente la hipótesis inicial: la adición de relaves en proporciones moderadas puede mejorar las propiedades mecánicas del concreto sin comprometer su trabajabilidad ni su aplicabilidad en obras urbanas no estructurales.

Comparación de la resistencia a la compresión

Como se muestra en la Tabla 1, la mezcla con 10 % de relave alcanzó la mayor resistencia a la compresión a los 28 días (248.50 kg/cm²), superando incluso a la mezcla patrón (226.00 kg/cm²). Este hallazgo coincide con lo reportado por Enríquez et al. (2022), quienes también observaron un rendimiento superior en mezclas con relaves en proporciones no mayores al 20 %, atribuido a la adecuada granulometría y a una mejor compactación del mortero.

Tabla 1

Resistencia a la compresión del concreto según porcentaje de relave minero

Porcentaje de relave	Resistencia a los 7 días (kg/cm ²)	Resistencia a los 14 días (kg/cm ²)	Resistencia a los 28 días (kg/cm ²)
0 % (mezcla patrón)	196.50	213.00	226.00
10 %	215.50	236.50	248.50
25 %	203.00	219.00	233.00
50 %	187.00	195.00	209.00

Nota. Esta tabla presenta los valores promedio de resistencia a la compresión del concreto con diferentes proporciones de relave como agregado fino. Se observa un desempeño óptimo con la mezcla al 10 % de relave.

Este comportamiento puede explicarse por la capacidad del relave de actuar como un micro-

relleno, optimizando la distribución de vacíos entre los agregados. En el caso de proporciones mayores, como el 50 %, se produce un efecto inverso: la resistencia disminuye hasta 209.00 kg/cm², lo cual se atribuye a la sobresaturación de partículas finas que entorpecen la adherencia pasta-agregado y generan una mezcla más frágil y porosa.

Evaluación de la trabajabilidad

En cuanto a la trabajabilidad, los resultados indican una pérdida progresiva de revenimiento conforme aumenta el porcentaje de relave, tal como se observa en la Tabla 2. Mientras la mezcla patrón mantuvo un revenimiento promedio de 6.5 cm, la mezcla con 50 % de relave apenas alcanzó 3.5 cm, lo cual puede dificultar su colocación en campo. Este efecto ya ha sido reportado por estudios como el de Aubakirova et al. (2022), que relacionan el exceso de material fino con un incremento en la demanda de agua y una reducción en la fluidez de la mezcla.

Tabla 2

Revenimiento del concreto según porcentaje de relave minero

Porcentaje de relave	revenimiento promedio (cm)
0 % (mezcla patrón)	6.5
10 %	6.0
25 %	5.0
50 %	3.5

Nota. El revenimiento fue medido mediante el ensayo de asentamiento tipo “slump test” conforme a la norma ASTM C143. Se evidencia una disminución de la trabajabilidad con el aumento del contenido de relave.

A pesar de ello, la mezcla con 10 % de relave mantuvo una trabajabilidad adecuada (6 cm), lo cual la convierte en la opción más equilibrada en términos de resistencia y desempeño operativo. En este sentido, la inclusión controlada de relaves podría permitir una fabricación más económica y ecológica de concreto sin afectar su manipulación en obra.

Relevancia técnica y práctica de los resultados

Desde una perspectiva técnica, los hallazgos de esta investigación tienen una doble implicancia. Por un lado, validan la viabilidad del uso de relaves mineros como insumo parcial para concreto de baja resistencia. Por otro, establecen un parámetro cuantitativo específico (10 %) como umbral óptimo de sustitución del agregado fino natural por relave, al menos en condiciones controladas de laboratorio.

Este resultado no solo contribuye a optimizar el diseño de mezclas más sostenibles, sino que también permite al sector construcción considerar nuevas estrategias de abastecimiento de agregados, especialmente en regiones donde los recursos naturales son escasos o costosos de transportar. En comunidades mineras, donde los relaves están disponibles localmente, esta práctica puede generar importantes ahorros económicos y reducir el impacto ambiental del concreto tradicional.

Articulación con estudios previos

La consistencia de estos resultados con estudios similares realizados en Latinoamérica y Asia refuerza la solidez del diseño experimental empleado. Por ejemplo, Arias et al. (2021) en Colombia y Quan et al. (2022) en China encontraron que la resistencia a la compresión tiende a mejorar con la incorporación de relaves en proporciones inferiores al 20 %. Sin embargo, cuando se superan ciertos límites, se observa una disminución del rendimiento estructural y de la cohesión del concreto, similar a lo identificado en esta investigación.

Además, el patrón decreciente en la trabajabilidad observado a partir del 25 % de relave guarda relación directa con la naturaleza limosa de este residuo, lo cual puede generar mezclas secas, difíciles de compactar y con mayor riesgo de fisuración.

Implicancias ambientales y sociales

Más allá de los aspectos técnicos, esta investigación se inserta en una problemática ambiental urgente: la acumulación de relaves como pasivos mineros sin gestión adecuada. Desde esta óptica, la reutilización de estos residuos en infraestructura urbana representa una acción concreta alineada con los principios de la economía circular y los Objetivos de Desarrollo Sostenible, particularmente los ODS 11 y 12.

Desde una perspectiva social, aplicar este tipo de soluciones puede traducirse en beneficios reales para las comunidades que viven en zonas cercanas a la actividad minera. Producir concreto con relaves a nivel local ayudaría a mejorar obras básicas—como veredas y caminos peatonales—de forma accesible y con menor impacto ambiental. Además, esta alternativa podría reforzar la relación entre las empresas mineras, el territorio y los objetivos de sostenibilidad compartidos.

Limitaciones del estudio

Si bien los resultados son prometedores, el estudio presenta algunas limitaciones que no deben pasarse por alto. En primer lugar, los ensayos se realizaron en laboratorio, bajo condiciones controladas, lo que no necesariamente refleja el comportamiento real del concreto con relave en obras ejecutadas a campo abierto. Factores como las condiciones climáticas, el tipo de suelo, la calidad del agua empleada o incluso el tipo de cemento, pueden alterar significativamente su desempeño.

Por otro lado, el enfoque principal de esta investigación estuvo puesto en la resistencia a la compresión y en la trabajabilidad del material. Sin embargo, quedaron fuera otras propiedades igualmente relevantes, como la durabilidad frente a agentes agresivos, la capacidad de absorción de agua o su comportamiento ante variaciones ambientales, especialmente humedad

y temperatura. Para que el uso de relave en concreto se consolide como una alternativa confiable, estos aspectos deberán abordarse en futuras investigaciones que validen su desempeño a largo plazo.

Proyecciones futuras

Con base en los resultados obtenidos, se sugiere desarrollar líneas de investigación complementarias que incluyan:

- Ensayos de durabilidad a largo plazo para validar la estabilidad del concreto con relave frente a agentes agresivos (sales, sulfatos, ciclos térmicos).
- Evaluación del comportamiento estructural en condiciones reales de carga y exposición climática.
- Análisis de la huella ecológica del concreto con relave en comparación con mezclas tradicionales, considerando emisiones de CO₂ y consumo energético.
- Desarrollo de prototipos de veredas con este tipo de concreto en comunidades piloto, con participación ciudadana y monitoreo técnico.

Conclusión

El presente estudio demostró que el uso de relaves mineros como agregado fino alternativo en la elaboración de concreto de baja resistencia para veredas constituye una alternativa técnica y ambientalmente viable, especialmente cuando se utiliza en proporciones controladas. La investigación permitió identificar el comportamiento mecánico y la trabajabilidad del concreto con porcentajes de 0 %, 10 %, 25 % y 50 % de relave, estableciendo parámetros precisos para su incorporación en obras no estructurales.

Los resultados obtenidos confirman que la adición de relave en un 10 % mejora significativamente la resistencia a la compresión del concreto a los 28 días, alcanzando un valor de 248.50 kg/cm², lo cual representa un incremento del 9.9 % respecto a la mezcla patrón. Este hallazgo evidencia que una cantidad moderada de relave puede actuar como un micro-relleno eficiente, mejorando la densidad del concreto y su cohesión interna sin alterar negativamente su trabajabilidad.

A diferencia de otras proporciones, la mezcla que contenía un 50 % de relave presentó una baja notable tanto en resistencia (209.00 kg/cm²) como en trabajabilidad (revenimiento de 3.5 cm). Este resultado sugiere que un exceso de partículas finas puede dificultar la unión entre los componentes del concreto, generando una mezcla menos uniforme y más difícil de manejar. Esto refuerza la idea de que existe un límite óptimo de incorporación de relave, y que superarlo afecta negativamente las propiedades del material.

Desde un enfoque práctico, la mezcla con 10 % de relave mostró un revenimiento de 6.0 cm, dentro del rango aceptado para obras urbanas como las veredas. Este desempeño indica que puede utilizarse sin necesidad de aditivos adicionales, lo que representa una ventaja en términos de costos y operatividad, especialmente en contextos con recursos limitados.

En términos ambientales, incorporar relaves en la fabricación de concreto permite reducir el volumen de residuos mineros, disminuir la presión sobre los bancos de áridos naturales y fomentar una lógica de economía circular dentro del sector de la construcción. Este enfoque está alineado con varios de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, en particular aquellos relacionados con la producción responsable, la infraestructura resiliente y la mejora de las condiciones en comunidades urbanas.

Además, utilizar relaves en proyectos de bajo requerimiento estructural puede ser una solución efectiva para mejorar la infraestructura en zonas mineras, donde muchas veces el acceso a materiales convencionales es costoso o limitado. Esta alternativa no solo aporta en términos técnicos, sino que también puede favorecer la inclusión territorial, el uso de tecnologías apropiadas y la participación directa de las comunidades en la resolución de sus propias necesidades.

Si bien los resultados fueron obtenidos en un entorno de laboratorio, constituyen un punto de partida sólido para avanzar hacia aplicaciones en campo. No obstante, es necesario desarrollar estudios adicionales que evalúen aspectos como la durabilidad frente a agentes agresivos, el comportamiento bajo climas extremos o el desempeño estructural en distintos tipos de carga.

En definitiva, el uso de relaves mineros como agregado fino en concretos de baja resistencia se presenta como una alternativa viable desde lo técnico, sustentable desde lo ambiental y relevante desde lo social, siempre que se respete el rango óptimo definido en esta investigación. La proporción del 10 % destaca como la opción más equilibrada entre resistencia, trabajabilidad y sostenibilidad, y puede adaptarse a diferentes regiones del país donde la actividad minera genera residuos abundantes y las necesidades de infraestructura básica son urgentes.

Este estudio no solo aporta conocimiento técnico al campo de la construcción, sino que también plantea una ruta concreta para afrontar desafíos ambientales en territorios mineros. Asimismo, ofrece fundamentos útiles para el diseño de políticas públicas y normativas que promuevan el uso de residuos industriales en obras civiles, fortaleciendo el vínculo entre investigación, desarrollo sostenible y responsabilidad social.

Referencias

- American Concrete Institute (2009). *ACI 211.1-91 Standard practice for selecting proportions for normal, heavyweight, and mass concrete*. ACI.
- American Society for Testing and Materials. (2020). *ASTM C143/C143M-20 Standard test method for slump of hydraulic-cement concrete*. ASTM International.
- American Society for Testing and Materials. (2021). *ASTM C39/C39M-21 Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens*. ASTM International.
- Anderson, D., & Williams, T. (2018). *Introduction to statistics: Concepts and applications*. McGraw-Hill.
- Arbili, M., Thomas, C., Wang, Y., & Al-Rawashdeh, H. (2022). Mechanical performance and durability of concrete with iron tailings as fine aggregate. *Construction and Building Materials*, 336, Article 127524. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127524>
- Arias Torres, S. M., Córdova Castro, J. D., & Gómez Botero, M. A. (2021). Alternativas de aprovechamiento de residuos de la industria minera de El Bajo Cauca Antioqueño en el sector de la construcción. *Revista EIA*, 18(36), 1–18. <https://doi.org/10.24050/reia.v18i36.1496>
- Aubakirova, A., Abdikalykova, S., Akhmetova, A., & Turdybekova, A. (2022). Application of mining waste as fine aggregate in pedestrian concrete pavement slabs. *Journal of Cleaner Production*, 347, Article 131251. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131251>
- Carhuamaca Rau, J. A., & Coras Quispe, M. E. (2020). *Influencia del relave minero como agregado fino en la resistencia del concreto en la empresa San Ignacio de Morococha S.A.* [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana Los Andes]. <https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/3719>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2017). *Economía circular en la minería*. CEPAL. <https://www.cepal.org/es>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2017). *La gestión de residuos mineros en América Latina y el Caribe*. CEPAL. <https://hdl.handle.net/11362/42462>
- Devore, J. (2016). *Probability and statistics for engineering and the sciences*. Cengage Learning.
- Dirección Regional de Energía y Minas de Áncash. (2023). *Reporte sobre la gestión de relaves en la región de Áncash*. <https://www.unep.org>
- Enríquez, A., Burbano Morillo, D. S., & Núñez Romero, J. (2022). Estudio de caso para el aprovechamiento de relaves mineros procedimientos de la concesión Campanilla, Zamora Chinchipe-Ecuador, como agregado para la elaboración de adoquines. *Revista Científica GeoLatitud*, 5(1), 34–43. <https://geolatitud.geoenergia.gob.ec/index.php/GeoLatitud/article/view/114>

- Enríquez, M. A., Vivanco, J., & Chávez, D. (2022). Evaluación del uso de relaves mineros como agregado fino en la producción de adoquines de concreto. *Revista Técnica de la Universidad Nacional de Loja*, 15(2), 63–72. <https://doi.org/10.12345/rtunl.v15n2.2022.0063>
- Franca Gomes, A. C., Moura Cordeiro, C., Apolonio Callejas, I., & Ferreira Rocha, S. (2021). Caracterización térmica de ladrillos de suelo-cemento utilizando relaves mineros. *REM - Revista Internacional de Ingeniería*, 74(2), 247–254. <https://doi.org/10.1590/0370-44672021750025>
- Guillermo López, J., Roldán Mejía, A., & Huerta Márquez, M. (2021). Evaluación del concreto con sustitución de agregado fino por relave minero en la mina Contonga, Áncash, Perú. *Revista de Ingeniería Civil y Minería*, 7(2), 83–92. <https://revistas.unasam.edu.pe>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). McGraw-Hill.
- Huerta, M., & Roldán, A. (2021). Efecto del relave minero en concreto de baja resistencia $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$. *Revista Ingeniería y Desarrollo*, 6(2), 112–121.
- Huerta Márquez, M., & Roldán Mejía, A. (2021). Evaluación de la proporción óptima de relave minero en bloques de concreto perforado. *Revista de Tecnología Aplicada*, 5(1), 41–49.
- Instituto Nacional de Calidad. (2009). *NTP 339.034: Concreto. Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de cilindros*. INACAL.
- Instituto Nacional de Calidad. (2009). *NTP 339.035: Concreto. Método de ensayo para el asentamiento utilizando el cono de Abrams*. INACAL.
- Instituto Nacional de Calidad. (2009). *NTP 400.012:2009 Agregados. Método de ensayo para determinar la granulometría*. INACAL.
- Instituto Nacional de Calidad. (2009). *NTP 400.017:2009 Agregados. Método de ensayo para determinar la masa unitaria y los vacíos en agregados*. INACAL.
- Kosmatka, S. H., & Wilson, M. L. (2021). *Design and control of concrete mixtures* (17.ª ed.). Portland Cement Association.
- Kuranichie, F. A., Shukla, S. K., & Habibi, D. (2021). *Engineering properties of concrete with iron ore tailings*. *Construction and Building Materials*, 273, 121–125.
- Kuranichie, F. A., Aigbodion, V. S., & Nyankson, E. A. (2020). Recycling of mining waste for sustainable concrete production: A review. *Materials Today: Proceedings*, 33, 476–482. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.099>
- Lexner, T. J., Kichner, H., & Johnson, M. E. (2012). *Manual de ensayos de materiales para ingeniería* (8.ª ed.). McGraw-Hill.
- López, G., & Trejo, S. (2021). *Evaluación del uso de relave minero como agregado fino parcial en concreto estructural en la mina Contonga* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo]. <https://repositorio.unasam.edu.pe/handle/20.500.12927/2483>

- Mercado, A., & Reyna, R. (2020). Evaluación de bloques de concreto ensamblables con relaves mineros en Trujillo. *Revista de Construcción Civil*, 10(3), 55–63.
- Mercado Cortijo, A., & Reyna Marquina, D. (2020). *Análisis del comportamiento de bloques de concreto ensamblables con adición de relave minero en Trujillo* [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/59821>
- Ministerio de Energía y Minas del Perú. (2022). *Guía técnica para la valorización de relaves mineros en el Perú*. <https://www.gob.pe/minem>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2019). *Norma Técnica E.060: Concreto armado*. MVCS.
- Neville, A. M. (1995). *Properties of concrete* (4.^a ed.). Pearson.
- Organización de las Naciones Unidas. (2023). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. <https://sdgs.un.org/es/goals>
- Quan, X., Liu, J., Zhao, Y., & Zhang, Y. (2022). Mechanical and microstructural properties of concrete incorporating molybdenum tailings as fine aggregate. *Construction and Building Materials*, 338, Article 127607. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127607>
- Rivera, L. F. (2004). *Tecnología del concreto*. Editorial Alfa.
- Sánchez de Guzmán, R. (2022). *Manual de diseño de mezclas de concreto para pavimentos peatonales*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Sánchez Gil, J. M. (2018). *Tecnología del concreto: Propiedades, diseño y control* (2.^a ed., p. 203). Editorial Reverté.
- Sorensen, P., & Maxwell, L. (2010). Construction materials standards and quality control. *Springer*, 12(4), 212–219.
- Song, Q., Zou, Y. N., Bao, J., & Wang, L. (2022). Evaluación del uso de relaves de oro como sustituto de arena natural en concreto. SSRN Preprints. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4679049>
- Tapia Jiménez, L. (2015). *Manual técnico del concreto* (2.^a ed.). Editorial San Marcos.
- Triola, M. F. (2013). *Estadística* (12.^a ed., p. 89). Pearson Educación.
- Walpole, R. E., Myers, R. H., Myers, S. L., & Ye, K. (2014). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias* (9.^a ed., p. 245). Pearson.

Biocomercio y valoración de la biodiversidad del bosque amazónico en la selva central del Perú

Resumen



Alejandrina Agui Ortiz¹ 

kibutzagui@gmail.com

El objetivo del estudio fue analizar la relación entre el biocomercio y la valoración de la biodiversidad del bosque amazónico en la selva central del Perú. Se aplicó una metodología cuantitativa, de tipo aplicado, diseño no experimental, correlacional y transversal. La muestra fue no probabilística e intencional. Se consideró a aquellos actores vinculados al aprovechamiento responsable de la biodiversidad. Se utilizó un cuestionario con preguntas cerradas dicotómicas, organizadas según dimensiones temáticas. Los resultados muestran niveles altos de valoración cultural (83 %) y percepción positiva respecto a la comercialización de productos del bosque (78 %). Se halló una relación significativa entre las variables ($p = 0.003$). Se concluye que el biocomercio fortalece la valoración del bosque al generar beneficios económicos, sociales y ecológicos.

Palabras clave: Biocomercio, Biodiversidad, Selva central, Valoración Ambiental, Desarrollo sostenible.

“**Cómo citar este artículo:** Biocomercio y valoración de la biodiversidad del bosque amazónico en la selva central del Perú. (2025). *Aporte Santiaguino*, 18(2), pp. <https://doi.org/10.32911/as.2025.v18.n2.1272>.



¹Universidad Nacional Hermilio Valdizán, Huánuco-Perú.

Recibido: 2025-10-09 | Aceptado: 2025-12-12

Biotrade and the valuation of Amazonian Forest biodiversity in the central jungle of Peru

The objective of this study was to analyze the relationship between sustainable Biotrade and the valuation of Amazonian Forest biodiversity in Peru's central jungle. A quantitative methodology was applied, with an applied, non-experimental, correlational, and cross-sectional design. The sample was non-probabilistic and intentional, composed of actors linked to responsible biodiversity use. A structured questionnaire with dichotomous closed questions was used, organized into thematic dimensions. The results show high levels of cultural valuation (83 %) and positive perception of forest product commercialization (78 %). A significant relationship between variables was found ($p = 0.003$). It is concluded that biotrade strengthens forest valuation by generating economic, social, and ecological benefits. It is recommended to align local policies and sustainable value chains to ensure effective conservation.

Keywords: Biotrade biodiversity, Central jungle, Environmental valuation, Sustainable development.

Introducción

El Perú, en especial la amazonía peruana, es una de las regiones más biodiversas del mundo, pues alberga una vasta riqueza de especies, ecosistemas y culturas ancestrales. Pese a la gran biodiversidad, esta región afronta una presión creciente por la expansión de actividades extractivas, la deforestación, la informalidad productiva y la falta de planificación territorial, lo que ha generado una degradación acelerada de los ecosistemas [MINAM 2024; MAAP 2023].

Según reportes recientes, en el año 2022 se perdieron más de 146,000 hectáreas de bosque amazónico en el país, principalmente debido

a la agricultura migratoria, la tala ilegal y la minería informal FCDS (2024). Esta tendencia se mantiene a pesar de los compromisos asumidos por el Estado peruano en el marco del Convenio sobre la Diversidad Biológica y los Objetivos de Desarrollo Sostenible, lo que evidencia debilidades estructurales en la implementación de políticas públicas referidas a la conservación de ecosistemas como los bosques.

Frente a esta situación, el biocomercio surge como una alternativa que pretende articular la conservación de la biodiversidad con el desarrollo local. Además, promueve el uso sostenible de los recursos nativos bajo principios de equidad, viabilidad económica y sostenibilidad ambiental (UNCTAD, 2020).

En el Perú, el Ministerio del Ambiente define el biocomercio con los siguientes términos: “el conjunto de actividades económicas basadas en la biodiversidad nativa, que se desarrollan conforme a criterios de conservación, uso sostenible y distribución justa de beneficios”. Esta estrategia ha sido impulsada en departamentos como San Martín, Madre de Dios y Ucayali, mediante cadenas de valor de productos naturales como *camu camu*, aguaje, *sacha inchi* y uña de gato, entre los más representativos (GIZ, 2021). A pesar de estos esfuerzos, los avances en el desarrollo territorial del biocomercio son aún limitados, especialmente en zonas como la selva central del Perú, donde se observan modelos extractivos convencionales, débil gobernanza ambiental y escasa articulación entre actores.

En este contexto, valorar la biodiversidad representa un componente fundamental para el éxito del biocomercio, y no se limita al ámbito económico, sino que incorpora dimensiones culturales, ecológicas y simbólicas que expresan el vínculo de las comunidades con su entorno (Díaz et al. 2018; MA et al., 2005). Es de indicar que diversos estudios sostienen que las percepciones, conocimientos y actitudes de las poblaciones

locales influyen directamente en la conservación de los ecosistemas, en especial cuando se integran en esquemas de uso responsable de los recursos (Bebbington et al. 2018). Sin embargo, en muchos territorios amazónicos perduran perspectivas utilitaristas que ven al bosque únicamente como fuente de recursos económicos, sin considerar su valor intrínseco, identitario o de resiliencia.

En el contexto académico, los estudios sobre biocomercio han abordado principalmente el análisis de cadenas productivas, casos empresariales o barreras de acceso a mercados diferenciados (Fairtrade, 2019; WFTO-LA, 2023). Sin embargo, existen pocas investigaciones que analiza la relación entre el biocomercio y la valoración integral del bosque por parte de los actores locales. En particular, son escasas las evidencias empíricas que exploran cómo las prácticas de biocomercio pueden fortalecer la percepción positiva sobre la biodiversidad, impulsar conductas proambientales y contribuir a la sostenibilidad desde una mirada territorial. Esta brecha repercute en el diseño de políticas públicas basadas en evidencia y dificulta la consolidación de modelos de desarrollo más inclusivos y respetuosos de la biodiversidad y cultura local.

El presente estudio tiene como objetivo analizar la relación entre el biocomercio y la valoración de la biodiversidad del bosque amazónico en la selva central del Perú. El análisis se desarrolla desde un enfoque cuantitativo y se enfoca en actores vinculados al aprovechamiento de recursos del bosque en contextos locales. La premisa inicial considera que las prácticas de biocomercio, al integrar principios de sostenibilidad y justicia, pueden influir positivamente en la manera en que las comunidades perciben, protegen y valoran su entorno.

Materiales y métodos

Tipo y diseño de investigación

La presente investigación fue aplicada, con un diseño no experimental, correlacional y de corte transversal, ya que se orientó en el análisis de relación entre el biocomercio sostenible y la valoración de la biodiversidad del bosque amazónico en la selva central del Perú, sin manipulación de variables con un único momento de recolección de datos.

Población y muestra

La población estuvo conformada por actores locales vinculados al aprovechamiento sostenible de productos de la biodiversidad, incluyendo productores, recolectores, transformadores y comerciantes. La muestra fue seleccionada mediante un muestreo no probabilístico de tipo intencional, considerando el grado de involucramiento de los participantes en iniciativas productivas con enfoque de sostenibilidad y comercio justo.

Técnicas, instrumentos y procedimientos

Se aplicó un cuestionario estructurado compuesto por preguntas cerradas de tipo dicotómico (respuesta positiva o negativa). El cuestionario se estableció en dos bloques temáticos:

Bloque 1: Dimensiones del biocomercio (preservación de ecosistemas, empoderamiento comunitario, producción sostenible, aplicación de principios de biocomercio).

Bloque 2: Dimensiones de la valoración del bosque (identidad cultural, resiliencia ecosistémica, participación en acciones ambientales, percepción sobre comercialización de productos).

La validez del instrumento fue determinada mediante juicio de expertos, y su confiabilidad se verificó con el coeficiente KR-20, apropiado para ítems dicotómicos. Se realizó una prueba piloto para garantizar la comprensión de los ítems.

El procesamiento de los datos se realizó mediante el software estadístico SPSS v.26. Se aplicaron estadísticas descriptivas (frecuencias y porcentajes) para caracterizar las variables, y la correlación de Spearman como prueba inferencial, debido a que los datos no presentaron una distribución normal según la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Se consideró un nivel de significancia de $p \leq 0.05$.

Consideraciones éticas

La investigación respetó los principios éticos fundamentales. Se obtuvo el consentimiento informado verbal de todos los participantes, asegurando la confidencialidad, anonimato y los fines exclusivamente académicos. Igualmente, se reconoció el valor del conocimiento tradicional de las comunidades, promoviendo una interacción respetuosa con sus prácticas y cosmovisiones.

Resultados

Resultados generales

En el caso de las preguntas, se organizaron en dos bloques temáticos: dimensiones del biocomercio y dimensiones de la valoración del bosque. Las respuestas se agruparon en dos categorías: positivas y negativas. A continuación, los resultados más relevantes según dimensiones:

Dimensiones del biocomercio

Preservación de ecosistemas frágiles

El 72 % de los encuestados respondió positivamente respecto a su vinculación con

prácticas que contribuyen a la conservación de hábitats forestales, como la recolección regulada y el manejo sostenible de especies.

Empoderamiento comunitario

El 68 % manifestó que participa en procesos organizativos o decisiones colectivas relacionadas al uso de recursos naturales o la gestión de territorios.

Producción de productos naturales

El 70 % indicó que sus actividades productivas corresponden al aprovechamiento sostenible de productos nativos, como frutos, semillas o plantas medicinales.

Aplicación de principios del biocomercio

El 65 % señaló conocer o aplicar algún principio relacionado con el biocomercio, como la sostenibilidad, el respeto por el conocimiento tradicional o la distribución justa de beneficios.

Dimensiones de la valoración del bosque.

Identidad cultural

El 83 % de los participantes respondió que el bosque constituye parte esencial de su identidad, forma de vida o memoria colectiva.

Comercialización de productos de la biodiversidad

El 78 % valoró positivamente la importancia del bosque como fuente de productos comercializables y generadores de ingresos.

Resiliencia ecosistémica

El 65 % identificó al bosque como un espacio que permite afrontar eventos climáticos, cambios estacionales o afectaciones externas.

Participación en acciones de protección ambiental

El 60 % señaló haber participado o estar dispuesto a participar en actividades de reforestación, vigilancia o cuidado de ecosistemas.

Afrontamiento de la degradación del bosque

El 58 % reconoció problemas de degradación ambiental en su territorio y expresó preocupación por su impacto a futuro.

Prueba de hipótesis

Para determinar la relación entre las variables biocomercio y valoración del bosque, se aplicó la prueba de correlación de Spearman, debido a la no normalidad de los datos según la prueba de Kolmogorov-Smirnov.

El resultado obtenido fue un coeficiente de correlación de $\rho = 0.473$, con un nivel de significancia de $p = 0.003$ ($p < 0.05$). Este valor indica una correlación positiva y estadísticamente significativa entre ambas variables.

Tabla 1

Resultados generales por dimensiones

Variable	Dimensión	% Respuestas positivas
Biocomercio	Preservación de ecosistemas	72 %
	Empoderamiento comunitario	68 %
	Producción de productos naturales	70 %
	Aplicación del biocomercio	65 %
	Comercialización de productos	78 %
Valoración del bosque	Resiliencia de los ecosistemas	65 %
	Identidad cultural	83 %
	Participación en acciones ambientales	60 %
	Afrontamiento de la degradación	58 %

Discusión

Los resultados obtenidos permiten reafirmar que el desarrollo del biocomercio tiene una relación significativa con la valoración de la biodiversidad del bosque amazónico en la selva central del Perú. Esta relación se expresa tanto en dimensiones culturales como económicas y ambientales, lo cual confirma la hipótesis planteada y respalda la validez de los datos obtenidos mediante análisis estadístico ($\rho = 0.473$; $p = 0.003$).

Uno de los hallazgos más relevantes es el alto porcentaje de valoración cultural del bosque (83 %), lo cual coincide con lo señalado por Díaz et al. (2018), quienes afirman que el vínculo de identidad con los ecosistemas representa un factor clave en la percepción de su valor no utilitario. Esta dimensión, generalmente subestimada en las estrategias de conservación, es fundamental para comprender las motivaciones de las comunidades hacia la protección de sus territorios. Asimismo, el 78 % de los encuestados

destaca el valor comercial del bosque a través de la venta de productos naturales, lo que indica la importancia de las cadenas de valor sostenibles como mecanismos para generar ingresos sin comprometer la integridad del ecosistema (GIZ, 2021; MINAM, 2018).

En cuanto a la resiliencia ecosistémica (65 %) y la participación en acciones ambientales (60 %), si bien los resultados son moderadamente positivos, evidencian brechas en la articulación entre las capacidades comunitarias y las políticas públicas de gestión ambiental. Este hallazgo es coherente con lo expuesto por Bebbington et al. (2018) y Ráez-Luna (2021), quienes señalan que las comunidades amazónicas suelen enfrentar limitaciones estructurales en el acceso a servicios de asistencia técnica, recursos financieros y procesos de planificación participativa.

Desde una perspectiva ética y del desarrollo humano, los resultados se alinean con el enfoque de Sen (2001), quien considera que el desarrollo debe propiciar la ampliación de capacidades y libertades. En este caso, el biocomercio ofrece una ruta concreta para fortalecer las capacidades de las comunidades locales para tomar decisiones informadas sobre el uso de sus recursos, al mismo tiempo que se genera valor económico, identidad cultural y resiliencia ambiental.

Este estudio también aporta elementos innovadores al análisis del biocomercio en el contexto peruano. Mientras la mayoría de investigaciones se han centrado en estudios de caso productivos o en las barreras del mercado (Fairtrade 2019; UNCTAD, 2020), en la presente investigación se incorpora una perspectiva integral que articula variables socioculturales, ambientales y económicas desde la perspectiva local. Esto permite identificar cómo el biocomercio no solo puede beneficiar económicamente a las comunidades, sino también generar mayor apreciación por el bosque, fomentar actitudes de cuidado y construir sentidos de pertenencia territoriales.

Igualmente, esta investigación aporta evidencia desde una región amazónica menos estudiada: la selva central del Perú, donde el biocomercio aún no ha sido ampliamente sistematizado ni promovido por políticas estatales robustas. En tal sentido, se plantea la necesidad de ampliar las experiencias de biocomercio más allá de regiones como San Martín y Madre de Dios, incorporando un enfoque territorial más inclusivo tomando en cuenta que el Perú es un país con grandes extensiones de bosque y biodiversidad.

A pesar de los esfuerzos realizados en la investigación, se identifica como principal restricción el uso de una muestra no probabilística, lo que limita la extrapolación estadística de los hallazgos. El enfoque contextualizado permite la comprensión de las dinámicas locales auténticas y establece los cimientos para investigaciones futuras con metodologías longitudinales o mixtas.

Finalmente, el estudio reafirma que valorar el bosque no debe entenderse solo en términos económicos, sino como un proceso que integra dimensiones culturales, ecológicas y simbólicas. En este sentido, el biocomercio representa una herramienta viable para articular la conservación con la justicia social, siempre que se diseñen políticas inclusivas, se fortalezcan capacidades locales y se respeten los derechos colectivos de los pueblos amazónicos.

Conclusiones

Los resultados de este estudio confirman que el biocomercio sostenible se relaciona positivamente con la valoración de la biodiversidad del bosque amazónico en la selva central del Perú. Esta relación se evidencia a través de la presencia de prácticas de conservación, producción responsable y comercialización de productos naturales, articuladas con percepciones positivas sobre el valor cultural, económico y ecológico del bosque.

Se demuestra que las comunidades que participan activamente en procesos de biocomercio expresan un mayor sentido de identidad con su entorno, reconocen el bosque como una fuente legítima de ingresos sostenibles y manifiestan actitudes favorables hacia su protección. Estos hallazgos permiten validar la hipótesis general planteada, sustentando que el biocomercio influye en la forma en que se valora y gestiona el territorio amazónico.

Una de las principales contribuciones de esta investigación radica en visibilizar que la valoración ambiental no se limita a dimensiones económicas, sino que integra aspectos simbólicos, culturales y territoriales. En ese marco, el biocomercio representa una herramienta concreta para fortalecer la conservación desde las capacidades locales, en contextos donde los modelos extractivos han erosionado tanto los ecosistemas como la autonomía de las comunidades.

Este estudio también aporta evidencia empírica desde una región menos documentada del país, la selva central, contribuyendo al debate sobre estrategias de desarrollo amazónico sostenible. Aporta elementos para orientar políticas públicas que integren el enfoque de justicia ambiental, fortalecimiento comunitario y gobernanza local.

Si bien se reconoce la limitación de no contar con una muestra probabilística, los resultados permiten construir una base significativa de análisis para futuras investigaciones que profundicen en metodologías mixtas, comparativas o longitudinales. La articulación entre ciencia, cultura y sostenibilidad sigue siendo una prioridad urgente para revertir la pérdida de biodiversidad y garantizar una Amazonía viva, resiliente y justa para las generaciones futuras.

Referencias

- Bebbington, A. J., Humphreys Bebbington, J., Sauls, L. A., Rogan, J., Agrawal, S., Gamboa, C., Imhof, A., Johnson, K., Rosa, H., Royo, A., Toumbourou, T., & Verdum, R. (2018). Resource extraction and infrastructure threaten forest cover and community rights. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 115(52): 13164-73. <https://doi.org/10.1073/pnas.1812505115>.
- Díaz, S., Pascual, U., Stenseke, M., Martín-López, B., Watson, R. T., Molnár, Z., Hill, R., Chan, M. A., Baste, I. ..., Shirayama, Y. (2018). Assessing nature's contributions to people. *Science*, 359, 270-272. [10.1126/science.aap88](https://doi.org/10.1126/science.aap88)
- Fairtrade International (2019). *Standards for small-scale producer organisations*. <https://www.fairtrade.net/en/why-fairtrade/how-we-do-it/standards/who-we-have-standards-for/standards-for-small-scale-producer-organisations.html>
- FCDS, Conservación y desarrollo. 2024. "Perú perdió más de 146 575 hectáreas de bosques amazónicos en el 2022 – FCDS Perú | Conservación y Desarrollo". *Noticias*, marzo 21. <https://fcds.org.pe/noticias/peru-perdio-mas-de-146-575-hectareas-de-bosques-amazonicos-en-el-2022/>

- GIZ (2021). “Fomentar La Bioeconomía y Proteger El Medio Ambiente”. <https://www.giz.de/en/worldwide/102818.html>.
- MA, Millennium Ecosystem Assessment, Walter V. Reid, Harold A. Mooney, et al. 2005. *Evaluación de los Ecosistemas del Milenio Informe de Síntesis*. Informe de Síntesis. United States. <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.439.aspx.pdf>.
- MAAP, Monitoring of the Andean Amazon Project (2023). *Proyecto Monitoreo de la Amazonía Andina*. MAAP. <https://www.maaprogram.org/es/>.
- MINAM (2018). *Estrategia Nacional de Cambio Climático*.
- Ministerio del Ambiente (2013). *Manual del Curso: Biocomercio*. CDD 333.95 P45M. Talion Print E.I.R.L. <https://www.gob.pe/institucion/minam/informes-publicaciones/2717-manual-del-curso-biocomercio>.
- Ministerio del Ambiente (2024). Estadísticas del Sector Ambiente. Interactiva. *Portal SINIA*, agosto 23. <https://sinia.minam.gob.pe/portal/estadisticas-del-sector-ambiente/>.
- Ráez-Luna, E. (2021). “Amazonía, Pandemia y Reactivación Económica En El Perú”. ResearchGate, mayo. https://www.researchgate.net/publication/354736200_Amazonia_pandemia_y_reactivacion_economica_en_el_Peru.
- Sen, A. (2001). *Development as Freedom*. OUP Oxford.
- UNCTAD, United Nations Conference on Trade and Development (2020). *BioTrade Principles and Criteria for Terrestrial, Marine and Other Aquatic Biodiversity-Based Products and Services*. https://unctad.org/system/files/official-document/ditcted2020d2_en.pdf.
- WFTO-LA, Organization. 2023. “Our 10 Fair Trade Principles”. *World Fair Trade Organization*. <https://wfto.com/our-fair-trade-system/our-10-principles-of-fair-trade/>.

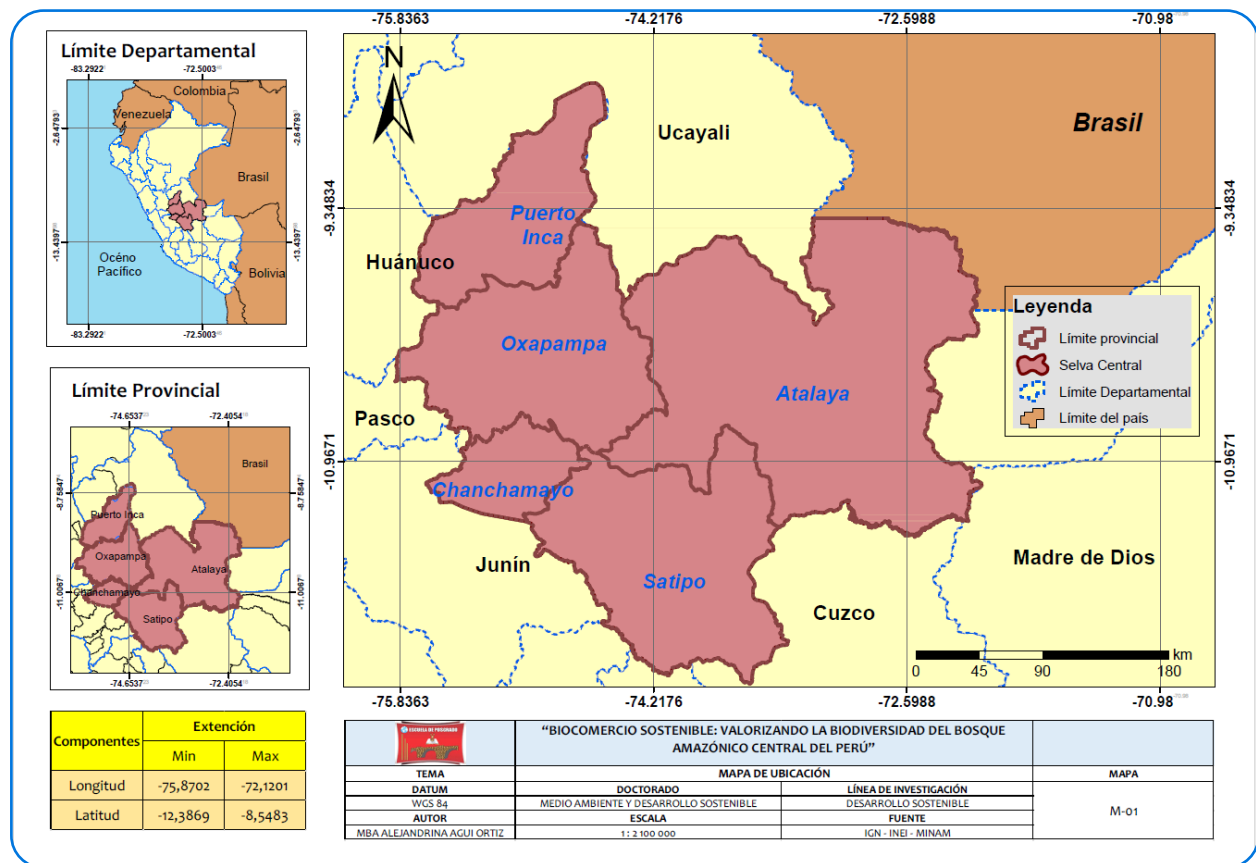
Anexos

Anexo 1. Mapa de ubicación del área de estudio

El presente mapa muestra la localización geográfica del área de intervención en la selva central del Perú, donde se desarrolló el estudio sobre biocomercio. Abarca territorios de bosque húmedo tropical pertenecientes a la región Huánuco, en zonas con presencia activa de comunidades productoras.

Figura 1

Mapa de ubicación del ámbito de estudio



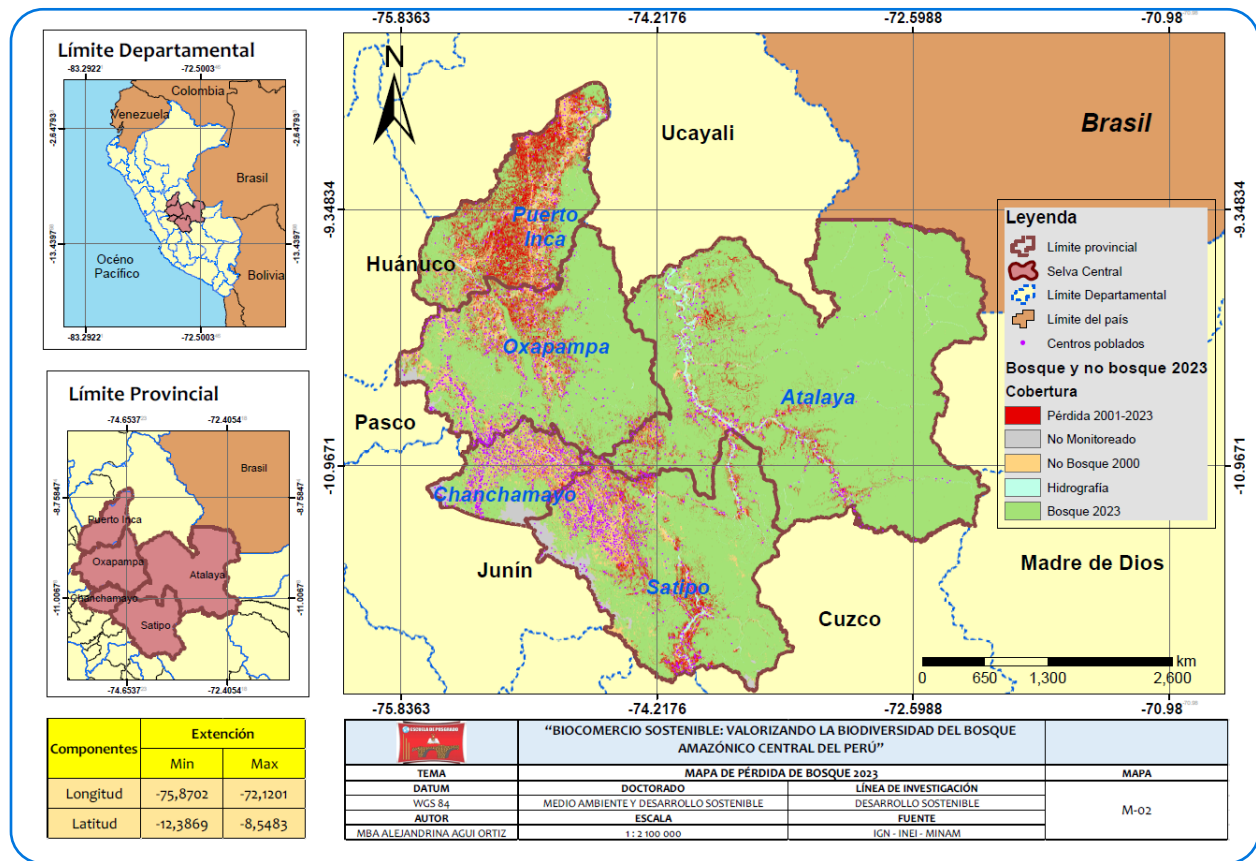
Nota: Elaborado a partir de datos del IGN - INEI – MINAM.

Anexo 2. Mapa de pérdida de bosque amazónico al año 2023

Este mapa representa las zonas de deforestación acumulada hasta el año 2023, según reportes oficiales y análisis geoespacial. La información permite contextualizar la urgencia de promover estrategias de conservación sostenible como el biocomercio.

Figura 2

Mapa de pérdida de bosques



Nota: Elaborado a partir de datos del IGN - INEI – MINAM.

Obtención y caracterización de un extracto hidrosoluble concentrado a base de tarwi (*Lupinus mutabilis sweet*) saborizado con esencias

Resumen



Paula Falcón Romero¹ 

pfalconr@unasam.edu.pe

Ángel Peláez Cruzado¹ 

Apelaesc@unasam.edu.pe

Estefanía Agurto Basurto¹ 

eagurtob@unasam.edu.pe

Yuly Colonia Villanueva¹ 

ycoloniav@unasam.edu.pe

Elza Aguirre Vargas² 

eaguirrev@uns.edu.pe

La investigación consistió en elaborar un extracto hidrosoluble concentrado de tarwi (*Lupinus mutabilis Sweet*) (EHCT) saborizado con esencias. El diseño experimental tuvo tres etapas. Primero: realizar los análisis fisicoquímicos, microbiológicos y funcionales del tarwi. Segundo: realizar ensayos preliminares y definitivos con el objetivo de hallar una formulación para la elaboración de un EHCT similar a los comerciales (bebida de almendras). Tercero: caracterizar la bebida final. Se realizó la optimización utilizando un diseño central compuesto rotacional con 22 tratamientos. Eligiéndose el tratamiento (T2), aplicando evaluación sensorial y física, los resultados fueron: dilución 1:2 (Tarwi: agua), 0.016% carboximetilcelulosa, altura de sedimento 0.02 m, densidad 1.021 kg/m³, sólidos solubles 6, pH 5.67, apariencia 9, sabor 7, Color 8.5, olor 7.5 rendimiento 74.5 %. El cual fue evaluado por 30 panelistas empleando escala hedónica de 7 puntos obteniendo sabor, color, apariencia mayor 5, p-valor menor 0.05, olor menor a 5, que indica que fue aceptado por los panelistas con una confianza del 95%. El análisis químico proximal reportó proteína 0.36 %, carbohidrato 1.91 %, grasa 0.32 % energía 11.94 kcal, humedad 97.34 %, ceniza 0.08 %, aerobios mesófilos < 1ufc/ml, coliformes < 3 NMP/ml., Capacidad antioxidante DPPH 11.9 umol, ET/100g, polifenólicos 2.54 mgGAE/100g.

Palabras clave: Bebida vegetal; Tarwi; Chocho; Análisis sensorial; Capacidad antioxidante.

“**Cómo citar este artículo:** Obtención y caracterización de un extracto hidrosoluble concentrado a base de tarwi (*Lupinus mutabilis sweet*) saborizado con esencias. (2025). *Aporte Santiaguino*, 18(2), pp. <https://doi.org/10.32911/as.2025.v18.n2.1324>.”



¹Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo - Huaraz - Perú.



²Universidad Nacional del Santa, Chimbote - Perú.

Recibido: 2025-10-09 | Aceptado: 2025-12-12

Obtaining and characterizing a concentrated water-soluble extract based on tarwi (*Lupinus mutabilis sweet*) flavored with essences

The research consisted of developing a concentrated water-soluble extract of tarwi (*Lupinus mutabilis Sweet*) (CWSTE) flavored with essences. The experimental design had three stages. First: Perform physicochemical, microbiological, and functional analyses of the tarwi. Second: Conduct preliminary and definitive tests with the objective of finding a formulation for the development of a CWSTE similar to commercial products (almond beverage). Third: Characterize the final beverage. Optimization was carried out using a rotational central composite design with 22 treatments. Treatment (T2) was selected using sensory and physical evaluation, with the following results: dilution 1:2 (Tarwi: water), 0.016% carboxymethylcellulose, sediment height 0.02 m, density 1.021 kg/m, soluble solids 6, pH 5.67, appearance 9, flavor 7, color 8.5, odor 7.5, and yield 74.5%. This treatment was evaluated by 30 panelists using a 7-point hedonic scale, obtaining flavor, color, and appearance scores greater than 5, a p-value less than 0.05, and an odor score less than 5. This indicates that it was accepted by the panelists with a 95% confidence level. The proximate chemical analysis reported: protein 0.36%, carbohydrate 1.91%, fat 0.32%, energy 11.94 kcal, moisture 97.34%, and ash 0.08%. Microbiological results showed mesophilic aerobes < 1 mohos < 1 cfu/ml. and coliforms < 3 NMP/ml. Antioxidant capacity (DPPH) was 11.9 umol ET/100g, and polyphenolics were 2.54 mgGAE/100g.

Keywords: Plant-based beverage; Tarwi; Lupin; Sensory analysis; Antioxidant capacity.

Introducción

El tarwi (*Lupinus mutabilis Sweet*) es una leguminosa originaria de la región Andina con propiedades beneficiosas para la salud. Aporta sensación de llenura y un alto índice de proteínas y grasas (Acuña Sotelo et al., 2019), micronutrientes (calcio, fósforo, zinc, hierro, potasio) vitaminas (tiamina, riboflavina, vitamina c, ácido fólico, B caroteno (Yucra & Puma, 2023)). En Perú, varias empresas se dedican a la producción de polvo de Tarwi mezclado con cacao, camu-camu, lucuma y otros (Tarwi Foods, 2024). En la región Áncash la cooperativa la Perla ubicada en Caraz produce Tarwi desamalgado en polvo, pero no hay producción de bebidas de tarwi líquidas saborizadas embotelladas o en caja, lo cual representa una justificación para la producción y comercialización, como sí lo hay en el Ecuador. Facebook Lupwi Ecuador (2025) indicó que la empresa más destacada en Ecuador produce la bebida de tarwi (chocho) a nivel industrial y en formato Tetra Pak es Alimentarte S.A. B.I.C. con su marca Lupwi. El objetivo principal de la investigación fue desarrollar una bebida de Tarwi con esencias como canela, vainilla, edulcorantes, similar a las bebidas vegetales comerciales (bebida de almendras sabor a vainilla, bebida de soja etc.) de bajo costo, saludables y accesible a los consumidores. Los objetivos específicos fueron caracterizar el Tarwi (*Lupinus mutabilis Sweet*) de la región Áncash mediante el análisis funcional, composición química proximal y análisis microbiológico, elaborar extracto hidrosoluble concentrado a base de Tarwi (EHCT) saborizado con esencias, determinando el mejor tratamiento y caracterizar el mejor tratamiento mediante análisis físico-químico, microbiológico, funcional y organolépticos. El desarrollo de este producto beneficiaría al productor de chocho (valor agregado) dando alternativas de consumo de bebidas saludables para personas con intolerancia a la lactosa.

Materiales y métodos

La investigación se realizó en el laboratorio de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, ubicado en Huaraz, departamento de Áncash; en el laboratorio de la Universidad Nacional del Santa, ubicado en Chimbote, departamento de Áncash; laboratorios de la Sociedad de Asesoramiento Técnico SAC; laboratorio de Inspection & Testing Services del Perú S.A.C (ITS), ubicados en Lima Perú.

Material vegetal: Tarwi se adquirió de la Cooperativa La Perla- Caraz- Áncash, insumos Carboximetilcelulosa (CMC), Aglupectina (carboximetilcelulosa, pectina y dextrosa), Lecitina, Aroma Sweet, Sorbato de potasio, Esencia de Vainilla, de Canela, Azúcar blanca, estevia, patrón comercial: leche de Almendras VIO Laive, materiales y equipos de laboratorio y de proceso, reactivos para los análisis.

Métodos de análisis

Análisis físico-químicos del tarwi: Carbohidratos (g/100g): Por cálculo, Ceniza (g/100g): NTP 205.004.2022. Energía total (Kcal/100g): Por cálculo, Humedad (g/100g): NTP 205.002.2021. Materia grasa (g/100g): NTP 205.006.2017. Proteína total ((Nx6,25) g/100g): NTP205.005.218. Análisis microbiológico *Escherichia coli* Numeración (nmp/g): ICMSF (1983), Bacterias Coliformes. Recuento de Coliformes Técnica del Número más Probable (NMP). IMVIC, *Salmonella* Detección (/25g): ICMSF (1983). Análisis funcional: Capacidad antioxidante. Método DPPH. Brand William et al (1995), Vitamina C. AOAC 967.21 Compuestos fenólicos: Swain y Hillis 1959. Folin-Ciocalteu.

Métodos de análisis durante el desamargado: pH: método potenciométrico, Tiempo: con un cronometro, Temperatura: termómetro digital.

Métodos del análisis durante la elaboración del EHCT con esencias (Idem), más altura de la sedimentación, análisis sensorial, análisis funcional capacidad antioxidante; **Método DPPH.** Brand William et al. (1995), compuestos fenólicos: Swain y Hillis 1959. Folin-Ciocalteu, análisis físico químicos: energía, carbohidratos, proteína total, humedad, análisis sensorial, con la prueba t - Student, con 30 panelistas no entrenados.

Diseño experimental. Se realizó en tres etapas: **I Etapa:** caracterización del tarwi fresco desamargado mediante análisis funcional, físico-químico, microbiológico. **II Etapa.** Ensayos preliminares y definitivos. El objetivo fue determinar el uso de estabilizantes, edulcorantes y esencias, de tal forma que el EHCT elaborado sea similar al patrón comercial de la marca Laive VIO ALMENDRA. Se trabajaron inicialmente dos diluciones 1:2 y 1:3, Colque Cruz (2016) determino la relación para la elaboración de bebida probiótica de 1:2 (Tarwi-agua).

Ensayos preliminares. En base a las apreciaciones se elaboró EHCT con esencias y edulcorantes, se realizó una evaluación comparativa de las características organolépticas con el patrón comercial (leche de Almendras de **Laive: Vio Almendras**, sabor vainilla, observando la información nutricional, e ingredientes (agua y pasta de almendras, fosfato tricálcico, emulsionante, estabilizador, antioxidantes, reguladores de acidez, y edulcorante (estevia) los parámetros fisicoquímicos (pH, densidad, sólidos soluble), color, olor, sabor, apariencia textura, se utilizó estevia en hoja, polvo y aroma sweet (edulcorante artificial proveídos por FOOD Aromas de Perú. Eligiéndose la dilución 1:2.

Ensayos definitivos. Se utilizó el Diseño Estadístico Compuestos Central Rotable (DCCR) que determinó 22 tratamientos, las diluciones ensayadas 1:2, 1:2.5, 1:3 como se muestra la Tabla 1.

Las variables dependientes: % de estabilizantes, tipo de estabilizante.

Las variables independientes: altura de sedimento, sólidos, pH y densidad. La variable respuesta análisis organoléptico. III Etapa. Caracterización del EHCT con esencias y edulcorante aroma sweet, mediante análisis fisicoquímico, microbiológico, funcionales y análisis sensorial.

Resultados

Tabla 1

Matriz del experimento. Valores codificados y reales

Tratamientos	Variable 1 A: Dilución	Variable 2 B: Cantidad de estabilizante	Variable 3 C: Tipo de estabilizante
	%	%	
1	1:3	0.16	CMC
2	1:2	0.16	CMC
3	1:3	0.69	CMC
4	1:2	0.69	CMC
5	1:3	0.43	CMC
6	1:2	0.43	CMC
7	1:2.5	0.05	CMC
8	1:2.5	0.8	CMC
9	1:2.5	0.43	CMC
10	1:2.5	0.43	CMC
11	1:2.5	0.43	CMC
12	1:3	0.16	Aglupectina
13	1:2	0.16	Aglupectina
14	1:3	0.69	Aglupectina
15	1:2	0.69	Aglupectina
16	1:3	0.43	Aglupectina
17	1:2	0.43	Aglupectina
18	1:2.5	0.05	Aglupectina
19	1:2.5	0.8	Aglupectina
20	1:2.5	0.43	Aglupectina
21	1:2.5	0.43	Aglupectina
22	1:2.5	0.43	Aglupectina

Nota. La tabla presente los diferentes tratamientos del diseño estadístico.

Tabla 2

Resultado de la caracterización funcional Capacidad antioxidante (DPPH), Compuestos fenólicos (mg), ácido gálico (mg/100 g) y vitamina C(mg/100g).

Ensayos	Resultado
Capacidad antioxidante (umolEtrolox/100g) DPPH	367.62 umol ET/100 g (DPPH)
Compuestos polifenolicos (mg GAE/ 100 g)	21.67 mg GAE/100g.
Vitamina C (mg. Vitamina C/100 g)	0.78g/10 /100

Nota. Los datos fueron obtenidos en los laboratorios especializados de la Universidad Nacional del Santa, Chimbote (2023).

Tabla 3

Composición química proximal del tarwi (*Lupinus mutabilis Sweet*)

Componentes	base seca	base húmeda
Proteína (Nx6.25) gr /100 gr	54.11	14.46
Grasa (gr /100 gr)	24.54	6.56
Carbohidratos (gr /100 gr)	5.24	
Energía total (Kcal /100 gr)	137.92	
Ceniza (gr /100 gr)	1.7	
Humedad (gr /100 gr)	73.27	

Nota. Los análisis se efectuaron en los lab. de la Sociedad de asesoramiento Técnico SAT.

Tabla 4

Análisis microbiológico del tarwi (*Lupinus mutabilis Sweet*).

Análisis	Resultado
Ecoli (NMP/gr)	>
Salmonella (/25g)	Ausencia

Nota. los análisis fueron realizados en el laboratorio de ensayo ITS.

Tabla 5

Resultado del Diseño Compuesto Rotable: altura de sedimento, densidad, brix, pH, características organolépticas, rendimiento, tratamientos para las diluciones, cantidad de estabilizante y tipo de estabilizante y edulcorante (aroma sweet). Reporte de análisis de los expertos.

Tratamiento	Variable 1	Variable 2	Variable 3	Respuesta 1	Respuesta 2	Respuesta 3	Respuesta 4	Características organolépticas				Respuesta 6
	A: Dilución (%)	B: Cantidad estabilizante (%)	C: Tipo de estabilizante	Altura del sedimento (m)	Densidad (kg/m ³)	°Brix	pH	Apariencia	Sabor	Color	Olor	Rendimiento (%)
1	1:3	0.16	CMC	0.041	1017	5	6.3	3.5	3.5	4.8	4.5	69.5
2	1:2	0.16	CMC	0.02	1021	6	5.67	9	7	8.5	7.5	74.5
3	1:3	0.69	CMC	0.095	1023	6.4	6.2	5.5	4	5.5	5.5	69.5
4	1:2	0.69	CMC	0.046	1018	5.2	5.62	2	3.3	2.5	1.5	74.5
5	1:3	0.43	CMC	0.14	1028	8	6.1	5	5.2	5	4	62
6	1:2	0.43	CMC	0.054	1031	7	6	3	5	5	3.2	60
7	1:2.5	0.05	CMC	0.048	1026	7	5.78	2	4.5	3	3	65.5
8	1:2.5	0.8	CMC	0.151	1035	9	6.37	3	2.5	4	3.5	65.5
9	1:2.5	0.43	CMC	0.15	1030	8	6.32	5.5	5.5	5.5	4.5	65.5
10	1:2.5	0.43	CMC	0.068	1030	8	6.1	5.5	5.5	5.5	4	65.5
11	1:2.5	0.43	CMC	0.053	1030	7.8	6.18	3.5	4.5	5	3.5	65.5
12	1:3	0.16	Aglupectina	0.053	1021	6	6.23	2	2	2.5	2.5	69.5
13	1:2	0.16	Aglupectina	0.045	1022	6.2	5.54	1	3	2.5	3	74.5
14	1:3	0.69	Aglupectina	0.049	1020	5.6	5.91	3.5	5	4	3.5	69.5
15	1:2	0.69	Aglupectina	0.049	1026	7	5.56	1.5	4	3.5	4.5	74.5
16	1:3	0.43	Aglupectina	0.053	1028	6.5	6	2	4	3.3	3.2	63
17	1:2	0.43	Aglupectina	0.04	1028	6.8	5.2	2	3	3.2	3	60
18	1:2.5	0.05	Aglupectina	0.047	1027	7.2	5.92	3	3.5	4.5	3.5	65.5
19	1:2.5	0.8	Aglupectina	0.047	1026	7	5.77	2.75	2.5	2.5	2.5	65.5
20	1:2.5	0.43	Aglupectina	0.05	1030	7.8	5.47	2	4	3.5	3.5	65.5
21	1:2.5	0.43	Aglupectina	0.047	1027	7.2	5.92	1	2	4	3.5	65.5
22	1:2.5	0.43	Aglupectina	0.05	1026	7	5.81	2	2.5	3.5	2.5	65.5

Nota. La Tabla 5 presenta los resultados de las variables respuesta de la investigación, de acuerdo a estos valores el tratamiento T2 es el óptimo.

Tabla 6

Formulación final por litro de EHCT saborizado con esencias

Dilución	1:2
Esencia de vainilla Código 001	0.5%
Esencia de canela Código 002	0.3%
Aroma sweet	0.02%
Sorbato de potasio	0.03%
Carboximetil Celulosa	0.016%

Nota. Todos los insumos fueron adquiridos de la empresa FOOD AROMAS DEL PERÚ.

Tabla 7

Análisis fisicoquímico del extracto hidrosoluble concentrado a base de tarwi.

Componentes	(Lupinus mutabilis Sweet) saborizado con esencias	(Lupinus mutabilis Sweet) saborizado con fresa
	Resultados g/100ml	
Energía /calorías	11.94	11.72
Carbohidratos	1.91	2.0
Proteína	0.36	0.35
Humedad	97.34	97.28
Ceniza	0.08	0.12
Grasa total	0.32	0.26

Nota. los análisis se realizaron por Inspection & Testing Services del Perú S.A.C (ITS) (2023)

Tabla 8

Resultado del análisis microbiológico del EHCT saborizado con esencias

Parámetro	Extracto hidrosoluble saborizado con esencias		Extracto hidrosoluble saborizado con fresa	
	unidad	Resultados	Unidad	Resultados
Aerobios				
Mesófilos	UFC/ml	<1	UFC/ml	<25
Mohos	UFC/ml	<1	UFC/ml	<1
Levaduras	UFC/ml	<1	UFC/	<1

Nota. Efectuados por la empresa Inspection & Testing Services del Perú S.A.C (ITS). (2023).

Tabla 9

Capacidad antioxidante (DPPH) del extracto hidrosoluble del tarwi, saborizado con esencias.

Ensayos	Resultado
Capacidad antioxidante (umolEtrolox/100g DPPH)	11.99 umol ET/1 00g
Compuestos polifenolicos (mg GAE/ 100 g)	2.54 mg GAE/100

Nota. los análisis se realizaron en el laboratorio especializado de la Universidad Nacional del Santa, Chimbote (2023).

Tabla 10

Análisis sensorial, prueba de aceptabilidad del extracto hidrosoluble del tarwi saborizado con esencias, utilizando escala hedónica de 7 puntos.

N° Panelistas	Puntuación según la escala hedónica			
	Sabor	Color	Olor	Apariencia
1	2	5	2	5
2	5	6	5	5
3	6	6	5	5
4	5	6	3	5
5	5	5	3	3
6	6	5	6	5
7	7	7	7	7
8	7	6	5	6
9	7	5	6	5
10	5	7	4	7
11	7	5	5	3
12	6	6	5	6
13	6	5	5	4
14	5	6	5	6
15	5	5	5	6
16	5	5	3	3
17	6	6	5	6
18	5	5	6	6
19	6	6	3	5
20	5	6	5	6
21	5	6	3	6
22	5	3	2	5
23	5	6	5	6
24	5	6	5	6
25	6	6	5	6
26	6	6	5	6
27	5	6	5	6
28	2	1	5	1
29	5	3	5	5
30	6	6	5	7

Nota. La figura muestra la puntuación de los 30 panelistas.

Tabla 11*Resultado de la prueba t- student para el análisis sensorial*

Variable	N	Mean	Desviación Estándar	Varianza	T	Grados libertad	p-Valor
Sabor	30	5.37	1.16	1.334	1.732	29	0.047
Color	30	5.40	1.22	1.489	1.795	29	0.042
Olor	30	4.60	1.19	1.421	-1.838	29	0.038
Apariencia	30	5.27	1.34	1.789	1.0921	29	0.042

Nota. En la tabla se aprecian los puntajes de sabor, color, olor, apariencia y el valor p.

Discusión

Tabla 1. Indica la matriz del diseño experimental, usando la metodología de diseño de experimentos (DoE), definiendo la combinación de niveles de las variables que se probaran en cada uno de los 22 tratamientos, presentando valores codificados y reales, para la variable 1 es dilución, para la variable 2 es cantidad de estabilizante y para la variable 3 es el tipo de estabilizante (CMC, *Aglupectina*), asimismo se está usando un diseño central compuesto rotacional, permitiendo explorar no solo los efectos principales de cada variable sino también las interacciones entre ellas, que es crucial para la optimización del proceso.

Tabla 2. En estudios de otros autores se encontró los mismos valores de análisis físico químicos indicando además que el contenido de proteína supera a la soya (36, del frijol y del maní) reportó que la cascara del chocho es rica en fibra, la cual funciona como regulador intestinal. En cuanto a la capacidad antioxidante (Llerena, 2022), otros autores difieren en sus reportes con los hallados en la presente investigación indican que encontraron una capacidad antioxidante de 0.81mg TE/gr, Pero en la harina de chocho el contenido de compuestos polifenólicos es el más alto 2.39 mg GAE/ gr. lo cual favorecería administrar en niños para su correcto desarrollo muscular óseo del Sistema inmunológico. (Córdova Fuentes, Eveling Tatiana, 2017).

Tabla 3. El Tarwi posee polifenoles y vitamina E, antioxidantes que protegen de los radicales libres y en cuanto compuestos fenólicos, se reportó una disminución considerable en el Tarwi desamargado (94.45 - 204.67 mg equivalentes de ácido gálico EAG /100 g) en comparación al amargo (428.49 - 526.8 mg EAG /100(Sabelino Francia, 2020) esto se debe a que en Tarwi amargo para el desamargado intervienen procesos como remojo, cocción, lavado donde se disminuye el contenido de polifenoles, proteínas etc.

Tabla 4 El Tarwi es fuente de proteína de origen vegetal, 30% y 40% de proteína, es una alternativa nutritiva para vegetarianos, veganos, las proteínas del Tarwi contienen todos los aminoácidos esenciales contiene lisina, metionina y triptófano, rico en fibra, previene el estreñimiento, al ser una fibra insoluble, agrega volumen a las heces La fibra dietética soluble puede ayudar a reducir los niveles de colesterol en sangre, contiene minerales que favorece al sistema inmunológico. Bajo contenido de grasas saturadas: puede ser una alternativa para reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares (Yucra & Puma, 2023).

Tabla 5. Muestra los resultados de las 22 corridas experimentales con las 3 variables independientes dilución, cantidad de estabilizantes y tipo de estabilizante, para un estudio enfocado

en la calidad (físicoquímica y organoléptica) y estabilidad del producto cuyo resultado determinó el tratamiento 2 como el mejor tratamiento basándose en la inspección visual, altura de sedimento, rendimiento y puntuación de evaluación organoléptica siendo el CMC el estabilizante de mayor aceptabilidad para la bebida de tarwi lo que refuerza lo manifestado por Pochteca Peru (2023) que indica que el CMC aumenta la viscosidad de los alimentos y otorga buenas calidades sensoriales en la boca, además de lo indicado Juárez (2020) que manifiesta que el CMC en bebidas aporta mejor apariencia y evita la forma de precipitados .

Tabla 6. La formulación final de la bebida con el T2 dilución 1:2 con las esencias de canela. Vainilla, edulcorante aroma sweet, sorbato de potasio y carboximetilcelulosa en los % hallados que fuera seleccionado en la evaluación organoléptica de los expertos, resultado muy semejante a la bebida vegetal de almendras VIOLAIVE sabor vainilla, se procedió al envasado en botellas de 330 ml y 1000 ml, para luego pasteurizar 10 min a 95°C.

Tabla 7. Los análisis indicaron que la bebida aporta energía, carbohidratos, proteínas.

Tabla 8. Se encontró rangos aceptables de aerobios mesófilos <1 mohos <1, levaduras y coliformes <3, lo que demostró que el tratamiento de pasteurización, fue adecuado.

Tabla 9. En bebida vegetal de horchata se encontró una baja capacidad antioxidante 79 umol ET/100ml (Córdova Fuentes, 2017) comparativamente el extracto hidrosoluble de tarwi tuvo de acuerdo al análisis presentado en la tabla 5 menor capacidad antioxidante, recomienda la adición de frutas porque las frutas poseen propiedades antioxidantes debido a la presencia, entre otros, de vitaminas A, C, E, y compuestos fenólicos (Córdova Fuentes Eveling Tatiana, 2017)

Tabla 10. El panel de expertos evaluó los 22 tratamientos, relacionándolo con el patrón (leche de Almendras de LAIVE: VIO ALMENDRAS con sabor a vainilla) . los expertos utilizaron una escala hedónica de 9 puntos, determinaron que el T2, fue el mejor por sus atributos físicos y organolépticos, los valores reportados del T2 fueron Apariencia 9, sabor 7, color 8.5, olor 7.5 y rendimiento 74.5, con un valor $p < 0.05$, con lo cual el T2 fue aceptado con el 95% de confianza, tuvo menor altura de sedimento, CMC 0.016%, densidad 1.021kg/m³, brix 6, pH 5.67, los valores muy similares al patrón comercial.

Tabla 11. Realizando la prueba de hipótesis de un promedio usando la distribución de t- student, se aprecia que los puntajes de sabor, color y apariencia, en promedio son superiores a 5 y el puntaje de olor es inferior a 5; teniendo una calificación de 1 a 7, los valores de p-valor son menores a 0.05 podemos concluir que es aceptable el producto elaborado a una confianza de 95%.

Conclusiones

El Tarwi (*Lupinus mutabilis Sweet*) desamargado tuvo una capacidad antioxidante 367.62 umol ET/100 g (DPPH), compuestos polifenólicos 21.67 mg GAE/100g. Vitamina C /100 0.78g/100g, la composición química proximal reportó proteína 54.1 gr/100, Grasa 24.54gr/100, carbohidratos 5.24, energía total kcal/100gr, ceniza gr/100 1.7, humedad 78.27, el análisis microbiológico reportó: E coli NMP/g) > 3, salmonella ausencia total).

Se logró obtener un extracto hidrosoluble saborizado con esencias. La formulación por litro fue dilución 1:2, Esencia de vainilla Código 001: 0.5%, esencia de canela Código 002: 0.3%, Aroma sweet 0.02%, Sorbato de potasio 0.03%, Carboximetilcelulosa 0.016%.

El extracto tuvo la composición proximal: gr/100 ml, Energía /calorías 11.94, Carbohidratos

1.91% proteína 0.36% humedad 97.34%, ceniza 0.08% grasa 0.32%, análisis funcional: Capacidad antioxidante

DPPH 11.99 $\mu\text{mol ET}/100\text{g}$, Compuestos polifenólicos (mg GAE/ 100 g) 2.54 mg GAE/100g

Figura 1

Evaluación de los 22 tratamientos del DCCR



Nota. la figura muestra los 22 tratamientos desarrollados.

Figura 2

Extracto hidrosoluble con esencias formula final



Nota. La figura muestra la bebida final

Agradecimientos

Al Instituto de Investigación de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo por su apoyo financiero que hizo posible la ejecución del presente trabajo de investigación.

Fuentes de financiamiento

Recursos del Canon Minero de Áncash de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.

Agradecimientos

Acuña Sotelo, Z. S., Alfaro Cano, C., Humareda Cuba, K. S., Manrique Diaz, K., & Garay Huarachi, A.

Colque Cruz, E. J. (2016). *Determinación de parámetros para la elaboración de bebida probiótica de tarwi (Lupinus mutabilis Sweet) empleando Saccharomyces boulardii.*

Córdova Fuentes, E. T. (2017). *Caracterización y capacidad antioxidante de bebidas vegetales a base de Horchata y pulpas de fresa, guayaba y mango. espectroscopia del infrarrojo medio en Tarwi (Lupinus mutabilis).*

F. (2019). *Leche vegetal de tarwi "Tarwi Milk".*

Juárez, C. (2020) *Carboximetilcelulosa sódica, estabilizante para bebidas con más apariencia. Carboximetilcelulosa sódica, estabilizante para bebidas con más apariencia - THE FOOD TECH - Medio de noticias líder en la Industria de Alimentos y Bebidas - The Food Tech*

Llerena, L. (2022). Beneficios del chocho para mejorar la nutrición. *Revista Qualitas*, 24(24), 066-075

Lupwi Ecuador (2025). <https://web.facebook.com/search/top?q=lupwi%20ecuador>

Pochteca-Perú (2023) *estabilizantes alimentarios: tipos y beneficios.* <https://peru.pochteca.net/estabilizantes-alimentarios-que-son-y-cuales-existen/#:~:text=Estabilizante%20que%20aumenta%20la%20viscosidad%20de%20los,emulsiones%20firmes%2C%20estables%20y%20con%20excelente%20textura>

Sabelino Francia, Z. del P. (2020). Modelos de calibración del contenido de proteína y fenólicos totales usando

Tarwi Foods. (2024). Tarwicorp Lanza Nueva Línea De Polvo De Tarwi Mezclado Con Cacao, Camu Camu Y Lúcumá Para Personas Que Buscan Suplementarse Con Proteína Vegetal. <https://tarwicorp.com/>

Yucra, K., & Puma, M. (2023). El tarwi, un tesoro escondido de los andes.

NOTA. EL artículo es parte del informe final del proyecto "Obtención y caracterización de un extracto hidrosoluble concentrado a base de tarwi (*Lupinus mutabilis sweet*) endulzado con stevia (*Stevia rebaudiana bertonii*)", financiado con recursos del canon minero.

Comportamiento del concreto 175 kg/cm² en canales a 2800 - 3500 m s.n.m.

Resumen



Sara Pillaca Mori¹ 

sarapillaca4@gmail.com

La presente investigación tuvo como objetivo analizar el impacto de la variación altitudinal en el comportamiento del concreto de 175 kg/cm² empleado en canales ubicados entre 2800 y 3500 m s. n. m., mediante el uso de un aditivo plastificante. El estudio se desarrolló en la provincia de Huaylas durante septiembre de 2024, bajo una metodología experimental con enfoque cuantitativo y diseño experimental. La población de estudio estuvo constituida por tramos de canal localizados dentro del rango altitudinal establecido. La investigación se enmarca en la necesidad de contribuir al desarrollo de infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación, considerando que el crecimiento económico, el desarrollo social y la acción climática dependen en gran medida de inversiones eficientes en infraestructura. Los resultados evidenciaron que la incorporación del plastificante Super Plast Chema permite obtener un concreto con mayor conservación de sus condiciones iniciales de trabajabilidad, así como un incremento en la velocidad de ganancia de resistencia, alcanzando y superando la resistencia especificada antes de los 28 días de curado.

Palabras clave: Aditivo; Variación; Altitudinal.

“**Cómo citar este artículo:** Comportamiento del concreto 175 kg/cm² en canales a 2800 - 3500 m s.n.m. (2025). *Aporte Santiaguino*, 18(2), pp. <https://doi.org/10.32911/as.2025.v18.n2.1199>.”



¹Universidad César Vallejo - Trujillo - Perú.

Recibido: 2024-12-30 | Aceptado: 2025-07-12



Behavior of 175 kg/cm² concrete in channels at 2800 - 3500 m above sea level

The objective of this research was to analyze the impact of altitudinal variation on the behavior of concrete of 175 kg/cm² used in channels located between 2800 and 3500 m a.s.l., through the use of a plasticizer additive. The study was carried out in the province of Huaylas during September 2024, under an experimental methodology with a quantitative approach and experimental design. The study population consisted of channel sections located within the established altitudinal range. The research is framed in the need to contribute to the development of resilient infrastructures, promote sustainable industrialization and foster innovation, considering that economic growth, social development and climate action depend to a large extent on efficient investments in infrastructure. The results showed that the incorporation of the Super Plast Chema plasticizer allows obtaining a concrete with greater conservation of its initial conditions of workability, as well as an increase in the speed of strength gain, reaching and exceeding the specified strength before 28 days of curing.

Keywords: Additive; Variation; Altitudinal.

Introducción

La provincia de Huaylas presenta una marcada variabilidad altitudinal, con rangos que oscilan desde los 2800 m s. n. m. hasta altitudes superiores a los 4500 m s. n. m. Esta condición geográfica influye directamente en las actividades económicas predominantes de la zona, especialmente la agricultura, la cual depende en gran medida de sistemas de riego conformados por canales de concreto que abastecen a los distintos cultivos, principalmente en las áreas rurales. En este contexto, las condiciones climáticas, estrechamente vinculadas a la altitud, adquieren relevancia al momento de seleccionar materiales

y ejecutar obras de infraestructura hidráulica, debido a su incidencia en el comportamiento del concreto durante su colocación y endurecimiento.

La variación de temperatura asociada a los cambios altitudinales puede afectar propiedades fundamentales del concreto, como la consistencia, la trabajabilidad, el asentamiento y la velocidad de fraguado, lo que repercute en la calidad y durabilidad de las estructuras. Ante esta problemática, el uso de aditivos plastificantes surge como una alternativa técnica orientada a mejorar el desempeño del concreto en condiciones ambientales adversas, permitiendo optimizar su colocación y garantizar un adecuado desarrollo de sus propiedades mecánicas.

Desde una perspectiva más amplia, la investigación se alinea con la necesidad de construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación, considerando que el crecimiento económico, el desarrollo social y la acción por el clima dependen, en gran medida, de inversiones eficientes y sostenibles en infraestructura. En este sentido, el estudio contribuye al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, particularmente al fortalecimiento de infraestructuras fiables, sostenibles y de calidad que apoyen el desarrollo económico y el bienestar de la población.

En atención a lo expuesto, el presente trabajo plantea como problema general la siguiente interrogante: ¿cómo impacta la variación altitudinal en el comportamiento del concreto de 175 kg/cm² empleado en canales ubicados entre 2800 y 3500 m s. n. m.? A partir de esta problemática, la investigación se justifica, en primer lugar, desde el punto de vista teórico, al analizar la influencia de las variaciones térmicas asociadas a la altitud sobre las propiedades del concreto, con el propósito de mejorar su consistencia y desempeño. En segundo lugar, la justificación metodológica radica en el aporte de

evidencia experimental aplicable a la industria de la construcción, particularmente en lo referido a la facilidad de colocación y adaptación del concreto al molde. Finalmente, la justificación social se sustenta en la generación de información técnica útil para la población y los profesionales del sector, orientada a optimizar la calidad de las obras de infraestructura hidráulica en zonas altoandinas.

El objetivo general de la investigación es analizar el impacto de la variación altitudinal en el comportamiento del concreto de 175 kg/cm² utilizado en canales ubicados entre 2800 y 3500 m s. n. m., mediante el uso de un aditivo. Asimismo, se plantean como objetivos específicos: analizar el impacto de la variación altitudinal en el asentamiento del concreto de 175 kg/cm²; evaluar su influencia en la trabajabilidad del concreto; y determinar el efecto de la altitud en la velocidad de fraguado del concreto al incorporar un aditivo plastificante.

En el desarrollo del presente estudio se busca mejorar los procesos de colocación del concreto a diferentes altitudes, identificando como alternativa técnica la incorporación de aditivos. En particular, se empleó el aditivo Chema Plast, cuyos resultados evidenciaron un comportamiento favorable del concreto bajo las condiciones altitudinales evaluadas.

Materiales y métodos

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, con un diseño experimental de tipo experimento puro, orientado a evaluar el impacto de la variación altitudinal en el comportamiento del concreto. El estudio se llevó a cabo en canales ubicados entre 2800 y 3500 m s. n. m., rango altitudinal considerado para el análisis experimental.

La población estuvo conformada por los canales de concreto, situados dentro del rango altitudinal señalado. La muestra estuvo constituida por briquetas cilíndricas de concreto con dimensiones de 7,5 cm de diámetro y 15 cm

Resultados

de altura, elaboradas para la realización de los ensayos correspondientes.

Los resultados obtenidos en la presente investigación se describen a continuación, en función de las variables analizadas. En primer lugar, para evaluar el asentamiento del concreto, se realizó el ensayo del cono de Abrams en dos condiciones altitudinales: 2800 m s. n. m. y 3500 m s. n. m.. En cada altitud se ensayaron dos tipos de muestras: una muestra patrón (sin aditivo) y una muestra con aditivo plastificante. Los valores obtenidos se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1

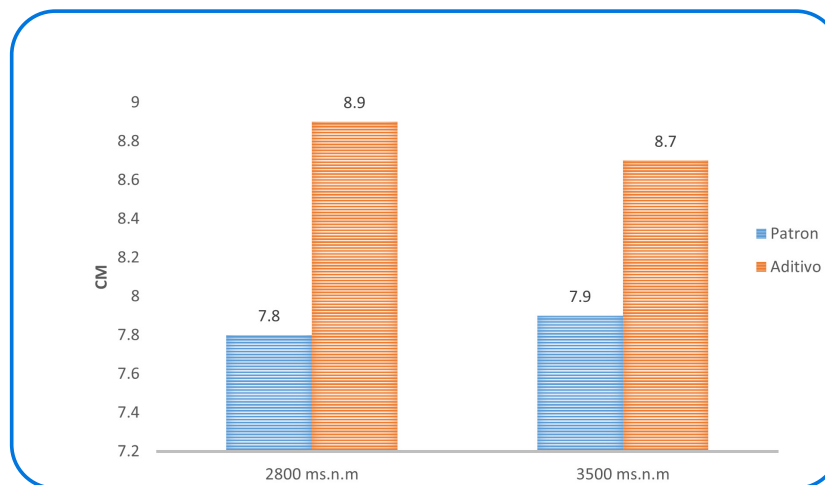
Resultados del Slump

SLUMP	PATRON	ADITIVO
2800 m s.n.m.	7.8 cm	8.9 cm
3500 m s.n.m.	7.9 cm	8.7 cm

Se observa que la muestra patrón presentó un asentamiento de 7,8 cm (equivalente a 3,0 pulgadas) a 2800 m s. n. m., mientras que a 3500 m s. n. m. se registró un valor de 7,9 cm (equivalente a 3,1 pulgadas), lo que evidencia una ligera mayor fluidez del concreto a mayor altitud, asociada a las condiciones de menor temperatura. Por su parte, las muestras con aditivo plastificante mostraron incrementos significativos en el asentamiento en ambas altitudes, alcanzando 8,7 cm (3,4 pulgadas) a 2800 m s. n. m. y 8,9 cm (3,6 pulgadas) a 3500 m s. n. m. En cuanto a la trabajabilidad, esta se relaciona directamente con los valores de asentamiento obtenidos, tal como se presenta en la Figura 1.

Figura 1

Asentamiento



Se observa en la figura que la muestra con aditivo presenta un mayor asentamiento en condiciones de clima más cálido, aunque la diferencia registrada no resulta significativa. No obstante, este comportamiento evidencia una mejor trabajabilidad del concreto, lo que favorece el proceso constructivo, especialmente durante su colocación y compactación en ambientes de mayor temperatura.

A continuación, se analiza el comportamiento del fraguado del concreto en las diferentes altitudes. Para la obtención de estos resultados, se ensayaron dos muestras en cada una de las altitudes evaluadas: una muestra patrón (sin aditivo) y una muestra con aditivo plastificante. En la siguiente tabla se presentan los tiempos de fraguado correspondientes a la muestra patrón, lo que permite establecer comparaciones en función de la altitud y del uso de aditivos.

Tabla 2

Tiempo de fraguado de la muestra patrón

Altitud	Patron	
	T. Inicial	T. Final
2800 m s. n. m	15:30:00	20:45:00
3500 m s. n. m	16:40:00	21:45:00

Tabla 3

Tiempos de fraguado con aditivo

Altitud	Patron	
	T. Inicial	T. Final
2800 m s. n. m	16:05:00	21:15:00
3500 m s. n. m	17:20:00	22:05:00

Se observa que, a la altitud de 2800 m s. n. m., la incorporación del aditivo produce un incremento en el tiempo de fraguado, lo cual constituye una ventaja durante la colocación del concreto, al permitir un mayor margen de trabajabilidad antes del inicio del endurecimiento.

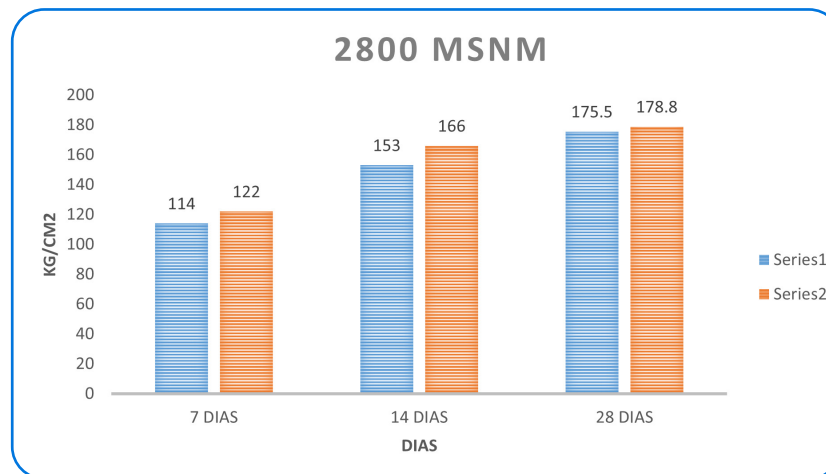
De manera similar, a 3500 m s. n. m., el tiempo de fraguado se prolonga con la adición

del aditivo, evidenciándose tanto en el fraguado inicial como en el fraguado final. Asimismo, se aprecia que, en esta altitud, los tiempos de fraguado son mayores cuando se emplea el aditivo, lo que refleja su efecto retardante en combinación con las condiciones ambientales propias de zonas de mayor altitud.

Con el propósito de evaluar la resistencia de diseño del concreto, se elaboraron briquetas cilíndricas de 7,5 cm × 15 cm en las altitudes

de 2800 m s. n. m. y 3500 m s. n. m. Dichas muestras fueron sometidas a ensayos de resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días de curado. En la figura correspondiente se presentan los resultados obtenidos para las muestras elaboradas a 2800 m s. n. m., tanto para el concreto patrón (sin aditivo) como para el concreto con aditivo, lo que permite analizar la evolución de la resistencia mecánica en función del tiempo y del uso del aditivo.

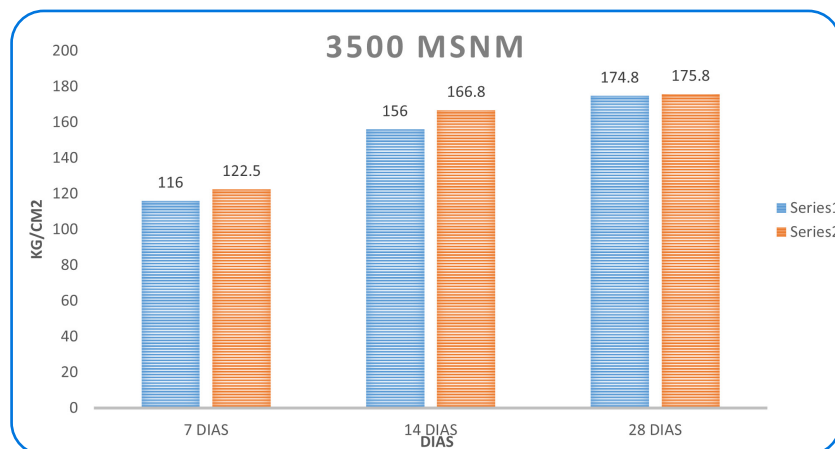
Figura 2



Se observa que la muestra con aditivo presenta un mejor desempeño en todas las edades de ensayo, evidenciando una ventaja sostenida en el desarrollo de la resistencia. Si bien tanto la muestra patrón como la muestra con aditivo alcanzan la resistencia de diseño a los 28 días, la

muestra que incorpora el aditivo supera el valor requerido, lo que confirma su efecto favorable en el comportamiento mecánico del concreto. En la figura siguiente se presentan los resultados obtenidos para las muestras ensayadas a la altitud de 3500 m s. n. m.

Figura 3



A la altitud evaluada, se observa que la incorporación del aditivo Chema Plast permite que la resistencia del concreto supere la resistencia de diseño en todas las edades de ensayo (7, 14 y 28 días). Cabe resaltar que las muestras fueron elaboradas y curadas a una temperatura aproximada de 6 °C, condición que influye directamente en el desarrollo de la resistencia del concreto. En este contexto, a los 28 días, la

muestra patrón no alcanza la resistencia de diseño especificada, mientras que la muestra con aditivo no solo logra dicho valor, sino que lo supera. Estos resultados evidencian que, en condiciones de baja temperatura, el desarrollo de la resistencia requerida se ve dificultado, siendo necesaria la incorporación de un aditivo plastificante para mejorar la calidad y el desempeño mecánico del concreto.

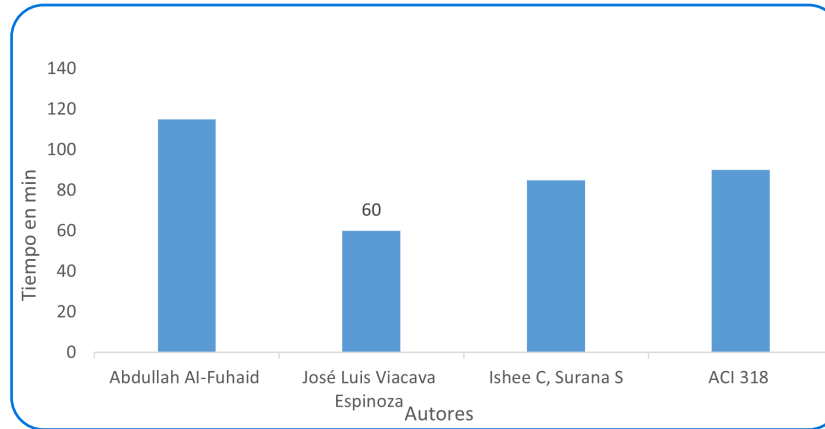
Discusión

En la Figura 4 se observa a algunos autores que discuten sobre el tiempo de colocación del concreto en estado fresco, teniendo en cuenta que climas extremos son considerados menores de 5 °C y mayores a 32 °C, esta figura se refiere

a temperaturas que se encuentran dentro de este rango. Viacava indica que el tiempo menor para ser colocado el concreto debe ser en 60 min, podríamos aplicar esta opinión ya que este autor es peruano.

Figura 4

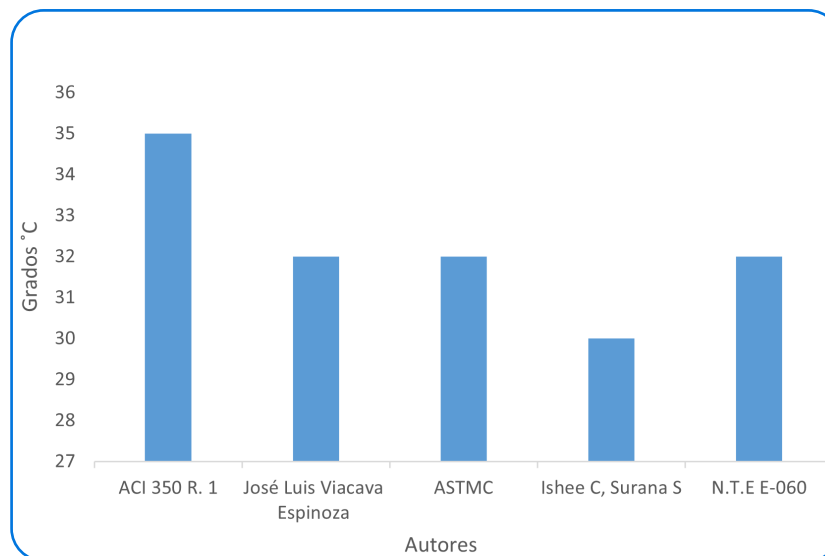
Tiempo de colocación de concreto en min.



En la siguiente figura, se observa las recomendaciones de los autores, de la colocación del concreto en climas cálidos.

Figura 5

Tiempo de colación de concreto en climas cálidos



La NTE E-060 recomienda que la temperatura para colocar el concreto en temperaturas altas no debe ser mayor a 32 °C. Con ello se refiere a la temperatura interna del concreto. Si este llegara a sobrepasar esta temperatura se deberá tomar medidas para

proteger el concreto. Viacaba, en su estudio del concreto en climas extremos, indica lo mismo con respecto a la temperatura. Según el ACI 350 R.1, la colocación del concreto no debe superar los 35 °C. Por lo tanto, no aplicaría a nuestro país, solo a Estados Unidos. Con respecto al

asentamiento del concreto en climas cálidos, según el ACI 211.1 el concreto trabajable posee un slump mínimo de 4 pulg. Manrique (2019) realizó un estudio sacando muestras patrón donde el slump fue de 5 pulgadas: Luego sacó muestras, pero incorporando un aditivo superplastificante EUCOWR-75, donde se tuvo un asentamiento de 1.01 pulg. Whiting y Dziedzi señalan que los aditivos alargan el tiempo de fraguado, disminuyen el asentamiento y mejoran la trabajabilidad, siendo su mayor empleo en climas de altas temperaturas. En nuestro trabajo de investigación se sacó muestra patrón a una altitud de 2800 m s. n. m. Se obtuvo el slump de 7.7 cm que equivale a 3.0 pulg y se observó que era trabajable. Difiere con lo obtenido por el ACI 211.1 y el autor Manrique. Con el primero, difiere porque es una norma norteamericana y con el segundo autor se debe a que su estudio lo hizo en el norte del Perú a una temperatura de 34 °C, mientras que la muestra de nuestro estudio se tomó a una temperatura de 26 °C. Otro punto importante es la relación de agua y cemento. El último autor mencionado indica que la relación a/c es de 0.51 y en nuestro estudio la relación a/c es de 0.50. Desde nuestro punto de vista, lo que más ha influenciado en esta diferencia es la relación de a/c. Asimismo, a esta misma altitud y temperatura se tomó otra muestra incorporando aditivo, el cual fue Chema Plast. Se obtuvo un asentamiento de 7.70 cm que en pulgadas sería 3 Pulg. Comparando con los autores arriba mencionados, se puede observar que el aditivo hace que el asentamiento sea menor. Como se ha observado, el asentamiento en climas fríos según Bardales (2015) al sacar una muestra patrón indica que el asentamiento, en 4 hr, fue de 5 ¼ pulg. Al incorporar superplastificante 3330 (0.806%), el asentamiento durante un periodo de 4 hr fue 5 pulg. También utilizó otro aditivo superplastificante SC (0.66%) y el asentamiento en un periodo de 4 hr fue de 4 ¼ pulg. En nuestro trabajo se ha sacado una muestra a una altitud de 3500, donde el asentamiento de la muestra patrón

de 7.9 cm y en pulgadas equivale a 3.1 pulg, y al incorporar el aditivo Chema plast se observó un asentamiento de 7.60 cm. Se obtuvo un menor asentamiento con respecto a la muestra patrón. Al hacer comparaciones con el autor Bardales, en ambos casos se observa la reducción de los asentamientos al incorporar aditivos. Además, con respecto al asentamiento en la colocación del concreto en la altitud de 2800 m s. n. m y 3500 m s. n. m. al incorporar aditivo es el mismo. El fraguado del concreto en climas cálidos se ha encontrado en trabajos de Llamo y Rodríguez (2018), al haber sacado una muestra patrón siendo el tiempo de fragua inicial de 4 hr 45 min y final de 6 hr 33 min y al incorporar el aditivo SIKAMET TM-140 el tiempo inicial de fraguado fue de 18 hr y tiempo final de 20 hr 55min a una temperatura de 32 °C. Aponte (2017) saca muestra patrón donde el inicio de fraguado inicia en 3 hr y el fraguado final es de 3 hr 36 min., saca otra muestra y le incorpora el aditivo Z retar, a la misma temperatura y el tiempo de fraguado inicial es de 4 hr 6 min. El fraguado final es de 4hr 12 min. Otros autores como Varas y Villanueva (2017) realizaron muestras utilizando cemento, la primera muestra con cemento Pacasmayo extra fuerte, siendo el fraguado inicial de 5 hr 59 min y fraguado final de 8 hr 3 min. Además, sacó otras muestras empleando el cemento Qhuna tipo I siendo el fraguado inicial de 8 hr 46 min y la fragua final ocurre a las 8 hr 15 min. Estas muestras se sacaron a una temperatura de 26 °C. En el trabajo que se presenta, se sacaron muestras a una altitud de 2800 m s. n. m y 3500 m s. n. m., una muestra patrón y otra con aditivo Chema Plast. Se observó que en la primera altitud, sin incorporar el aditivo, el inicio de fraguado fue de 3 hr 30 min y final del fraguado fue a las 8hr 45 min. En la segunda altitud, el inicio de fraguado fue a las 4 hr 40 min y final a las 9hr 15 min. En la muestra que se incorporó el aditivo Chema Plast a los 2800 m s. n. m., el inicio de fraguado fue a las 4 hr 5 min y final 9 hr 15 min, y a los 3500 m s. n. m el fraguado inicial fue de 5 hr 20 min y final 10 hr 5min, observándose que

al incorporar el aditivo el tiempo de fraguado, en las 2 altitudes, se incrementa, al inicio y final del fraguado. Esto nos daría una ventaja si quisiéramos trasportar el concreto, además si comparamos nuestros resultados con los autores que mencionamos, corroboramos nuestros resultados de que al incorporar un aditivo se alarga el tiempo de fraguado inicial y final. Los autores Alva y Favian realizaron un estudio sobre la resistencia de diseño del concreto a diferentes altitudes en las ciudades de Cerro de Pasco (altitud 4330 m s. n. m.), Huánuco (altitud 1880 m s. n. m.) y Pucallpa (altitud 154 m s. n. m.) obteniendo lo siguiente:

Tabla 4*Resistencia promedio a diferentes edades sin aditivo*

Lugar	7 días	14 días	28 días
Cerro de Pasco	139.00 kg/cm ²	183.86 kg/cm ²	206.42 kg/cm ²
Huánuco	135.17 kg/cm ²	194.08 kg/cm ²	214.46 kg/cm ²
Pucallpa	118.51 kg/cm ²	158.31 kg/cm ²	198.42 kg/cm ²

Nota. Datos obtenidos de Alva y Favian.

Tabla 5*Resistencia promedio a diferentes edades con aditivo*

Lugar	7 días	14 días	28 días
Cerro de Pasco	180.62 kg/cm ²	194.66 kg/cm ²	218.73 kg/cm ²
Pucallpa	112.98 kg/cm ²	155.02 kg/cm ²	214.80 kg/cm ²

Nota. Datos obtenidos de Alva y Favian.

Se muestra los resultados en el trabajo que se realizó:

Tabla 6*Resistencia promedio a diferentes edades sin aditivo*

Altitud	7 días	14 días	28 días
2800 m s. n. m.	114 kg/cm ²	153 kg/cm ²	175.5 kg/cm ²
3500 m s. n. m.	116 kg/cm ²	156 kg/cm ²	174.8 kg/cm ²

Tabla 7

Resistencia promedio a diferentes edades con aditivo

Altitud	7 días	14 días	28 días
2800 m s. n. m.	122 kg/cm ²	166 kg/cm ²	178.8 kg/cm ²
3500 m s. n. m.	122.5 kg/cm ²	166.8 kg/cm ²	175.8 kg/cm ²

De los estudios realizados, se observa que a la altitud de 2800 m s. n. m. (26 °C) se obtiene los mejores resultados. Se ha llegado en ambos casos (muestra sin aditivo y con aditivo) a superar el diseño de concreto, pero al incorporar el aditivo la resistencia se logra en menos días. Esto es una ventaja porque permite poner las estructuras en servicio antes de tiempo. Al comparar con los estudios de los autores Alva y Fabian, se observa que también se logran mejores resultados en

climas que se encuentren entre los 16 °C y 28 °C, como es el caso de la ciudad de Huánuco, que a pesar de que no se incorporó aditivo sí se llegó a la resistencia de diseño. Se puede notar que cuando se tenga que colocar concreto en lugares que tengan climas extremos es necesario el uso de un aditivo para poder conseguir, sobre todo, la resistencia de diseño del concreto y evitar problemas futuros.

Conclusiones

La variación altitudinal en el asentamiento del concreto sí influye en el concreto. Se observa que a diferentes altitudes hay una diferencia, aunque no es sustancial, de 1 mm. Esto se observa en la muestra patrón, presentándose mayor asentamiento a más altitud. Al aplicarse aditivo en las dos altitudes, se puede notar que los asentamientos son los mismos, mejora el asentamiento en ambas altitudes. La trabajabilidad tiene que ver con el asentamiento, la muestra patrón y con aditivo. Su asentamiento está entre 3 pulg y 3.1 pulg. El fraguado del concreto es un factor muy importante sobre todo a altas altitudes. Lo que se ha obtenido en este trabajo es que el aditivo, en este caso se utilizó Chema Plast, alarga el tiempo de fraguado tanto el fraguado inicial y fraguado final en ambas altitudes (2800 m s. n. m. y 3500 m s. n. m.) lo que favorecería en climas de temperatura alta. También si se tuviera que trasportar el concreto ayudaría a que conserve sus condiciones iniciales. Del mismo modo, el uso de aditivo ayuda a que se pueda lograr la resistencia de diseño requerida en menor

tiempo e incluso superar la resistencia solicitada. Este es un punto muy a favor del ejecutor ya que al lograr la resistencia solicitada del concreto puede poner en servicio una estructura antes de tiempo. El aditivo utilizado (Chema Plast) en este trabajo cubrió las expectativas en las altitudes que se empleó, logrando sobre todo que la resistencia solicitada, a los 28 días de edad, sea superada.

Referencias

- Abanto, C. F. (2019). *Tecnología del concreto* (Teoría y problemas). Editorial San Marcos.
- Alva, C. A., & Fabian, B. W. (2019). *Estudio comparativo de la resistencia a la comprensión de los concretos elaborados con aditivos acelerante y retardante de fragua en altitudes cálidas, templadas y frías* [Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, Universidad Nacional Hermilio Valdizán]. <https://hdl.handle.net/20.500.13080/3991>

- Aponte Correa, E. (2017). *Influencia de un aditivo retardante de fragua en el comportamiento mecánico de concreto $F'c=250$ kg/cm² en la ciudad de Jaén*. Obtenido de UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA: <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/1009>
- Arqhys Construcción, 2. (Ed.). (2019). *Resistencia del concreto*. <https://www.arqhys.com/contenidos/resistencia-del-concreto.html>
- 305.1, A. (2014). Hot Weather Concreting. *COURSE HERO*. <https://www.coursehero.com/file/p5hmqqa/Aggregates-can-be-immersed-in-cold-water-tanks-or-cooled-air-can-be-circulated/>
- ASTM C 143. (s.f.). “Standard test method for slump of portland cement concrete”. (*Método estándar para la prueba de revenimiento en el concreto de cemento portland*).
- 306R-10, A. (2014). Cold-Weather Concreting. *COURSE HERO*. Obtenido de http://www.constructionheatersinc.com/PDF/PCA_Cold_Weather_Concrete.pdf.
- Aguinaga, S. G. (2019). *Mitigación de los efectos negativos en el concreto de $F'c=210$ kg/cm², producidos por las altas temperaturas en la ciudad de Tarapoto* [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil, Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto]. <http://hdl.handle.net/11458/3343>
- Al-Fuhaid, A. (2019). Recomendaciones para el vertido de hormigón... desde la temperatura hasta la adición del agua. https://www.aleqt.com/2009/07/20/article_254253.html
- ASTM C 143. (s.f.). “Standard test method for slump of portland cement concrete”. (*Método estándar para la prueba de revenimiento en el concreto de cemento portland*).
- Bardales, S. J. (2019). *Perumin Conversion Minira*. <https://docplayer.es/31657751-Tt-204-tecnologia-aplicada-para-la-reduccion-de-fragua-del-concreto-lanzado-en-chungar.html>
- Beas Bernuy, G., Pajuelo Amez, A., Pomez Montiel, A., & Calderon Trinidad, E. (2019). Concreto de alto desempeño utilizando nanosílice. *Revista Digital del Aci Peru*. https://www.concrete.org/portals/0/files/PDF/CI_2019-
- Colmenarez, R. L. (2019). Definición de Términos. 2. <https://es.slideshare.net/LUISENRIQUECOLMENAREZ/definicion-de-terminos-del-concreto>
- Estadísticas de Concreto Premezclado, Colombia: Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), 2018.
- Gabalec, M. A. (2019). *Tiempo de fraguado de Hormigón*. Obtenido de Universidad Tecnológica Nacional: <https://es.scribd.com/document/107103750/Tesis2008-Anabela-Gabalec-Tiempo-de-Fraguado-Del-Hormigon>
- Ishee, C., & Surana, S. (2019). Hot weather concreting. *Scopus Preview*, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978008102616800006X>.
- Manrique Purizaca, J. A. (2019). *Diseño y prueba de mezclas de concreto con baja pérdida de trabajabilidad en el tiempo*. Obtenido de Universidad de Piura: <https://hdl.handle.net/11042/4336>

- Montoya, V. J. (2017). *Elementos de concreto reforzado I*. Universidad de Ibagué.
- Obtenido de [//elibro.net/es/lc/bibliourp/titulos/117761](http://elibro.net/es/lc/bibliourp/titulos/117761)
- NTP 400.011. (2008). AGREGADOS: Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y hormigones (concretos). 2ª Edición Reemplaza a la NTP 400.011:2008. (revisada el 2018).
- NTP (Normativa Técnica Peruana) 334.009-ASTM C150/C150M, 2. (2019). Cemento Portland (Cemex). Obtenido de <https://www.cemex.com.pe/-/hablando-de-cementos-portland>
- NTP 400.037 o ASTM C 33. (s.f.). INDECOPI. 2002. 2da Edición, Lima, Perú.
- AGREGADOS: Especificaciones normalizadas para agregados en hormigón (concretos).*
- NTP 400.012. (2013). Agregados. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. 3ª Edición. Reemplaza a la NTP 400.012:2013.
- NTP 339.088. (2014). Concreto. *Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Portland. Requisitos*. 3ª Edición. (revisada el 2019).
- NTE E-060. (s.f.). *Norma Técnica de Edificación. Concreto Armado*: http://www3.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/EstudiosNormalizacion/Normalizacion/normas/E060_CONCRETO_ARMADO.pdf
- Ortiz, J, Aguado, A, Agullo, L, & García, T. (2019). Influence of environmental temperatures on the concrete compressive strength: Simulation of hot and cold weather conditions. Scopus Preview, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0008884605001481>.
- Pascual, C. E. (2019). *Tipicos de Tecnologia del Concretos en el Perú*. https://www.slideshare.net/cmanuel_locky/topicos-de-tecnologia-del-concreto-en-el-peru
- Rivva, L. E. (2019). *Materiales Para El Concreto*. Instituto de la Construcción y Gerencia.
- Obtenido de <https://pdfslide.net/documents/materiales-para-el-concreto-enrique-rivva-lopezpdf.html>
- Sotomayor, B. N. (2019). *Universidad Austral de Chile*. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2014/bmficis7181a/doc/bmficis7181a.pdf>
- Tufino, S. D. (2009). *Universidad Ricardo Palma*. <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/urp/129>
- Viacava, E. J. (2019). *Estado actual y últimas tecnologías en el diseño y control del concreto*. Obtenido de El concreto en climas extrmos: https://es.slideshare.net/taniataipelez/el-concreto-en-climas-extremos_05_SkysTheLimit_Spanish.pdf
- Zaraskas, L, Skripkiūnas, S, & Girskas, G. (2019). Influence of aggregate granulometry on air content in concrete mixture and freezing - thawing resistance of concrete. *Scopus Preview*, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705817306598>.

Evaluación del impacto ambiental por emisiones atmosféricas y huella hídrica en las 5 empresas de transporte turístico del muelle de Puno – 2025

Resumen



Abdail Pinto Chipanas¹ 

abdailbrusyt@gmail.com

Julio Arestegui Flores¹ 

julio.arestegui@upeu.edu.pe

Bladimir Chura Pacha¹ 

bladimirchura5@gmail.com

Hugo Apaza–Aquino¹ 

hapaza89@gmail.com

El estudio evaluó el impacto ambiental generado por las emisiones atmosféricas y la huella hídrica en cinco empresas de transporte turístico del muelle de Puno durante el 2025. El objetivo fue identificar las principales fuentes de contaminación y comparar sus operaciones según combustible, frecuencia de viajes y uso del agua. La investigación siguió una metodología cuantitativo-descriptiva con componente comparativo, empleando el analizador TESTO 350 para medir CO, NO_x, SO₂ y O₂, además de entrevistas estructuradas a los responsables de cada empresa. Los resultados mostraron que Amantaní y Soqta Suyu registraron las mayores emisiones debido a sus rutas más extensas, mientras que las empresas que operan en Los Uros presentaron valores menores por la corta duración de sus trayectos, pero concentraron más del 80 % del consumo hídrico total por el lavado frecuente de embarcaciones. El análisis estadístico evidenció diferencias significativas entre las empresas, confirmando la relación entre distancia recorrida, consumo de combustible y generación de emisiones. Se concluye que la sostenibilidad del transporte turístico en Puno requiere estrategias integradas de reducción de emisiones, optimización del uso del agua y mantenimiento preventivo, junto con políticas de monitoreo y educación ambiental para proteger el ecosistema del lago Titicaca.

Palabras clave: Emisiones atmosféricas; Huella hídrica; Transporte turístico.

“**Cómo citar este artículo:** Evaluación del impacto ambiental por emisiones atmosféricas y huella hídrica en las 5 empresas de transporte turístico del muelle de Puno – 2025. (2025). *Aporte Santiaguino*, 18(2), pp. . <https://doi.org/10.32911/as.2025.v18.n2.1316>.



¹Universidad Peruana Unión - Juliaca - Perú.

Recibido: 2025-10-02 | Aceptado: 2025-20-12



Environmental impact assessment of atmospheric emissions and water footprint in the 5 tourist transport companies at the Puno pier – 2025

The study assessed the environmental impact of atmospheric emissions and water footprint generated by five tourist transport companies operating at the Puno pier during 2025. The objective was to identify the main sources of pollution and compare their operations based on fuel consumption, trip frequency, and water usage. The research employed a quantitative-descriptive methodology with a comparative component, using the TESTO 350 analyzer to measure CO, NO_x, SO₂, and O₂, in addition to structured interviews with the managers of each company. The results showed that Amantaní and Soqta Suyu registered the highest emissions due to their longer routes, while the companies operating in Los Uros presented lower values due to the shorter duration of their journeys. However, these companies accounted for more than 80% of total water consumption due to the frequent washing of their boats. Statistical analysis revealed significant differences between the companies, confirming the relationship between distance traveled, fuel consumption, and emissions generation. It is concluded that the sustainability of tourist transport in Puno requires integrated strategies for emissions reduction, optimization of water use and preventive maintenance, along with monitoring policies and environmental education to protect the ecosystem of Lake Titicaca.

Keywords: Atmospheric emissions; Tourist transport; Water footprint.

Introducción

El turismo en el altiplano peruano constituye una actividad estratégica para el desarrollo sostenible, especialmente en Puno por su articulación con el lago Titicaca y las comunidades circun- dantes (Ccama Uchiri & Acero Cáceres, 2019). No obstante, el incremento del transporte turístico lacustre genera presiones ambientales vinculadas a las emisiones atmosféricas (Vélez Marcavillaca & Joan Guiller, 2021) y al uso intensivo del recurso hídrico (Paredes, 2012) problemática que cobra relevancia debido a los esfuerzos nacionales por fortalecer la gestión sostenible mediante herramientas oficiales como la Huella de Carbono Perú y el Certificado Azul – Huella Hídrica (Paredes, 2012). A pesar de ello, persiste un vacío científico relacionado con la ausencia de estudios integrados que analicen simultáneamente las emisiones y la huella hídrica en el sector del transporte turístico lacustre, situación que limita el diseño de políticas ajustadas a la realidad altiplánica (Manzanares Flores & Ruben Harold, 2011). La literatura internacional evidencia que el transporte turístico representa una proporción significativa de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (Palomino Monge, 2022) y que las metodologías de evaluación aplicadas en ciudades como Bogotá, Lima y Barcelona permiten cuantificar la huella ambiental del sector y orientar modelos de movilidad más eficientes (Laurente & Machaca, 2020). En este contexto, el presente estudio tiene como propósito evaluar el impacto ambiental asociado a las emisiones atmosféricas y a la huella hídrica en cinco empresas de transporte turístico del muelle de Puno, aportando una aproximación metodológica que anticipe la necesidad de integrar diagnósticos comparativos y criterios de sostenibilidad en el desarrollo del artículo.

Materiales y métodos

Se realizaron mediciones directas de emisiones utilizando un analizador portátil TESTO 350, siguiendo el protocolo operativo del manual técnico (Bacalja Bruna, 2021). La sonda se insertó en el tubo de escape y se registraron las concentraciones en condiciones reales de operación durante funcionamiento (Choque Cruz, A, 2021).

Para la huella hídrica, se aplicó una entrevista estructurada a administradores y operadores, recopilando datos sobre volumen de agua utilizado, frecuencia de lavado y prácticas de gestión ambiental. Se documentaron adicionalmente fotografías, registros de viaje, kilometraje y datos auxiliares mediante cuaderno de campo (Castillo Valencia, 2014).

Técnicas y métodos de análisis

Los valores de concentración gaseosa se transformaron a unidades de masa utilizando factores de emisión, caudales y el modelo de cálculo estándar detallado en la literatura técnica. La huella hídrica se estimó siguiendo la metodología de (Rivera & Zorrilla, 2020)

Se emplearon técnicas descriptivas y comparativas para analizar diferencias entre empresas, complementadas con fórmulas de representatividad (%) para emisiones e indicadores hídricos (Yupanqui Copari, 2025).

Instrumentos

- Analizador TESTO 350 (gases contaminantes).
- Cámara fotográfica (registro documental).
- Vehículo de apoyo, combustible y batería portátil.
- Cuaderno de campo y fichas de registro.
- Cuestionario de entrevista estructurada.
- Programas Excel para el procesamiento estadístico.

Procesos y modelos aplicados

Modelo de cálculo de emisiones según factores de emisión y volumen molar.

Figura 1

Fórmula para la estimación de emisiones atmosféricas según (Smichowski & Contreras, 2022)

$$E_{so_2} = \frac{C * MW * Q * 60}{V * 10^6}$$

Donde:

- $E(so_2)$ = Estimación de la emisión horaria de contaminante, en este caso so_2 (lb/h)
- C = Partes por millón en volumen de aire seco (ppmvd)
- MW = Peso molecular en lb/lb.mol
- Q = Caudal
- V = Volumen molar (pie³/lb.mol)
- 60 = adimensional (60min en 1 hora)
- 10^6 = adimensional (Factor de conversión el ppm)

Modelo conceptual de WFN para estimación de huella hídrica

Sistematización cualitativa de entrevistas para interpretar variaciones operativas.

Tabla 1*Datos de actividad de las 5 empresas del muelle de Puno*

Empresas de transporte	Nombre	Cantidad de embarcaciones	Embarcaciones que salen por día	Destino turístico	Tiempo de viaje por embarcación
1	Ista Los Uros 1	50	10	Los Uros	40 min
2	Isla Amantani	10	2	Amantani	120 min
3	EMP. SOQTA SUYO	11	2	Taquile	120 min
4	Isla flotante de los Uros 2	54	10	Los Uros	40 min
5	Asociacion campesina Chulluni	42	10	Los Uros Chulluni	40 min
Total	5	167	36	15 galones por embarcacion.	

Resultados

Tabla 1*Promedio de los parámetros de emisiones atmosféricas medidos con el analizador TESTO 350*

Empresa	O ₂ %	CO ppm	NO ppm	NO ₂ ppm	NO _x ppm	SO ₂ ppm	TA	TH
Isla Amantani	17,34	731,	199,25	88,975	291,208	1,08333	18,2583	31,341
	33333	583333			333	333	333	6667
Soqta Suyo	17,30	739	200	81,941	271,858	1,58333	17,875	33,725
	5			6667	333	333		
Los Uros 1	20,70	65	7,05	1,3875	4,625	13,75	17,9	24,512
	5							5
Los Uros 2	22,09	32,1	7,75	1,6875	3,7625	7,875	18,4	25,325
		25						
Asociacion Campesina Chulluni	22,23	25,2	10,125	1,625	3,025	6,5	18,0125	28,187
	375	5						5

Tabla 2*Resultados de la estimación de emisiones por empresa según los datos de actividad*

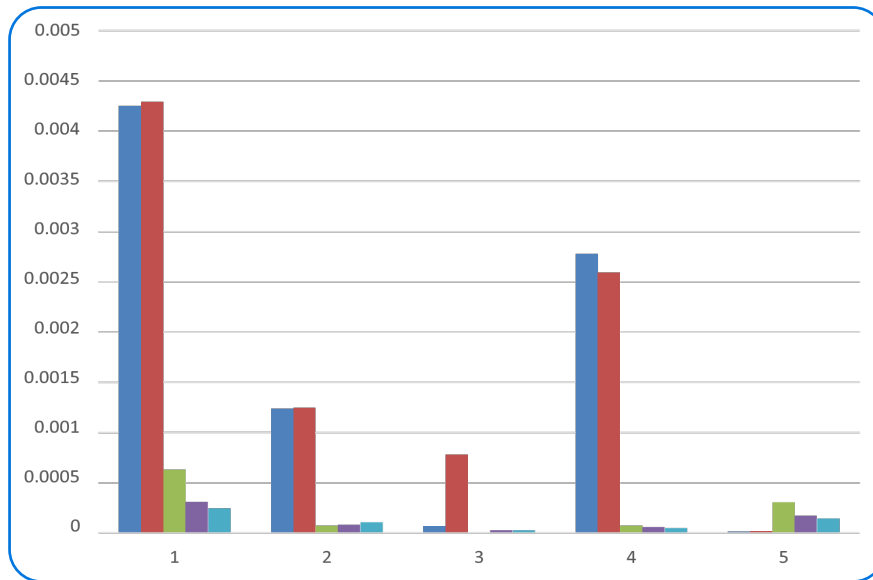
Empresa	CO ton/año	NO ton/año	NO2 ton/año	NOx ton/año	SO2 ton/año
Isla Amantani	0,0042473	0,00123937	7,07037E-05	0,00277711	1,43864E-05
Soqta Suyo	0,00429036	0,00124403	0,000781376	0,00259257	1,43864E-05
Los Uros 1	0,00062894	7,3087E-05	2,75643E-06	7,351E-05	0,000304328
Los Uros 2	0,00031084	8,0344E-05	2,68193E-05	5,9802E-05	0,000174297
Asociación Campesina Chulluni	0,00024432	0,00010497	2,5826E-05	4,808E-05	0,000143864

Tabla 3*Resultados de la estimación de la huella hídrica según empresa*

Empresa	Embarcaciones activas/día	Huella por embarc. (L/año)	Huella empresa (L/año)	Huella empresa (m ³ /año)
Isla Los Uros	6	1 152	6 912	6,912
Isla Amantani	2	1 152	2 304	2,304
EMP. SOQTA SUYO (Taquile)	2	1 152	2 304	2,304
Isla flotante de los Uros	7	1 152	8 064	8,064
Asoc. campesina Chulluni	5	1 152	5 760	5,760
TOTAL, (suma)	FLOTA	—	25 344 L/año	25,344 m ³ /año

Figura 1

Comparación de emisiones de las 5 empresas Isla Amantani (azul), Soqta suyo (rojo), Los Uros 1 (verde), Los Uros 2 (morado) y Asociación Campesina Chulluni (celeste)



Discusión

Los resultados del estudio muestran que las empresas Amantani y Soqta Suyo presentan las mayores concentraciones de CO, NO_x y SO₂, lo cual se explica por sus trayectos más extensos y su demanda energética. Esto coincide con la teoría que establece que rutas largas incrementan proporcionalmente los factores de emisión debido al mayor consumo de combustible (Goodchild Anne, 2017). De forma similar, (Angles Canlla, 2024) demuestra que en Puno el kilometraje recorrido es el principal predictor del aumento de CO₂ y CO, lo cual respalda la validez de los patrones observados en las empresas lacustres.

En contraste, las empresas que operan en Los Uros, pese a registrar menores emisiones atmosféricas debido a rutas cortas, concentran la mayor presión hídrica del sistema. De acuerdo con los valores obtenidos, la empresa “Isla Los Uros” registra 6,912 m³/año, la “Isla flotante de Los Uros” 8,064 m³/año, y la Asociación Campesina

Chulluni 5,760 m³/año, mientras que Amantani y Soqta Suyo presentan valores menores (2,304 m³/año cada una). Esta distribución revela que más del 60 % de toda la huella hídrica total (25,344 m³/año) proviene de actividades vinculadas al turismo de corta distancia, especialmente del lavado permanente de embarcaciones.

Este comportamiento no ha sido destacado previamente en estudios regionales, dado que la mayor parte de las investigaciones vinculadas a huella hídrica como (Castillo Valencia, 2014) o los informes del MINAM (Paredes, 2012) se orientan a evaluar instituciones o procesos urbanos, pero no a flotas turísticas lacustres. Por ello, el presente trabajo aporta un diagnóstico innovador, evidenciando que un menor impacto en emisiones puede coexistir con una presión hídrica mucho mayor, lo cual constituye un elemento crítico en zonas ecológicamente frágiles como Los Uros (Araña & Leon, 2017).

La literatura internacional respalda este comportamiento operativo: (Castro & Marrugo-Salas, 2018) señalan que en establecimientos turísticos el consumo de agua se dispara en actividades de mantenimiento y limpieza, exactamente como se observa en este estudio. Asimismo, (Calderon Sardon, 2024) identifica que la infraestructura turística en Puno presenta altos índices de presión ambiental asociada al volumen de visitantes y servicios de apoyo, lo que concuerda con la elevada huella hídrica registrada en las operaciones lacustres más activas.

Respecto a las emisiones atmosféricas, los picos de NO_x observados se alinean con los hallazgos de la (Rivas & Zaragoza, 2015), que demuestran que motores náuticos sometidos a ciclos frecuentes de arranque y detención generan variabilidad acelerada de NO, NO₂ y SO₂. De igual forma, la variabilidad entre empresas es comparable a la descrita por (Salinas, 2024) y (Peñaloza Samaniego, 2016), quienes reportan incrementos similares en flotas con mantenimiento irregular o motores antiguos, condiciones que también se identifican en parte de las embarcaciones del muelle de Puno.

El análisis integrado evidencia que las emisiones atmosféricas y la huella hídrica del transporte turístico lacustre no siguen patrones paralelos, lo cual resalta la necesidad de un enfoque dual de sostenibilidad. Mientras las rutas largas aportan más emisiones, las rutas cortas presentan mayor presión hídrica por lavado intensivo. Este hallazgo complementa a (Zapana, 2021) y (Nilsson & Thorsell, 2025), quienes sostienen que la frecuencia operativa y el tipo de servicio influyen independientemente en los componentes ambientales.

En conjunto, la evidencia confirma la validez del presente estudio y su aportación al campo: por primera vez se muestra un análisis

simultáneo de emisiones atmosféricas y huella hídrica en flotas turísticas lacustres, revelando interacciones ambientales que no son visibles cuando se estudian estos impactos por separado. Esto abre la necesidad de adoptar medidas integradas de control, monitoreo y optimización del recurso hídrico en el sector.

Conclusiones

Se demostró que las variaciones operativas entre rutas largas y cortas determinan diferencias significativas en los niveles de contaminación. Las empresas con trayectos extensos, como Amantaní y Soqta Suyu, presentan las mayores concentraciones de CO, NO_x y SO₂ debido al mayor consumo de combustible, lo cual confirma la relación directa entre distancia recorrida y generación de emisiones. En contraste, las empresas que operan en Los Uros registran los valores más bajos de emisiones, pero concentran la mayor presión hídrica del sistema, alcanzando un total anual de 25 344 m³, lo que evidencia que las actividades de lavado intensivo representan el principal aporte a la huella hídrica del sector turístico lacustre.

El impacto ambiental del transporte turístico no depende únicamente del tipo de combustible o de la frecuencia de viaje, sino también de las prácticas internas de mantenimiento y del nivel de actividad turística en cada zona. La investigación aporta evidencia novedosa al analizar simultáneamente emisiones atmosféricas y huella hídrica en un entorno lacustre, estableciendo que los impactos sobre aire y agua no siguen patrones paralelos y requieren estrategias diferenciadas de gestión ambiental. Asimismo, se confirma la necesidad de fortalecer las políticas de sostenibilidad, el monitoreo continuo con equipos especializados y la adopción de buenas prácticas orientadas a reducir tanto las emisiones como el consumo hídrico.

Finalmente, el estudio constituye una base metodológica sólida para investigaciones futuras que busquen evaluar la eficiencia ambiental del transporte turístico en contextos similares, integrar nuevas variables como las emisiones de CO₂ o la huella hídrica gris detallada, y desarrollar modelos predictivos que permitan optimizar la operación de flotas lacustres bajo criterios de sostenibilidad.

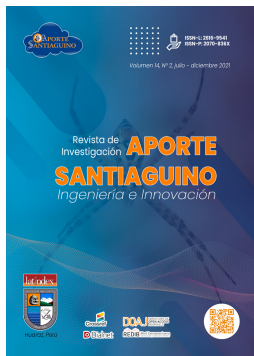
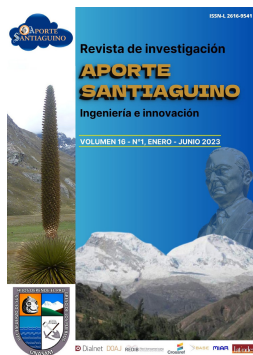
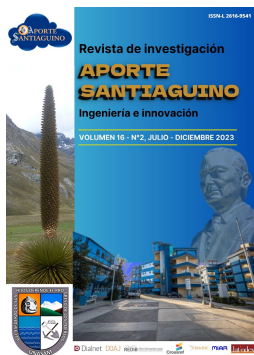
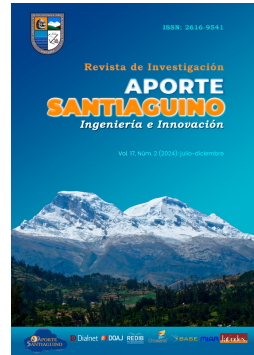
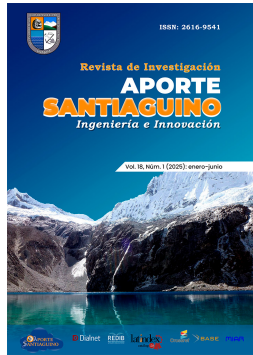
Agradecimientos

Agradecemos primeramente a Dios, por brindarnos la fortaleza, la sabiduría y la oportunidad de culminar satisfactoriamente esta investigación. Del mismo modo, expresamos nuestro profundo agradecimiento a nuestros padres, cuyo apoyo incondicional, guía y motivación han sido fundamentales durante todo el proceso de elaboración de este trabajo. Su confianza y ejemplo han sido el motor que nos ha permitido avanzar con responsabilidad y dedicación.

Referencias

- Angles Canlla. (2024). *Contaminación del aire por emisiones de CO₂ de los vehículos de servicio de transporte público en la ciudad de Puno*. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i4.13061
- Araña, J. E., & Leon, C. (2017). Comportamiento del consumidor y turismo sostenible. *Cuadernos Económicos de ICE*, 93. <https://doi.org/10.32796/cice.2017.93.6147>
- Bacalja Bruna. (2021). The Measurement Of Exhaust Gas Emissions By Testo 350 Maritime – Exhaust Gas Analyzer. *Pedagogika-Pedagogy*, 93(6s), 186-195. <https://doi.org/10.53656/ped21-6s.16mea>
- Calderon Sardon, E. D. (2024). Evaluación sistémica de infraestructura verde y turismo para desarrollo sostenible físico-espacial y económico, del Centro Poblado Menor Uros- Chulluni Puno. *Revista de Investigaciones*, 13(4), 184-200. <https://doi.org/10.26788/ri.v13i4.6500>
- Castillo Valencia. (2014). *Huella hídrica del campus de la Pontificia Universidad Católica del Perú en el 2014*. <https://repositorio.pucp.edu.pe/items/d11c47abc5ed-43e9-967e-5dd0b2e3f541>
- Castro, A., & Marrugo-Salas, L. (2018). Turismo sostenible: Caso de gestión de la responsabilidad ambiental en un establecimiento hotelero en Cartagena. *Saber, Ciencia y Libertad*, 13(2), 163-175. <https://doi.org/10.18041/2382-3240/saber.2018v13n2.4631>
- Ccama Uchiri & Acero Cáceres. (2019). *El despegue del turismo en Puno y su contribución al desarrollo regional*. <https://doi.org/10.26867/se.2019.v08i2.95>
- Choque Cruz, A. (2021). *Determinación de los principales parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua de la Playa Turística San Juan de la ciudad Juli-2020*. https://scholar.google.com/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Ali-cia_Gilda_CHOQUE_CRUZ&btnG=
- Goodchild Anne. (2017). *Un modelo analítico para los kilómetros recorridos por vehículos y las emisiones de carbono en escenarios de entrega de mercancías*. https://etrr.springeropen.com/articles/10.1007/s12544-017-0280-6?utm_source=chatgpt.com

- Laurente, L. F., & Machaca, R. W. (2020). Modelamiento y proyección de la demanda de turismo internacional en Puno-Perú. *Revista Brasileira de Pesquisa em Turismo*, 14(1), 34-55. <https://doi.org/10.7784/rbtur.v14i1.1606>
- Manzanares Flores & Ruben Harold. (2011). *Determinación de la concentración de partículas atmosféricas sedimentables en función a las características socio ambientales de la ciudad de Puno*. <http://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC/737>
- Nilsson, F., & Thorsell, R. W. (2025). *Transport CO₂ Emissions: Mapping Resources and Opportunities for Reduction. A Case Study of a Manufacturing Company in Sweden*. <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1969432>
- Palomino Monge. (2022). *Metodología para la evaluación del impacto de la ejecución de proyectos viales, respecto de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) del transporte por carretera en el Perú*. <http://hdl.handle.net/20.500.12918/7218>
- Paredes, I. E. V. (2012). *Ministerio del Ambiente servicio nacional de Meteorología e Hidrología del Perú dirección Regional de Puno*. <https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/siar-puno/archivos/public/docs/496.pdf>
- Peñaloza Samaniego. (2016). *Influencia del ozono y dióxido de nitrógeno en la contaminación atmosférica en la ciudad de Huancayo*. https://repositorio.uap.edu.pe/jspui/bitstream/20.500.12990/5428/1/Tesis_Influencia_Ozono_Di%C3%B3xido_Nitr%C3%B3geno.pdf?utm_source=chatgpt.com
- Rivas, L. F., & Zaragoza, J. R. (2015). *El papel de los óxidos de nitrógeno en el Cambio Climático. Efectos sobre la salud*.
- Rivera, Y. N., & Zorrilla, N. R. (2020). *Análisis a la huella hídrica en las empresas del sector transporte del Municipio de Tuluá bajo el desarrollo sostenible*.
- Salinas, W. F. B. (2024). *Evaluación de los factores de emisión en vehículo sedan de inyección directa para gasolina de 87 octanos y 95 octanos en la ciudad de Quito-Ecuador*. <https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/5203>
- Smichowski, H., & Contreras, F. I. (2022). Análisis morfológico de la cuenca río Santa Lucía (Corrientes, Argentina). *Revista Geográfica de América Central*, 1(70), 297- 320. <https://doi.org/10.15359/rgac.70-1.11>
- Vélez Marcavillaca & Joan Guiller. (2021). *Efectividad del método modem para la medición de emisiones contaminantes generados en un ambiente de tráfico vehicular – Puno*. <https://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC%20S.A.C./233>
- Yupanqui Copari. (2025). *Factores que inciden en los delitos ambientales de la zona ecoturística de San José-Huaje, Puno 2024*. <https://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC/1532>
- Zapana (2021). Huella del carbono y consumo del combustible de las unidades de transporte de la universidad nacional del altiplano puno. *Revista de Investigaciones*, 10(3), 228- 244. <https://doi.org/10.26788/riepg.v10i3.2651>



Revisión sistemática del modelo SWAT como herramienta para evaluar el balance hídrico ante el cambio climático en Perú (2019-2024)

Resumen



Fidel Aparicio Roque¹ 

daparicior@unasam.edu.pe

Carlos Calvo Toledo¹ 

ccalvot@unasam.edu.pe

Eugenio Mejía Zúñiga¹ 

emejaz@unasam.edu.pe

El cambio climático ha cobrado creciente relevancia en la investigación científica a nivel mundial, especialmente en lo que respecta a su impacto sobre la disponibilidad y gestión de los recursos hídricos. En este contexto, diversos modelos hidrológicos han sido empleados para estimar el balance hídrico con mayor precisión. Entre ellos, el modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool) ha destacado por su capacidad de simular procesos hidrológicos en diferentes escenarios climáticos. El objetivo del presente estudio fue realizar una revisión sistemática del uso del modelo SWAT como herramienta para evaluar el balance hídrico en el contexto del cambio climático en el Perú, en el periodo comprendido entre 2019 y 2024. La metodología se basó en las directrices de la declaración PRISMA, lo que permitió una búsqueda rigurosa y estructurada de literatura científica en las bases de datos Scopus, ScienceDirect y SciELO. Se identificaron y analizaron un total de 41 artículos: 39 provenientes de Scopus, 2 de ScienceDirect y ninguno de SciELO. Los resultados evidencian que el modelo SWAT ha sido ampliamente utilizado en diferentes tipos de cuencas hidrográficas del país, mostrando una alta adaptabilidad a diversas condiciones geográficas y disponibilidad de datos. Se concluye que el modelo SWAT constituye una herramienta robusta y confiable para la estimación del balance hídrico ante escenarios de cambio climático, además de ser útil para apoyar una gestión sostenible de los recursos hídricos en el Perú. modelo SWAT ha sido ampliamente utilizado en diferentes tipos de cuencas hidrográficas del país, mostrando una alta adaptabilidad a diversas condiciones geográficas y disponibilidad de datos. Se concluye que el modelo SWAT constituye una herramienta robusta y confiable para la estimación del balance hídrico ante escenarios de cambio climático, además de ser útil para apoyar una gestión sostenible de los recursos hídricos en el Perú.

Palabras clave: Cambio climático; Balance hídrico; Modelo SWAT; Revisión sistemática.

“**Cómo citar este artículo:** Revisión sistemática del modelo SWAT como herramienta para evaluar el balance hídrico ante el cambio climático en Perú (2019-2024). (2025). *Aporte Santiaguino*, 18(2), pp. <https://doi.org/10.32911/as.2025.v18.n2.1325>.”



¹Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo - Huaraz - Perú.

Recibido: 2025-08-02 | Aceptado: 2025-20-12



Systematic Review of the SWAT Model as a Tool to Assess Water Balance under Climate Change in Peru (2019–2024)

Climate change has gained increasing importance in scientific research worldwide, particularly regarding its impact on water resource availability and management. In this context, various hydrological models have been employed to estimate the water balance with greater accuracy. Among them, the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) has stood out for its ability to simulate hydrological processes under different climate scenarios. The objective of this study was to conduct a systematic review of the use of the SWAT model as a tool to assess water balance in the context of climate change in Peru, during the period from 2019 to 2024. The methodology followed the PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) guidelines, allowing for a rigorous and structured search of scientific literature in the Scopus, ScienceDirect, and SciELO databases. A total of 41 articles were identified and analyzed: 39 from Scopus, 2 from ScienceDirect, and none from SciELO. The results show that the SWAT model has been widely used in different types of watersheds across the country, demonstrating high adaptability to diverse geographic conditions and data availability. It is concluded that the SWAT model is a robust and reliable tool for estimating water balance under climate change scenarios, and it can support the sustainable management of water resources in Peru.

Keywords: Climate change; Hydric balance; SWAT model; Systematic review.

Introducción

En los últimos años, se les atribuye una responsabilidad grande a las labores rutinarias de las personas por las emisiones de gases de efecto invernadero en el mundo que son parte del cambio climático (Sahana & Timbadiya, 2020a). A la vez, el incremento de los grados de temperatura, como consecuencia de estos cambios, genera una variación en el ciclo hidrológico, modificando el ciclo de las lluvias, la humedad del suelo y la escorrentía superficial (Adhikari & Nejadhashemi, 2016). La tierra y agua son elementos imprescindibles y esenciales para la sobrevivencia humana, desarrollo del ecosistema y progreso monetario de los países (Uniyal et al., 2015).

La proyección del cambio climático para el presente siglo no es alentadora para el equilibrio hidrológico en muchas cuencas fluviales. (Zhao et al., 2023) En la especialidad de hidrología, las nociones de resistencia y resiliencia, que se trabajan en el terreno de ecología, son dos parámetros que se usa para medir la respuesta de las cuencas al cambio climático (Venegas-Cordero et al., 2023). La concepción de resiliencia hidrológica se manifiesta como la capacidad de una cuenca para mantener la estabilidad en diversos estados de equilibrio hidrológico (Liu et al., 2020).

Los recursos hídricos vienen siendo afectados significativamente ante el cambio climático. Es necesario planificar cómo adaptarse a estos cambios y cómo mitigarlos en los recursos hídricos (Taye et al., 2018). Para que los países puedan mitigar y adaptarse a los impactos del cambio climático futuro y aumentar la resiliencia, los formuladores de políticas y los profesionales deben tener acceso a información sólida sobre cómo el cambio climático futuro afectará a sectores críticos en sus países (Zhang et al., 2022). Sin embargo, el Quinto Informe de Evaluación del Grupo de Trabajo II del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) indicó una

importante brecha de conocimiento sobre los impactos del futuro cambio climático en sectores críticos en diferentes regiones (Tangang et al., 2020).

Los modelos climáticos globales (MCG) son una herramienta útil para evaluar el cambio climático futuro bajo diferentes escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero (Badora et al., 2022). En los últimos años, las proyecciones climáticas futuras se han derivado principalmente de la quinta fase de Proyectos de Intercomparación de Modelos Acoplados (CMIP5) ya que CMIP5 consta de GCM con mayor resolución espacial, generando así resultados más confiables que abordan una variedad más amplia de cuestiones científicas de interés (Jiménez-Navarro et al., 2021). Las Rutas de Concentración Representativas (RCP) proporcionan un escenario de emisiones aproximado para el año 2100. RCP 8.5 representa un escenario futuro de emisiones de gases de efecto invernadero en gran medida incontrolado, y RCP 4.5 representa escenarios intermedios de emisiones de gases de efecto invernadero. El enfoque general utilizado para evaluar los impactos del cambio climático en los regímenes hidrológicos es forzar modelos predictivos de cuencas basados en procesos con GCM bajo diferentes RCP (Abesh et al., 2022).

Los procesos hidrológicos de una cuenca pueden representarse matemáticamente, y esta representación matemática se denomina comúnmente modelo hidrológico. Muchos de estos modelos han evolucionado a lo largo del tiempo desde simples modelos agrupados a modelos semidistribuidos y totalmente distribuidos basados en la física (Sahana & Timbadiya, 2020a).

El uso de resultados del modelo de circulación general (GCM) reducido a escala para impulsar modelos hidrológicos es muy útil para evaluar el impacto del cambio climático en los recursos hídricos. La incorporación de varios

GCM y escenarios de cambio climático permite a los investigadores evaluar múltiples escenarios futuros, que representan incertidumbres a gran escala asociadas con proyecciones futuras (Adhikari & Nejadhashemi, 2016).

Entre los modelos hidrológicos destaca la Soil and Water Assessment Tool (SWAT), ampliamente aceptada como herramienta para evaluar futuras decisiones de gestión relacionadas con el hidroclima (Jodar-Abellan et al., 2018). Es uno de los modelos a escala de cuencas hidrográficas y fluviales más utilizados (Getachew Mengistu et al., 2023). SWAT es particularmente adecuado para estudios de impacto del cambio climático debido a la incorporación de procesos que describen el efecto de los factores ambientales y climáticos sobre el crecimiento de las plantas, la evapotranspiración, la generación de escorrentía y el balance hídrico (Adhikari & Nejadhashemi, 2016). ¿El modelo SWAT es usado en las investigaciones peruanas? ¿Cómo se ha evaluado el balance hídrico frente al cambio climático en Perú? ¿Cuáles son las herramientas usadas para el balance hídrico en Perú?

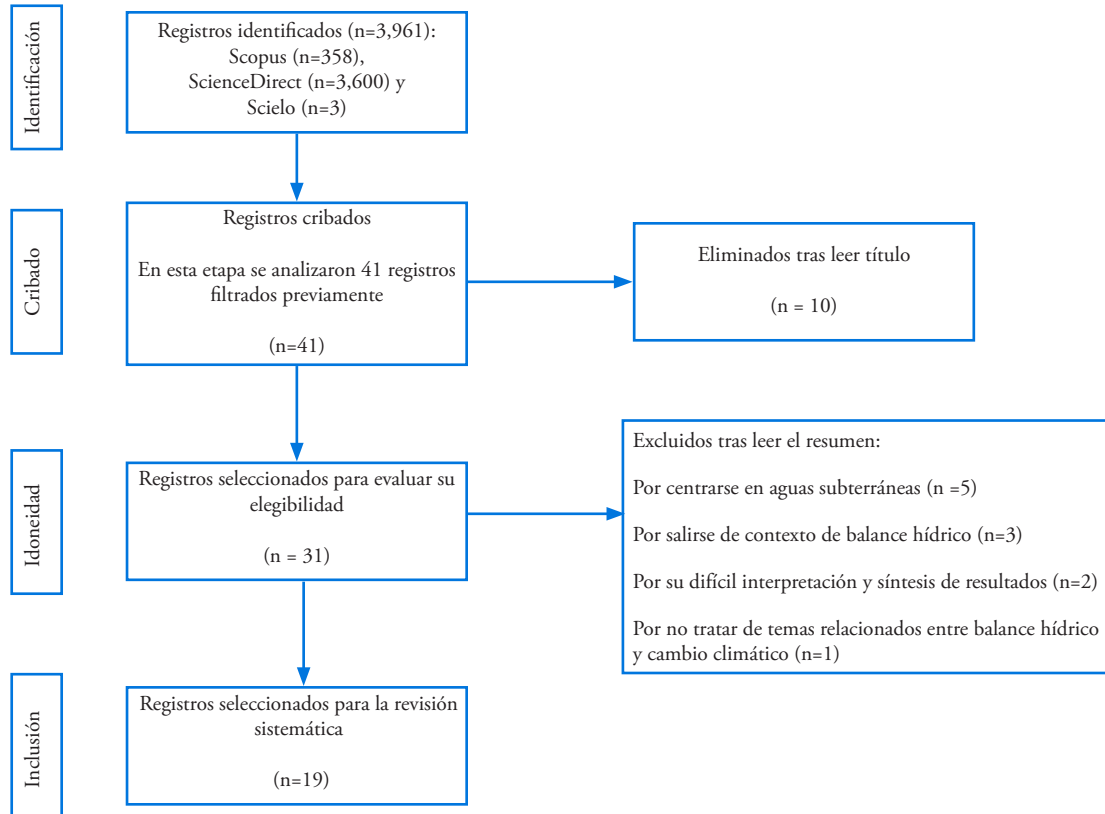
Es por ello que se tiene como objetivo realizar una revisión a partir del año 2019 hasta el 2024 del empleo del modelo SWAT como herramienta para determinar el balance hídrico frente al cambio climático en Perú, mediante la búsqueda y revisión sistemática de artículos publicados en bases de datos internacionales (Scopus, ScienceDirect y Scielo).

Materiales y métodos

El presente estudio de revisión sistemática se realizó mediante la búsqueda y análisis de artículos científicos publicados en plataformas de información científica internacionales, específicamente en Scopus, ScienceDirect y SciELO, durante el mes de marzo de 2024. Para asegurar el rigor y la transparencia metodológica, se siguieron las directrices establecidas por la declaración PRISMA 2020 (Figura 1).

Figura 1

Diagrama de flujo de la declaración PRISMA 2020 en cuatro niveles

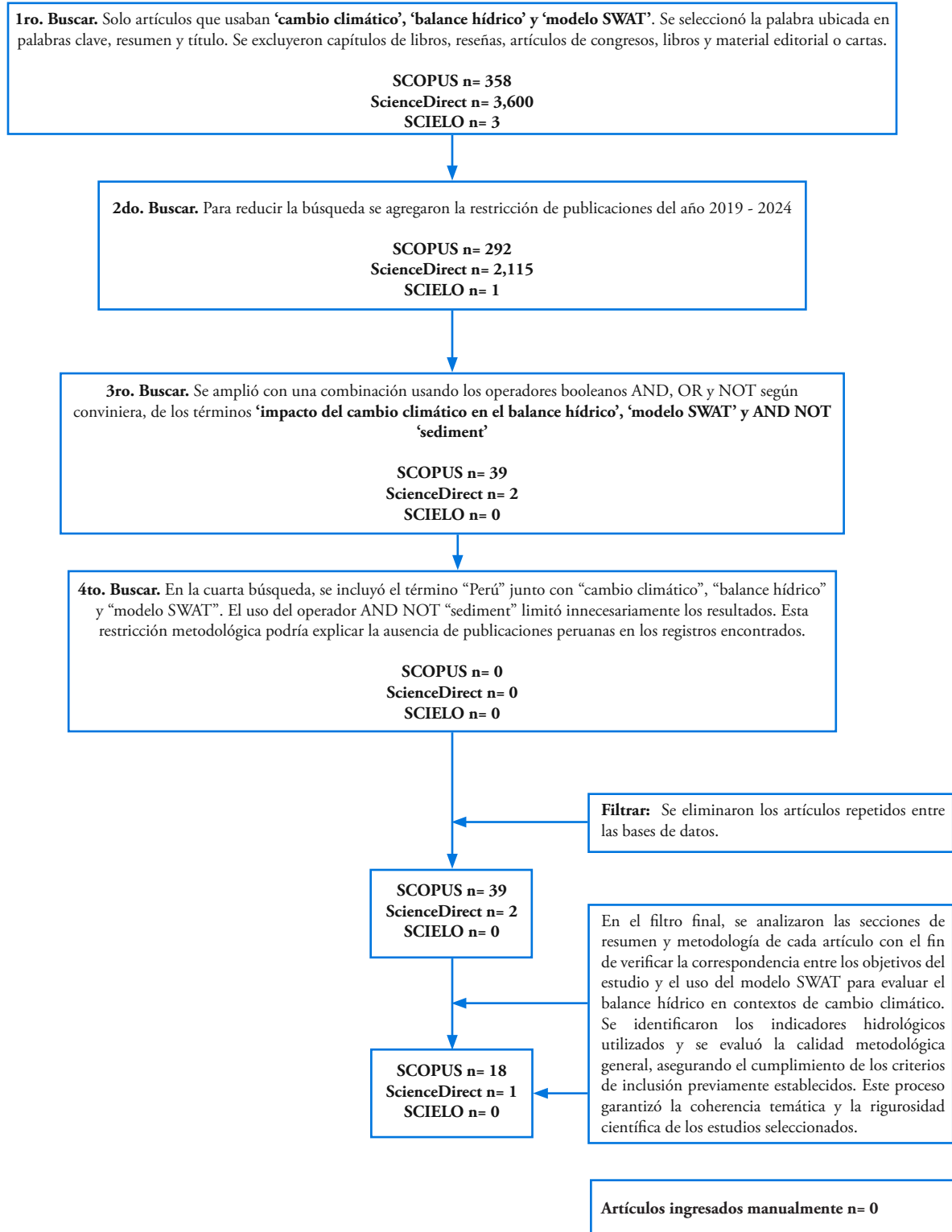


Teniendo en cuenta que las búsquedas se limitaron solo a artículos científicos, teniendo como criterios de inclusión a que se traten de investigaciones originales, que sean investigaciones publicadas a partir del año 2019 al año 2024, que hablen del cambio climático, que traten del balance hídrico empleando la herramienta SWAT

y que tenga una relación entre el cambio climático y escenarios empleando SWAT. Como criterios de exclusión fueron considerados los que no estén dentro del área temática de las ciencias agrícolas, medioambientales e ingeniería. Los artículos publicados antes del 2019 y los artículos que incluyan ‘transporte de sedimento’.

Figura 2

Diagrama del proceso de búsqueda y selección de artículos



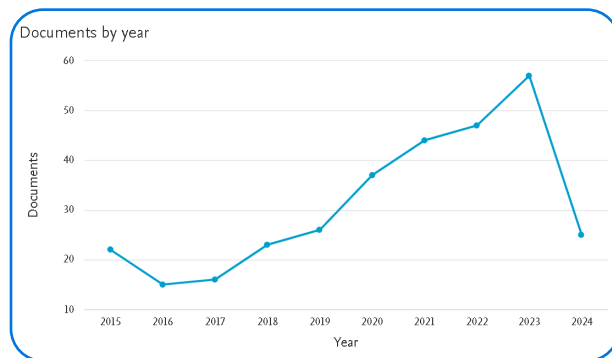
Para este trabajo se usaron las bases de datos de Scopus, ScienceDirect y Scielo. Se tomaron en consideración solo los artículos publicados hasta el mes de marzo, los artículos seleccionados fueron compilados en una base de datos. Posteriormente, cada uno de ellos fue leído atentamente prestando especial atención a responder las preguntas específicas previamente definidas.

Resultados y discusión

En la identificación, se encontró que en Scopus existía un total de 358; en ScienceDirect, 3600 y en Scielo, 3 documentos que contenían en el título del artículo, el resumen y en los Keywords los términos seleccionados sin ninguna restricción.

Figura 3

Documentos por año de publicación

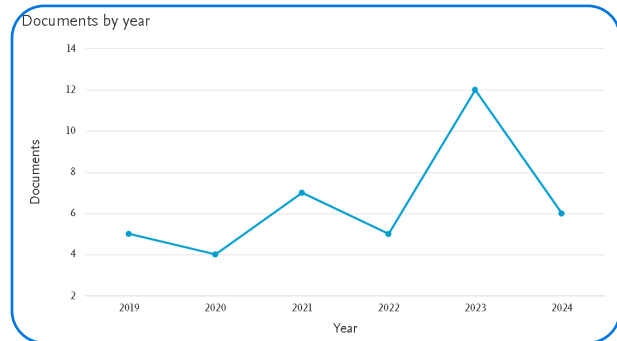


Nota. La figura muestra la cantidad de documentos sin restricciones al 2024.

Como primera restricción se consideró el año de publicación de 2019-2024. En Scopus se encontró un total de 292; en ScienceDirect, 2115 y en Scielo, 1 documento.

Figura 4

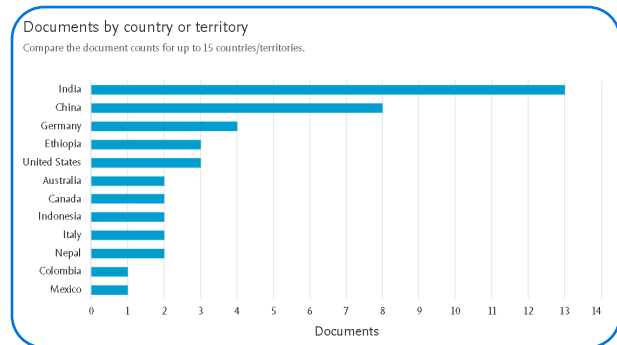
Documentos por año de publicación de 2019-2024



Posteriormente, el proceso de búsqueda fue ampliado mediante el uso de operadores booleanos (AND, OR, NOT) para optimizar la combinación de los términos clave: “cambio climático”, “balance hídrico” y “modelo SWAT”. Esta estrategia permitió refinar los resultados obteniendo un total de 39 artículos en la base de datos Scopus, 2 en ScienceDirect y ninguno en SciELO.

Figura 5

Países versus la cantidad de publicaciones



Conclusiones

Los resultados de la presente revisión sistemática evidencian que, si bien no se identificaron publicaciones científicas indexadas en bases de datos internacionales que aborden específicamente el uso del modelo SWAT para evaluar el balance hídrico frente al cambio climático en el contexto peruano, ello no implica la inexistencia de investigaciones nacionales en la materia. Por el contrario, esta ausencia revela una limitación significativa en la visibilidad, internacionalización y difusión de la producción científica desarrollada en el país.

El análisis de los artículos seleccionados muestra que países como India, China, Alemania, Etiopía y Estados Unidos lideran la investigación aplicada del modelo SWAT en escenarios de cambio climático. Estos contextos representan referentes metodológicos y estratégicos que pueden ser considerados como modelos para fortalecer la investigación y publicación científica en América Latina, en particular en el Perú.

Asimismo, se identifica una tendencia creciente en el uso del modelo SWAT como herramienta analítica robusta para la evaluación del balance hídrico en distintos escenarios climáticos. Su aplicabilidad, flexibilidad y capacidad para integrar múltiples fuentes de datos lo posicionan como un instrumento fundamental para el análisis hidrológico de cuencas en regiones vulnerables. Este hallazgo resulta especialmente relevante para países en vías de desarrollo que enfrentan desafíos hídricos críticos ante escenarios futuros de cambio climático.

La consistencia de los resultados reportados en las investigaciones analizadas respalda la fiabilidad del modelo SWAT, evidenciando su potencial para generar información técnica de calidad que contribuya tanto a la toma de decisiones en la gestión del recurso hídrico como

a la formulación de políticas de adaptación al cambio climático.

Finalmente, el reducido número de artículos que cumplen con los criterios de esta revisión pone en evidencia la necesidad urgente de fomentar la publicación científica de investigaciones aplicadas desarrolladas en Perú. Se recomienda impulsar políticas institucionales orientadas a fortalecer la divulgación de la producción académica nacional en repositorios de acceso abierto y revistas científicas indexadas, con el fin de integrar el conocimiento local al debate global sobre el cambio climático y la seguridad hídrica.

Referencias

- Abesh, B. F., Jin, L., & Hubbard, J. A. (2022). Predicting Climate Change Impacts on Water Balance Components of a Mountainous Watershed in the Northeastern USA. *Water* 2022, Vol. 14, Page 3349, 14(20), 3349. <https://doi.org/10.3390/W14203349>
- Adhikari, U., & Nejadhashemi, A. P. (2016). Impacts of Climate Change on Water Resources in Malawi. *Journal of Hydrologic Engineering*, 21(11), 05016026. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0001436](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001436)
- Adnan, M., Kang, S., Saifullah, M., Liu, S., Zhang, G., Zhao, Q., Faiz, M. A., & Zaman, M. (2021). Prediction of changes in water balance of Nam Co Lake under projected climate change scenarios. *Hydrological Sciences Journal*, 66(11), 1712–1727. <https://doi.org/10.1080/02626667.2021.1957474>

- Badora, D., Wawer, R., Nierobca, A., Krol-Badziak, A., Kozyra, J., Jurga, B., & Nowocien, E. (2022). Modelling the Hydrology of an Upland Catchment of Bystra River in 2050 Climate Using RCP 4.5 and RCP 8.5 Emission Scenario Forecasts. *Agriculture 2022, Vol. 12, Page 403, 12(3)*, 403. <https://doi.org/10.3390/AGRICULTURE12030403>
- Bharati, L., Bhattarai, U., Khadka, A., Gurung, P., Neumann, L. E., Penton, D. J., Dhaubajar, S., & Nepal, S. (n.d.). *From the Mountains to the Plains: Impact of Climate Change on Water Resources in the Koshi River Basin IWMI Working Paper*. Retrieved March 30, 2024, from www.iwmi.org
- Bizhanimanzar, M., Larocque, M., & Roux, M. (2024). Improvement of Soil Water Assessment Tool (SWAT) wetland module for modelling of ephemeral pond hydrology. *Hydrological Processes, 38(3)*. <https://doi.org/10.1002/HYP.15114>
- Gabiri, G., Leemhuis, C., Dieckkrüger, B., Näschen, K., Steinbach, S., & Thonfeld, F. (2019). Modelling the impact of land use management on water resources in a tropical inland valley catchment of central Uganda, East Africa. *Science of the Total Environment, 653*, 1052–1066. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.430>
- Gasirabo, A., Xi, C., Kurban, A., Liu, T., Baligira, H. R., Umuhoza, J., Umugwaneza, A., & Dufatanye Edovia, U. (2023). SWAT model calibration for hydrological modeling using concurrent methods, a case of the Nile Nyabarongo River basin in Rwanda. *Frontiers in Water, 5*, 1268593. <https://doi.org/10.3389/FRWA.2023.1268593/BIBTEX>
- Getachew Mengistu, A., Ayele Woldesenbet, T., Taddele Dile, Y., Kebede Bayabil, H., & Worku Tefera, G. (2023). *Modeling impacts of projected land use and climate changes on the water balance in the Baro basin, Ethiopia*. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13965>
- Jaiswal, R. K., Ali, S., & Bharti, B. (2020). Comparative evaluation of conceptual and physical rainfall–runoff models. *Applied Water Science, 10(1)*, 1–14. <https://doi.org/10.1007/S13201-019-1122-6/TABLES/7>
- Jiménez-Navarro, I. C., Jimeno-Sáez, P., López-Ballesteros, A., Pérez-Sánchez, J., & Senent-Aparicio, J. (2021). Impact of Climate Change on the Hydrology of the Forested Watershed That Drains to Lake Erken in Sweden: An Analysis Using SWAT+ and CMIP6 Scenarios. *Forests 2021, Vol. 12, Page 1803, 12(12)*, 1803. <https://doi.org/10.3390/F12121803>
- Jodar-Abellan, A., Ruiz, M., & Melgarejo, J. (2018). Evaluación del impacto del cambio climático sobre una cuenca hidrológica en régimen natural (SE, España) usando un modelo SWAT. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 35(3)*, 240–253. <https://doi.org/10.22201/CGEO.20072902E.2018.3.564>
- Kishawi, Y., Mittelstet, A. R., Adane, Z., Shrestha, N., & Nasta, P. (2022). The combined impact of redcedar encroachment and climate change on water resources in the Nebraska Sand Hills. *Frontiers in Water, 4*, 1044570. <https://doi.org/10.3389/FRWA.2022.1044570/BIBTEX>

- Kumar, M., Denis, D. M., Kundu, A., Joshi, N., & Suryavanshi, S. (2022). Understanding land use/land cover and climate change impacts on hydrological components of Usri watershed, India. *Applied Water Science*, 12(3), 1–14. <https://doi.org/10.1007/S13201-021-01547-6/FIGURES/8>
- Larbi, I., Hountondji, F. C. C., Dotse, S. Q., Mama, D., Nyamekye, C., Adeyeri, O. E., Koubodana, H. D. na, Odoom, P. R. E., & Asare, Y. M. (2021). Local climate change projections and impact on the surface hydrology in the Vea catchment, West Africa. *Hydrology Research*, 52(6), 1200–1215. <https://doi.org/10.2166/NH.2021.096>
- Liu, J., Xue, B., Yinglan, A., Sun, W., & Guo, Q. (2020). Water balance changes in response to climate change in the upper Hailar River Basin, China. *Hydrology Research*, 51(5), 1023–1035. <https://doi.org/10.2166/NH.2020.032>
- López-Lambrano, A. A., Martínez-Acosta, L., Gámez-Balmaceda, E., Medrano-Barboza, J. P., López, J. F. R., & López-Ramos, A. (2020). Supply and Demand Analysis of Water Resources. Case Study: Irrigation Water Demand in a Semi-Arid Zone in Mexico. *Agriculture 2020*, Vol. 10, Page 333, 10(8), 333. <https://doi.org/10.3390/AGRICULTURE10080333>
- Marhaento, H., Booij, M. J., Rahardjo, N., & Ahmed, N. (2021). Impacts of forestation on the annual and seasonal water balance of a tropical catchment under climate change. *Forest Ecosystems*, 8(1), 1–16. <https://doi.org/10.1186/S40663-021-00345-5/FIGURES/7>
- McGinn, A. J., Wagner, P. D., Htike, H., Kyu, K. K., & Fohrer, N. (2021). Twenty years of change: Land and water resources in the Chindwin catchment, Myanmar between 1999 and 2019. *Science of The Total Environment*, 798, 148766. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2021.148766>
- Musie, M., Sen, S., & Srivastava, P. (2020). *Application of CORDEX-AFRICA and NEX-GDDP datasets for hydrologic projections under climate change in Lake Ziway sub-basin, Ethiopia*. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2020.100721>
- Ntona, M. M., Busico, G., Mastrocicco, M., & Kazakis, N. (2023). Coupling SWAT and DPSIR models for groundwater management in Mediterranean catchments. *Journal of Environmental Management*, 344, 118543. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2023.118543>
- Pathak, S., Ojha, C. S. P., Shukla, A. K., & Garg, R. D. (2019). Assessment of Annual Water-Balance Models for Diverse Indian Watersheds. *Journal of Sustainable Water in the Built Environment*, 5(3), 04019002. <https://doi.org/10.1061/JSWBAY.0000881>
- Pirnia, A., Darabi, H., Choubin, B., Omidvar, E., Onyutha, C., & Haghghi, A. T. (2019). Contribution of climatic variability and human activities to stream flow changes in the Haraz River basin, northern Iran. *Journal of Hydro-Environment Research*, 25, 12–24. <https://doi.org/10.1016/J.JHER.2019.05.001>

- Prajapati, R. N., Ibrahim, N., Goyal, M. K., Thapa, B. R., & Maharjan, K. R. (2024). Ground water availability assessment for a data-scarce river basin in Nepal using SWAT hydrological model. *Water Supply*, 24(1), 254–271. <https://doi.org/10.2166/WS.2023.332>
- Ridwansyah, I., Yulianti, M., Apip, Onodera, S. ichi, Shimizu, Y., Wibowo, H., & Fakhrudin, M. (2020). The impact of land use and climate change on surface runoff and groundwater in Cimanuk watershed, Indonesia. *Limnology*, 21(3), 487–498. <https://doi.org/10.1007/S10201-020-00629-9/METRICS>
- Sahana, V., & Timbadiya, P. V. (2020a). Spatiotemporal Variation of Water Availability under Changing Climate: Case Study of the Upper Girna Basin, India. *Journal of Hydrologic Engineering*, 25(5), 05020004. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0001890](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001890)
- Sahana, V., & Timbadiya, P. V. (2020b). Spatiotemporal Variation of Water Availability under Changing Climate: Case Study of the Upper Girna Basin, India. *Journal of Hydrologic Engineering*, 25(5), 05020004. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0001890](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001890)
- Shukla, S., Jain, S. K., & Kansal, M. L. (2021). Hydrological modelling of a snow/glacier-fed western Himalayan basin to simulate the current and future streamflows under changing climate scenarios. *Science of The Total Environment*, 795, 148871. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2021.148871>
- Sorando, R., Comín, F. A., Jiménez, J. J., Sánchez-Pérez, J. M., & Sauvage, S. (2018). *Water resources and nitrate discharges in relation to agricultural land uses in an intensively irrigated watershed*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.023>
- Tangang, F., Chung, J. X., Juneng, L., Supari, Salimun, E., Ngai, S. T., Jamaluddin, A. F., Mohd, M. S. F., Cruz, F., Narisma, G., Santisirisomboon, J., Ngo-Duc, T., Van Tan, P., Singhruck, P., Gunawan, D., Aldrian, E., Sopaheluwakan, A., Grigory, N., Remedio, A. R. C., ... Kumar, P. (2020). Projected future changes in rainfall in Southeast Asia based on CORDEX-SEA multi-model simulations. *Climate Dynamics* 2020 55:5, 55(5), 1247–1267. <https://doi.org/10.1007/S00382-020-05322-2>
- Taye, M. T., Dyer, E., Hirpa, F. A., & Charles, K. (2018). Climate Change Impact on Water Resources in the Awash Basin, Ethiopia. *Water* 2018, Vol. 10, Page 1560, 10(11), 1560. <https://doi.org/10.3390/W10111560>
- Uniyal, B., Jha, M. K., & Verma, A. K. (2015). Assessing Climate Change Impact on Water Balance Components of a River Basin Using SWAT Model. *Water Resources Management*, 29(13), 4767–4785. <https://doi.org/10.1007/S11269-015-1089-5/METRICS>
- Uwamahoro, S., Liu, T., Nzabarinda, V., Li, Z. yang, Umugwaneza, A., Maniraho, A. P., Kayumba, P. M., Gulakhmadov, A., Anming, B., & Abdullaev, F. (2024). Climatic and anthropogenic impacts on the water balance of Issyk-Kul Lake through its main catchments. *Frontiers in Water*, 6, 1363039. <https://doi.org/10.3389/FRWA.2024.1363039/BIBTEX>

- Venegas-Cordero, N., Cherrat, C., Kundzewicz, Z. W., Singh, J., & Piniewski, M. (2023). Model-based assessment of flood generation mechanisms over Poland: The roles of precipitation, snowmelt, and soil moisture excess. *Science of The Total Environment*, 891, 164626. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2023.164626>
- Zhang, H., Wang, B., Liu, D. L., Leslie, L. M., Shi, L., Zhang, M., & Yu, Q. (2022). Individual and Coupled Effects of Future Climate and Land Use Scenarios on Water Balance Components in an Australian Catchment. *Atmosphere*, 13(9), 1428. <https://doi.org/10.3390/ATMOS13091428/S1>
- Zhao, G., Tian, S., Jing, Y., Cao, Y., Liang, S., Han, B., Cheng, X., & Liu, B. (2023). Establishing a quantitative assessment methodology framework of water conservation based on the water balance method under spatiotemporal and different discontinuous ecosystem scales. *Journal of Environmental Management*, 346, 119006. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2023.119006>

Revista de Investigación
APORTE SANTIAGUINO
Ingeniería e Innovación
Vol. 18, N° 2, julio - diciembre 2025



AUTORIDADES DE INVESTIGACIÓN

VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN

Dra. Consuelo Teresa Valencia Vera

DIRECTOR DEL INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN

Dr. Yovera Saldarriaga José

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN

Mag. Hugo Walter Maldonado Leyva

DIRECTOR DE DERECHOS DE AUTOR Y PATENTES

Lic. Ilder Edar Cruz Mostacero

DIRECTORA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Dra. Carmen Tamariz Ángeles



"Una Nueva Universidad para el Desarrollo"



UNASAM
LICENCIADA
"Una Nueva Universidad para el Desarrollo"

¡La primera en la región Áncash!



Vicerrectorado de Investigación