

REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINARIA

PAKAMUROS

Enero – Marzo 2026

Volumen 14 – N° 1



UNIVERSIDAD
NACIONAL DE JAÉN

Una publicación de la Universidad Nacional de Jaén

Diciembre 2026 | Vol. 14. Número 1 | E-ISSN: 2522-3240 | ISSN: 2306-9805

DOI: <https://doi.org/10.37787/zgz9rr67>

Comité Científico

Director

Ph. D. Honorato Ccalli Pacco

Editor

Dr. Guillermo Núñez Sánchez

Miembros

Dr. Julio Mauricio Vidaurre Ruiz, Universidad Nacional Agraria La Molina

Dr. Eli Morales Rojas, Universidad Nacional Intercultural Fabiola Salazar Leguía de Bagua

Dr. Jorge Díaz Dumont, Universidad Nacional de Tayacaja, Perú.

Dr. Ernesto Alonso Paiva Peredo, Universidad Tecnológica Del Perú S.A.C

Dr. García Cedrón David Carmelo, Universidad Privada César Vallejo - Trujillo

Dr. Eneida Vieyra Peña, Universidad Nacional de Tumbes, Perú.

Dr. Edwin Adolfo Díaz Ortiz, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas

Equipo de edición y diseño

Responsable del Proceso Editorial

Mg. Káren Faviola Pérez Rimarachín, Universidad Nacional de Jaén

Diseño de portada

Lic. Lina Lesli Ruiz Navarrete, Universidad Nacional de Jaén

Tópicos aceptados por la revista

Ingeniería

Salud

Descargo de responsabilidad: El Director, los Editores y la Universidad Nacional de Jaén no se hacen responsables de los errores, omisiones, inconsistencias involuntarias por parte de los autores o de las consecuencias derivadas del uso de la información contenida en esta revista; los puntos de vista y las opiniones expresadas no reflejan necesariamente los del El Director, los Editores y la Universidad Nacional de Jaén, y la publicación de anuncios no constituye ninguna aprobación por parte del Director, los Editores y la Universidad Nacional de Jaén de los productos anunciados. Los autores asumen la responsabilidad legal y moral de las ideas expresadas en los artículos. El editor no será legalmente responsable en caso de reclamaciones de indemnización.

Página web de la revista: Para las instrucciones de envío, suscripción y demás información, visite: <https://revistas.unj.edu.pe/index.php/pakamuros>

CONTENIDO

ARTÍCULOS ORIGINALES

Propuesta de un nuevo material a base de fibra de coco para la utilización en la industria de la construcción.....	4
Impacto del cambio climático en la disponibilidad hídrica para riego agrícola en Jaén, 2025.....	19
Influencia de la dependencia emocional sobre el consumo de sustancias psicoactivas en adultos del departamento de San Martín.....	35
Implementación de Lean Manufacturing para incrementar la productividad en una empresa del sector metalmeccánico en Lima Norte, 2025.....	50
Comparación de costos de viviendas construidas con ladrillo artesanal y bloques de concreto vibrado en Jaén, 2025.....	62
Perfil microbiológico y resistencia antibiótica en infecciones urinarias de gestantes: Un estudio transversal en un laboratorio clínico privado de Jaén, Perú.....	81
Calidad física, rendimiento y precio del café pergamino de <i>Coffea arabica</i> (Rubiaceae) según tipo de compra y distrito en Jaén.....	104
Portación nasal y susceptibilidad antimicrobiana de <i>Staphylococcus aureus</i> en adolescentes de instituciones educativas de San Juan de Cutervo, Perú.....	121






ARTÍCULOS DE REVISIÓN

Comportamiento sísmico de edificaciones mediante el análisis estático y dinámico: Una revisión literaria.....	133
Metodologías para interacción suelo - estructura en edificaciones: Una revisión sistemática.....	151
Análisis de las propiedades del adobe como material de construcción.....	172
Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de pavimentos rígidos con adición de fibras naturales: Una revisión sistemática.....	189

ARTÍCULO ORIGINAL

Propuesta de un nuevo material a base de fibra de coco para la utilización en la industria de la construcción

Proposal for a new coconut fibre-based material for use in the construction industry

Kristell Bonilla¹ , Carlos Chávez² , Stephanny Chávez³ , Génesis Martínez⁴  y Guillermo Arriola⁴ 

RESUMEN

La industria de la construcción busca reducir su impacto ambiental mediante el uso de materiales sostenibles que permitan aprovechar residuos agroindustriales. En este contexto, la fibra de coco surge como una alternativa ecoeficiente por su disponibilidad, bajo costo y propiedades físicas y mecánicas favorables. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar las propiedades físico-mecánicas y térmicas de paneles elaborados con fibra de coco tratados químicamente, a fin de determinar su viabilidad como material de construcción sostenible. Las fibras fueron sometidas a un proceso de secado y tratamiento con NaOH al 5.00% antes de su incorporación en la matriz. Se elaboraron especímenes para ensayos de densidad aparente, peso unitario, absorción de agua, humedad, resistencia mecánica y conductividad térmica. Los resultados mostraron una densidad aparente de 0.733 g/cm³, con un peso unitario de 0.025 g/cm³, confirmando la ligereza del material. La absorción de agua alcanzó el 20.00%, mientras que la humedad fue de 8.13%. En términos mecánicos, la fibra presentó una resistencia a la tensión de 574.00 kg/cm² y los paneles reforzados registraron valores de flexión entre 10.71 kg/cm² y 17.05 kg/cm², con un promedio de 14.46 kg/cm². Además, el biocompósito SO₄ mostró una conductividad térmica de 0.091 W/m·K, valor característico de materiales aislantes.

Palabras clave: Fibra de coco, biocompósitos, propiedades mecánicas, construcción sostenible.

ABSTRACT

The construction industry seeks to reduce its environmental impact through the use of sustainable materials that allow the use of agro-industrial waste. In this context, coconut fiber emerges as an eco-efficient alternative due to its availability, low cost, and favorable physical and mechanical properties. The objective of this study was to evaluate the physical-mechanical and thermal properties of panels made with chemically treated coconut fiber, in order to determine their viability as a sustainable construction material. The fibers were subjected to a drying process and treatment with 5.00% NaOH before being incorporated into the matrix. Specimens were developed for tests of bulk density, unit weight, water absorption, moisture, mechanical strength and thermal conductivity. The results showed a bulk density of 0.733 g/cm³, with a unit weight of 0.025 g/cm³, confirming the lightness of the material. Water absorption reached 20.00%, while humidity was 8.13%. In mechanical terms, the fiber presented a tensile strength of 574.00 kg/cm² and the reinforced panels registered bending values between 10.71 kg/cm² and 17.05 kg/cm², with an average of 14.46 kg/cm². In addition, the SO₄ biocomposite showed a thermal conductivity of 0.091 W/m·K, a characteristic value of insulating materials.

Keywords: Coconut fiber, biocomposites, mechanical properties, sustainable construction.

* Autor para correspondencia

¹ Universidad Señor de Sipán, Perú. Email: bbanceskristele@uss.edu.pe, chcotrinaca@uss.edu.pe, calvaress@uss.edu.pe, gmartinezgenesi@uss.edu.pe, gariola@uss.edu.pe

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la industria de la construcción enfrenta el reto de disminuir su impacto ambiental mediante la incorporación de materiales sostenibles que permiten reducir el uso de recursos no renovables y aprovechar residuos agroindustriales (Berardi & Iannace, 2015; Bianchi et al., 2023). Frente a esta problemática, se hace imprescindible el desarrollo de materiales ecoamigables que reduzcan la dependencia de recursos convencionales y al mismo tiempo se puedan aprovechar residuos agroindustriales que hoy en día generan un impacto negativo en el medio ambiente por su inadecuada acumulación (Colinart et al., 2021; Mehrzad et al., 2022; Mohammadi et al., 2024).

En regiones tropicales, la producción de coco genera grandes cantidades de residuos orgánicos que en su mayoría no son valorizados y generan un impacto agresivo y negativo a largo plazo (Castro et al., 2020). Esto representa una oportunidad para transformar insumos de origen natural en un valor agregado dentro de la industria de la construcción (Roque et al., 2020), por lo que la incorporación de fibras de coco en matrices cementicias o en biocompuestos, no sólo contribuye a una gestión más eficiente de los desechos, sino que también, promueve una economía circular que favorece tanto a los productores agrícolas como a los constructores (Zhang et al., 2023).

La relevancia científica de esta propuesta radica en demostrar la viabilidad técnica del uso de fibras de origen natural como refuerzo, analizando sus propiedades físicas, mecánicas y de durabilidad bajo diferentes condiciones ambientales (Abhijeet et al., 2021; Sorte et al., 2024). Además, se busca generar evidencia experimental que permite escalar este tipo de soluciones hacia aplicaciones prácticas, fomentando la innovación en el diseño de materiales de construcción ecoeficientes (Qi et al., 2023; Pacheco-Torgal, 2020).

La fibra de coco, obtenida del mesocarpio del fruto del cocotero (*Cocos nucifera*), constituye un subproducto agrícola abundante en las regiones tropicales (Ravilal et al., 2025). La fibra se caracteriza por su baja densidad, alta resistencia a la tracción y durabilidad natural, lo que la convierte en un recurso atractivo para la elaboración de materiales de construcción no estructurales (Figueiredo et al., 2025; Lertwattanaruk et al., 2022). Su utilización no sólo contribuye a la reducción de residuos orgánicos, sino que también ofrece una alternativa de bajo costo frente a materiales convencionales como el drywall o la madera aglomerada (Alcivar et al., 2024; Kumar & Raja, 2021).

En este contexto, el desarrollo de materiales alternativos se ha convertido en una prioridad para responder a las exigencias de la economía circular y a los Objetivos de Desarrollo Sostenible relacionados con producción responsable e innovación en infraestructura (Arcila et al., 2026).

Diversos estudios han demostrado que la incorporación de fibras naturales en materiales compuestos mejora las propiedades como la tenacidad, el comportamiento frente a agentes químicos y la capacidad de absorber tensiones, tal como lo muestran Guruswamy et al. (2024) y Ly et al. (2022) en sus respectivas investigaciones, ya que evaluaron el uso de fibra de coco como refuerzo sostenible para mejorar la resistencia a la compresión del concreto. Mientras que Akarsh et al. (2025) identificaron que la mezcla óptima con 0.30% de fibra de coco y 10.00% de ceniza de bagazo de caña aumentaron en un 12.00% en las propiedades mecánicas. Asimismo, Rodríguez-Robalino et al. (2025), evaluaron los compuestos de fibra de coco, donde demostraron que la incorporación del 17.50% de esta fibra, aumentó significativamente en 20.50% la resistencia a la tracción.

Por otro lado, Figueiredo et al. (2025), analizaron fibras de coco y alginato de sodio con ensayos de tensión y compresión, determinando un aumento de un 10.00% en compresión y su deformación de hasta 1.13 N/mm². También Mishra & Kumar (2025), encontraron que la fibra de coco empleada en el concreto, desarrolla una mejor resistencia a la flexión, lo cual ofrece una gran solución sostenible en la construcción. Además, Rodríguez-Robalino et al. (2025), analizaron el efecto de la fibra de coco como material térmico, incorporando en volumen hasta el 17.50%, y estudiaron sus propiedades mecánicas y térmicas, así como comportamiento bajo la acción del agua, donde indicaron que la adición de fibra de coco redujo la densidad en un 10.00%, mejorando además la resistencia a la flexión en un 20.50%, la resistencia a la compresión en un 28.40%, pero se disminuyó la conducción térmica en un 56.30%, lo que incrementó la eficiencia energética en 7.80%. Estos hallazgos confirman la viabilidad técnica de la fibra de coco como material complementario en el sector construcción.

Del mismo modo Burhanudin & Setiawan, (2025), utilizaron fibra de coco y ceniza volante en el concreto, donde integraron rangos de 0.25%, 0.50% y 1.00% en proporciones combinadas. El análisis de dicha investigación reveló que la adición de ambos insumos mejoró en un 32.52% la resistencia a la tracción, para la proporción óptima del 0.50%. Además, Satheesh et al., (2024), utilizaron fibra de coco y ceniza de fibra de coco para mejorar la eficiencia y las propiedades de resistencia del concreto, para tal fin, utilizaron desde el 5.00% y el 20.00% en peso del cemento.

Así mismo, lograron examinar diversas propiedades, como la trabajabilidad, las principales propiedades mecánicas y la durabilidad. Finalmente determinaron que la adición de fibra de coco aumenta la resistencia a la compresión, flexión y tracción en un 10.36%, 8.75% y 7.70% a los 28 días, respectivamente, en comparación con el concreto estándar.

En ese contexto, en el Perú, De La Cruz & Guerrero (2019), analizaron la incorporación de fibra de coco en adoquines con una resistencia de 175 kg/cm², lo cual con la incorporación del 0.15% de este insumo, se notó un aumento de la resistencia a la compresión en 16.50%. Además, Cedeño et al. (2024) evaluaron la incorporación de fibra de coco con una resistencia del 210 kg/cm² en el concreto convencional, demostrando que la incorporación del 1.00% alcanza un aumento 17.50% en resistencia a la flexión.

En ese sentido, la presente investigación propone el desarrollo y evaluación de paneles elaborados con fibra de coco tratada químicamente, con el objetivo de determinar sus propiedades físicas y mecánicas, su resistencia a condiciones ambientales adversas y su viabilidad económica como material alternativo. De esta manera, se busca aportar con evidencia científica que respalda el uso de la fibra de coco como un insumo ecoeficiente en la construcción, contribuyendo a la innovación tecnológica y a la sostenibilidad en la ingeniería civil y ambiental.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

Las fibras de coco se extrajeron principalmente de la Región San Martín, ubicado en la selva central del Perú. Posteriormente, estas fibras se dejaron secar a temperatura ambiente durante un periodo de 30 días. Una vez culminado este proceso inicial, y antes de su utilización, se sometieron a un secado adicional en una cámara climática durante 24 horas a una temperatura de 50°C. Estas condiciones controladas de secado resultaron en una reducción de masa del 26.70% y aseguraron que las fibras tuvieran características uniformes en términos de humedad, minimizando las variaciones que podrían afectar los resultados de las pruebas de caracterización posteriores.

Con el fin de mejorar la adherencia entre la fibra y la matriz cementicia, la fibra de coco fue tratada químicamente con una solución de hidróxido de sodio (NaOH) al 5.00% en concentración, tal y como recomienda Arcila et al. (2025) para el tratamiento de fibras de origen natural. Finalmente, las fibras de la solución alcalina, se dejaron secar nuevamente en

condiciones controladas antes de ser incorporadas en la matriz, tal como se muestra en la Figura 1.

Figura 1

Tratamiento de las fibras de coco

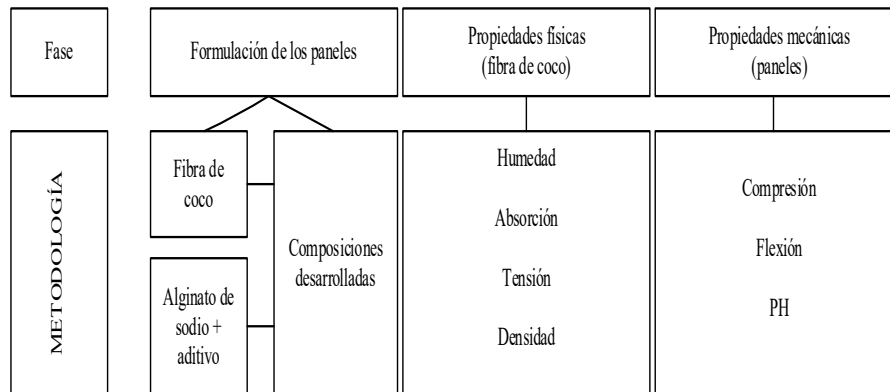


Métodos

La metodología empleada en este estudio se ilustra en la Figura 2, el cual incluyó: i) formulación de los paneles; ii) propiedades físicas; iii) propiedades mecánicas, esto con el objetivo de conocer las propiedades mecánicas en condiciones ambientales adversas, a la vez que se desarrollen materiales biocompuestos innovadores y sostenibles con un rendimiento térmico y acústico mejorado.

Figura 2

Diagrama de flujo de la metodología empleada



Protocolo de producción de muestras

Con el propósito de evaluar los efectos de la dosificación de la mezcla y la factibilidad de incorporar fibras de coco tratadas con un aglutinante de origen biológico, se elaboraron y caracterizaron un total de 12 especímenes destinados a la ejecución de diversos ensayos experimentales, tal y como se muestra el procedimiento experimental desarrollado en el laboratorio en la Figura 3. Cabe indicar que se evaluó una mezcla compuesta por 0.20 gramos de fibra de coco previamente triturada, 50 mililitros de adhesivo (cola) y 250 mililitros de agua, obteniéndose una solución con un volumen total de 300 mililitros de adhesivo diluido. La mezcla se colocó en moldes de 50.00 mm x 50.00 mm x 50.00 mm y 40.00 mm x 40.00 mm x 160.00 mm y se prensó manualmente. Después de llenar completamente los moldes, las muestras se curaron en una cámara climática durante 72 horas a una temperatura de 50.00°C.

Figura 3

Producción de las muestras en laboratorio



También, se evaluó la resistencia mecánica de las muestras y se utilizó como criterio de rendimiento para garantizar la caracterización y el desarrollo de paneles aislantes. Además, se investigó la geometría de la superficie para mejorar el coeficiente de absorción acústica. Se investigó también, la geometría superficial de las muestras para examinar cómo las geometrías superficiales afectan la interacción de las ondas sonoras con el material, con el fin de mejorar la eficiencia de absorción acústica.

En el caso de la geometría de la superficie se manipuló durante el proceso de moldeo con las muestras en estado fresco. Por lo tanto, se fabricaron cuatro encofrados diferentes. Las diferentes geometrías de encofrado consistieron en cubos y vigas. Esta geometría se ejecutó en dos fases e incluyó orificios cilíndricos en la primera. Posteriormente, se rotó la probeta y se añadieron orificios adicionales de menor diámetro. Todos estos procedimientos se desarrollaron en relación a la propuesta de la investigación de Figueiredo et al. (2025), el cual es aplicable y válido para biocompuestos a base de fibras de coco.

Pruebas mecánicas

La resistencia a la compresión y a la flexión de las diferentes probetas de biocompuesto se evaluaron de acuerdo a la norma EN 1014-11 (BS EN 1015-11. 1999). Además, se utilizó una máquina de ensayos universal Forney LA – 3626 – 220 de 44.50 KN con una célula de carga de 5 KN para realizar ambos ensayos. La resistencia a la flexión y a la compresión se determinó mediante el ensayo de tres probetas de 40.00 mm x 40.00 mm x 160.00 mm curadas durante 72 horas en una cámara climática a 50°C.

Pruebas de conductividad térmica

La conductividad térmica del biocompósito SO₄ fue determinada mediante el método de fuente de calor plana transitoria (TPS), empleando para ello un equipo HotDisk TPS 2500 S, acompañado de un portamuestras y un sensor de Kapton. Este método ha sido seguido por Liuzzi et al. (2020) y Figueiredo et al. (2025), los cuales manifiestan que, es el adecuado para el ensayo de materiales homogéneos e isotropos, así como de materiales anisotrópicos con estructura aniaxial, siempre que los valores de conductividad térmica se encuentren en un rango de 0.01 a 500.00 W.m. Para este ensayo en particular, se presentaron dos muestras cada una con un diámetro de 15.00 mm y un espesor de 9.00 mm.

RESULTADOS

Propiedades físicas de elementos de fibra de coco

Los ensayos físicos de la fibra de coco mostraron una densidad aparente de 0.733 g/cm^3 , confirmando su liderazgo y aporte a la reducción de peso en biocompuestos. El peso unitario fue de 0.025 g/cm^3 y el peso unitario compactado fue de 0.05 g/cm^3 , lo que evidencia su capacidad de acomodación y disminución de vacíos. La absorción de agua alcanzó un 20.00%, indicando alta porosidad e hidrofiliidad, lo que puede afectar la durabilidad, aunque favorece la adherencia mecánica con la matriz. El contenido de humedad fue de 8.13%. Así mismo, la Figura 4, muestra la resistencia a la tensión, la cual fue de 574.00 kg/cm^2 , confirmando el uso de la fibra de coco como refuerzo importante y sostenible en materiales compuestos, siempre que se apliquen tratamientos adecuados para mejorar su adherencia y reducir la absorción.

Figura 4

Resistencia a la tensión de la fibra de coco



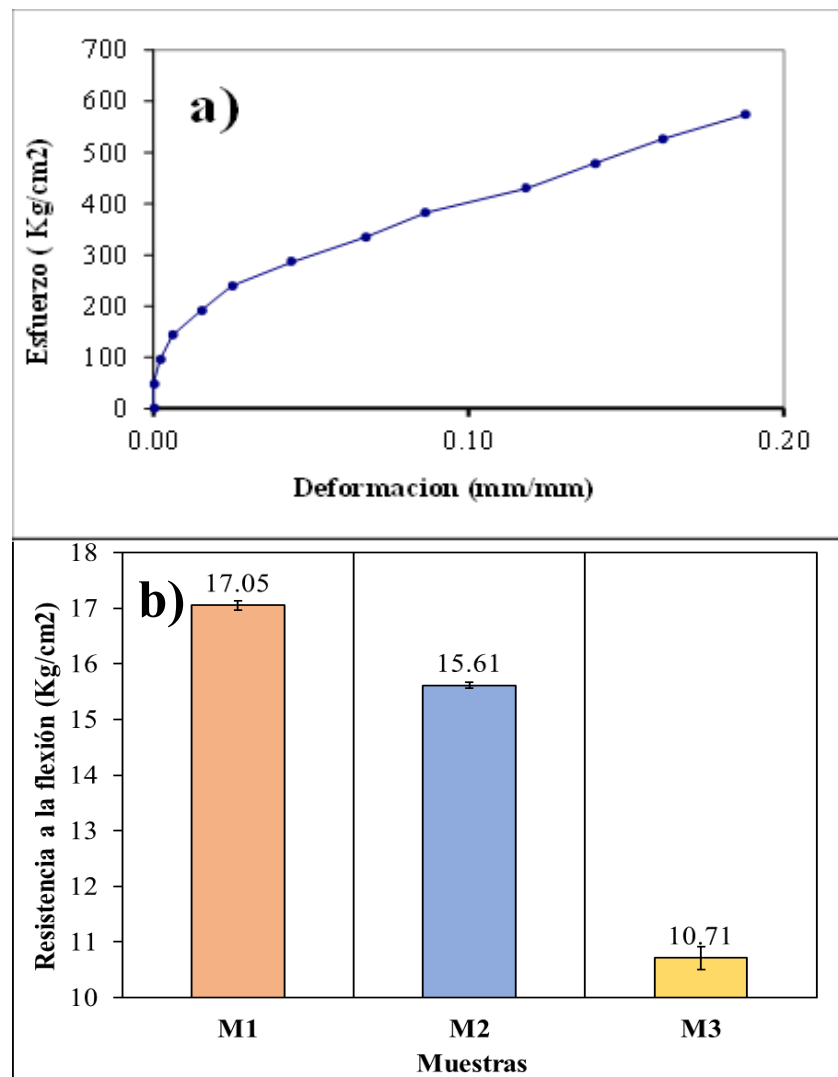
Propiedades mecánicas

La Figura 5 muestra la tensión y flexión en función del desplazamiento de las muestras. Para un valor de tensión corresponde a una marca de deformación del 10.00%, que representa la deformación de la muestra con respecto a la altura total (Figura 5a). Asimismo, el ensayo de resistencia a la flexión realizado a los paneles reforzados con fibra de coco (Figura 5b), arrojaron valores para la muestra M1 de 17.05 kg/cm^2 , para la muestra M2 de 15.61 kg/cm^2 y para la muestra M3 de 10.71 kg/cm^2 . Estos resultados evidenciaron cierta viabilidad en el desempeño mecánico del material, con un promedio de resistencia de 14.46 kg/cm^2 , lo que permite apreciar la capacidad del biocompuesto para resistir esfuerzos de flexión en condiciones de carga.

Así mismo se realizó un análisis estadístico ANOVA con la finalidad de establecer la existencia de diferencias significativas entre los valores de las muestras de la resistencia a la flexión (Figura 5b), mediante la prueba de medias de Tukey, determinándose que si existen diferencias significativas entre dichas muestras ($p=4.76E-17$; $F=3145.62 > F_{\text{crítico}}=3.89$), mostrando que el valor promedio de la muestra M1 (17.05 kg/cm²) fue el de mejor desempeño, respecto a los demás tratamientos.

Figura 5

Características mecánicas de paneles: (a) esfuerzo de tensión; (b) esfuerzo de flexión



Conductividad térmica

El biocomposito SO₄ presentó una conductividad térmica media valor de 0.091 ± 0.002 W/m·K. Sin embargo, un análisis literario, donde se utilizaron fibras de coco y otros aglutinantes de base biológico, indican valores de 0.08 W/m·K (Muthuraj et al., 2019). Esto sugiere, que los resultados obtenidos en este estudio podrían mejorar aún más el diseño de mezcla de formulación y refinar el proceso de producción de las muestras para un posterior uso como elemento de construcción.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en esta investigación evidencian que la fibra de coco presenta propiedades físico-mecánicas y térmicas que la posicionan como un material alternativo viable en la industria de la construcción. En términos físicos, la baja densidad (0.733 g/cm³) conforma su potencial para la elaboración de elementos ligeros, en concordancia con lo reportado por Figueiredo et al. (2025), quienes señalan que la incorporación de fibras vegetales reduce significativamente el peso biocompuestos sin comprometer su integridad estructural.

En cuanto a la absorción de agua (20.00%) y el contenido de humedad (8.13%), los valores reflejan la naturaleza higroscópica de la fibra, similar a lo documentado por Cedeño et al. (2024). Aunque esta condición puede limitar la durabilidad del material en ambientes húmedos, también contribuye a una mejor adherencia mecánica con la matriz cementicia. De este modo, resulta indispensable la implementación de tratamiento químicos superficiales que reduzcan su hidrofiliidad, aspecto corroborado por Alcívar et al. (2024), quienes observaron mejoras notables en la durabilidad tras aplicar tratamientos alcalinos.

Desde la perspectiva mecánica, la resistencia a la tensión de la fibra (574.00 kg/cm²) y la resistencia a flexión de los paneles (valor promedio de 14.46 kg/cm²) evidencian un desempeño favorable, aunque menor en comparación con materiales tradicionales como la madera aglomerada. Sin embargo, estos valores resultan competitivos frente a otros biocompuestos estudiados por Guruswamy et al. (2024), quienes destacaron incrementos de entre 10.00% y 15.00% en la resistencia de compuestos reforzados con fibras naturales.

Respecto a las propiedades térmicas, la conductividad del biocompuesto (0.091 W/m.K) se encuentra dentro del rango de los materiales aislantes, lo que coincide con lo descrito por Muthuraj et al. (2019) y Figueiredo et al. (2025). Este hallazgo resalta el potencial de la fibra de coco, no sólo como refuerzo estructural, sino también como un componente sostenible en el

desarrollo de paneles de aislamiento térmico y acústico, favoreciendo la condición energética de las edificaciones.

CONCLUSIONES

La fibra de coco presentó una densidad aparente baja, lo que confirma su ligereza y potencial para la reducción de peso en biocompósitos, favoreciendo su aplicación en la industria de la construcción.

Los valores del peso unitario y peso unitario compactado evidencian la capacidad de la fibra para disminuir vacíos en la matriz, lo cual contribuye a una mejor integración en materiales compuestos.

La fibra mostró una alta absorción de agua y contenido de humedad, lo que resalta la necesidad de aplicar tratamientos superficiales que controlen su hidrofiliidad para mejorar la durabilidad y la adherencia con matriz cementicia.

En términos de las respuestas mecánicas, la tensión de rotura demostró que la fibra de coco, posee resistencia significativa, reforzando su viabilidad como un material complementario adecuado y sostenible. En tanto, los ensayos de flexión en los paneles reforzados con fibra de coco alcanzaron un valor promedio de 14.46 kg/cm², lo cual evidencia un desempeño mecánico aceptable frente a cargas de flexión.

Finalmente, la conductividad térmica del biocompósito, lo ubica dentro del rango de materiales aislantes, lo que incrementa su potencial como material ecoeficiente para aplicaciones en construcción, abriendo una oportunidad para líneas de investigación en la ingeniería civil, ambiental y ramas afines sobre el uso potencial de este tipo de biocompuestos en el sector construcción.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abhijeet, G., Lata, S., Nath, T., & Kumar, S. (2021). Investigation of indoor environment quality and factors affecting human comfort: A critical review. *Building and Environment*, 204. doi:10.1016/j.buildenv.2021.108146

Akarsh, Marathe, S., Harsimran, K., & Akshaya, K. (2025). Synergistic effects of natural fibres and agro-waste ash on the engineering and sustainability of stone-matrix asphalt mixes. *International Journal of Transportation Science and Technology*. doi:10.1016/j.ijtst.2025.02.010

- Alcivar, S., Petroche, D., & Ramirez, A. (2024). Characterization and life cycle assessment of alkali treated abaca fibers: The effect of reusing sodium hydroxide. *Construction and Building Materials*, 449. doi:10.1016/j.conbuildmat.2024.138522
- Arcila, S., Garcia, J., Villegas, L., Damiani, C., Arriola, G., Villena, L., & Idrogo, C. (2025). Valorization of treated bamboo fiber in the mechanical strength and durability of concrete. *Innovative Infrastructure Solutions*, 10(6). doi: 10.1007/s41062-025-02022-w
- Berardi, U., & Iannace, G. (2015). Acoustic characterization of natural fibers for sound absorption applications. *Building And Environment*, 94, 840-852. doi: 10.1016/j.buildenv.2015.05.029
- Bianchi, F., Francisco, C., Teixeira, M., Neves, S., Costa, F., & Garcez, A. (2023). A review of the use of coconut fiber in cement composites. *Polymers*, 15(5). doi:10.3390/polym15051309
- Burhanudin, I., & Setiawan, A. (2025). Effect of coconut fibre on the compressive and tensile strength of geopolymer concrete. *Jurnal Komposit*. doi:10.32832/komposit.v9i1.16456
- Castro, H., Romero, B., Vásquez, C., & Arriola, G. (2020). Influencia de la cáscara y fibra de coco en mezclas asfálticas en caliente. *Ingeniería: Ciencia, Tecnología e Innovación*, 7(2), 176-190. doi:10.26495/icti.v7i2.1506
- Cedeño, J., Vines, J., & Guerra, J. (2024). Fibra de coco y su efecto en la resistencia a la compresión simple y prorsidad del hormigón. *Polo de Conocimiento*, 9(1), 1948-1962. <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/6475>
- Colinart, T., Pajot, M., Vineslas, T., Hellouin, A., & Lecompte, T. (2021). Thermal conductivity of biobased insulation building materials measured by hot disk: Possibilities and recommendation. *Journal of Building Engineering*, 43. doi:10.1016/j.jobbe.2021.102858
- De La Cruz, L., & Guerrero, E. (2019). *Adición de fibra de coco en bloques de concreto, para mejorar la resistencia a la compresión, Moyobamba, 2019*. [Tesis para optar el título de ingeniero civil, Universidad César Vallejo]. Repositorio digital UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/49010>

- Figueiredo, A., Vela, G., Ascensao, G., Vettorazzi, E., Vicente, R., & Oliveira, M. (2025). Development of an innovative biocomposite using coconut fibres and bio-based binder for thermal and acoustic applications in buildings. *Journal of Cleaner Production*, 491. doi:10.1016/j.jclepro.2025.144834
- Guruswamy, K., Thambiannan, S., Anthonysamy, A., Jalgaonkar, K., Dukare, A., Pandiselvam, R., & Jha, N. (2024). Coir fibre-reinforced concrete for enhanced compressive strength and sustainability in construction applications. *Heliyon*, 10(21). doi:10.1016/j.heliyon.2024.e39773
- Kumar, S., & Raja, V. (2021). Processing and determination of mechanical properties of Prosopis juliflora bark, banana and coconut fiber reinforced hybrid bio composites for an engineering field. *Composites Science and Technology*, 208. doi:10.1016/j.compscitech.2021.108695
- Lertwattanaruk, P., Makul, N., & Masuwan, K. (2022). Experimental study of acoustical insulation of cement-based board prepared with waste coconut coir and oil palm fibers. *Journal of Green Building*, 16(4), 63–81. doi: 10.3992/jgb.16.4.63
- Liuzzi, S., Rubino, C., Martellotta, F., Stefanizzi, P., Casavola, C., & Pappalettera, G. (2020). Characterization of biomass-based materials for building applications: The case of straw and olive tree waste. *Industrial Crops And Products*, 147. doi: 10.1016/j.indcrop.2020.112229
- Ly, E., Khiari, R., & Ndiaye, D. (2022). The acoustic properties of coir coconut fiber. *Coir Fiber and its Composites: Processing, Properties and Applications*, 359-372. doi: 10.1016/B978-0-443-15186-6.00090-4
- Mehrzad, S., Taban, E., Soltani, P., Samaei, S., & Khavanin, A. (2022). Sugarcane bagasse waste fibers as novel thermal insulation and sound-absorbing materials for application in sustainable buildings. *Building and Environment*, 211. doi:10.1016/j.buildenv.2022.108753




- Mishra, R., & Kumar, D. (2025). A comprehensive review sustainable use of coconut shell and coir fiber in concrete. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering*, 13(6), 2523-2529. doi:10.22214/ijraset.2025.72744
- Mohammadi, M., Taban, E., Tan, W., Che Din, N., Putra, A., & Berardi, U. (2024). Recent progress in natural fiber reinforced composite as sound absorber material. *Journal of Building Engineering*, 84. doi:10.1016/j.jobee.2024.108514
- Muthuraj, R., Lacoste, C., Lacroix, P., & Bergeret, A. (2019). Sustainable thermal insulation biocomposites from rice husk, wheat husk, wood fibers and textile waste fibers: Elaboration and performances evaluation. *Industrial Crops and Products*, 135, 238-245. doi:10.1016/j.indcrop.2019.04.053
- Pacheco-Torgal, F. (2020). Introduction to biobased materials and biotechnologies for eco-efficient construction. *Bio-Based Materials and Biotechnologies for Eco-Efficient*, 1-16. doi:10.1016/B978-0-12-819481-2.00001-5
- Qi, L., Zhi, C., Meng, J., Wang, Y., Liu, Y., Song, Q., Wu, Q., Wei, L., Dai, Y., Zou, J., Miao, M., & Yu, L. (2023). Highly efficient acoustic absorber designed by backing cavity-like and filled-microperforated plate-like structure. *Materials & Design*, 225. doi:10.1016/j.matdes.2022.111484
- Ravilal, R., Sandip, O., & Girish, D. (2025). Experimental study of concrete using natural coconut fiber. *Interantional Journal of Scientific Research in Engineering and Management*, 09(04), 1-9. doi: 10.55041/IJSREM44408
- Rodríguez-Robalino, M., Ferrández, D., Verdú-Vásquez, A., & Zaragoza-Benzal, A. (2025). Development and performance of coconut fibre gypsum composites for sustainable building materials. *Buildings*, 15(11). doi: 10.3390/buildings15111899
- Roque, E., Oliveira, R., Almeida, R., Vicente, R., & Figueiredo, A. (2020). Lightweight and prefabricated construction as a path to energy efficient buildings: Thermal design and execution challenges. *International Journal of Environment and Sustainable Development*, 19(1), 1-32. doi: 10.1504/IJESD.2020.105465

- Satheesh, S., Murugesan, R., Sivaraja, M., & Athijayamani, A. (2024). Innovative eco-friendly concrete utilizing coconut shell fibers and coir pith ash for sustainable development. *Sustainability (Switzerland)*, *16*(13). doi:10.3390/su16135316
- Sorte, S., Figueiredo, A., Vela, G., Olivera, M., Vicente, R., Relvas, C., & Martins, N. (2024). Evaluating the feasibility of shredded wind turbine blades for sustainable building components. *Journal of Cleaner Production*, *434*. doi:10.1016/j.jclepro.2023.139867
- Zhang, J., You, Q., Ren, G., Ullah, S., Normatov, I., & Chen, D. (2023). Inequality of Global Thermal Comfort Conditions Changes in a Warmer World. *Earth's Future*, *11*(2). doi:10.1029/2022ef003109

ARTÍCULO ORIGINAL

Impacto del cambio climático en la disponibilidad hídrica para riego agrícola en Jaén, 2025

Impact of climate change on water availability for agricultural irrigation in Jaén, 2025

Mario Mejía¹ , Alexis Muñoz²  y Edinson Llamo³ 

RESUMEN

El estudio evaluó el impacto del cambio climático en la disponibilidad hídrica para el riego agrícola en la provincia de Jaén, Cajamarca, durante el año 2025. La investigación se desarrolló en la cuenca del río Amojú, donde se analizaron los cambios en la precipitación, temperatura, caudal y evapotranspiración bajo los escenarios climáticos RCP4.5 y RCP8.5. Se aplicó un modelo hidrológico regional calibrado con datos históricos del periodo 2000–2020, y se estimó la demanda de agua para los principales cultivos de la zona: café, maíz, cacao y arroz. Los resultados mostraron una disminución del caudal medio anual de hasta 20 % y una reducción de la disponibilidad de agua para riego cercana al 30 % bajo el escenario RCP8.5, acompañada de un aumento de la evapotranspiración del 15 %. Las pérdidas simuladas de rendimiento agrícola oscilaron entre 10 % y 25 %, siendo los cultivos de arroz y maíz los más afectados. Se concluye que el cambio climático representa una amenaza significativa para la seguridad hídrica y la sostenibilidad agrícola de la región, por lo que se requiere una gestión integral del recurso orientada a mejorar la eficiencia del riego y la adaptación climática local.

Palabras clave: Impacto, riego; precipitación, evapotranspiración, sostenibilidad.

ABSTRACT

The study assessed the impact of climate change on water availability for agricultural irrigation in Jaén Province, Cajamarca, during 2025. Research was conducted in the Amojú River basin, analyzing variations in precipitation, temperature, streamflow, and evapotranspiration under RCP4.5 and RCP8.5 climate scenarios. A regional hydrological model calibrated with historical data (2000–2020) was applied, and water demand was estimated for the main local crops: coffee, maize, cocoa, and rice. Results showed an annual average streamflow decrease of up to 20 % and a 30 % reduction in irrigation water availability under the RCP8.5 scenario, along with a 15 % increase in evapotranspiration. Simulated yield losses ranged between 10 % and 25 %, with rice and maize being the most affected crops. It is concluded that climate change poses a significant threat to water security and agricultural sustainability in the region, highlighting the need for integrated water management focused on improving irrigation efficiency and local climate adaptation.

Keywords: impact, irrigation; precipitation, evapotranspiration, sustainability.

* Autor para correspondencia

¹Universidad Nacional de Jaén. Email: mario.mejia@est.unj.edu.pe, alexis.munoz@est.unj.edu.pe, ellamogoicochea@unj.edu.pe

INTRODUCCIÓN

La disponibilidad de agua es esencial para el desarrollo socioeconómico de cualquier zona, especialmente para mantener la agricultura, que es la base económica en muchas regiones. En Perú, la agricultura que depende del riego es crucial para la seguridad alimentaria y los ingresos rurales. Sin embargo, este recurso está cada vez más amenazado por el crecimiento de la demanda poblacional e industrial, así como por los efectos negativos del cambio climático (Banco Mundial, 2023).

Actualmente, tanto en Perú como a nivel mundial, se observa una mayor irregularidad en los patrones de lluvia y un aumento en las temperaturas, lo que afecta directamente el ciclo del agua (IPCC, 2021). En zonas andinas y de selva alta como Jaén, esto significa cambios en los tiempos y cantidad de lluvia, reducción en los caudales superficiales y subterráneos, y un incremento en la evaporación de los cultivos (Ministerio del Ambiente, 2020). A pesar de los esfuerzos locales para una mejor gestión del agua, los métodos tradicionales para prever la disponibilidad futura del recurso se enfrentan a limitaciones, ya que no suelen contemplar escenarios climáticos complejos y dinámicos, lo que demanda nuevas técnicas que integren variables climáticas proyectadas.

El análisis sugiere que la implementación de tecnologías de riego tecnificado podría mitigar los efectos observados, permitiendo expandir cultivos con mayor eficiencia hídrica (Zinke & Müller, 2022).

Desde una perspectiva positiva, el análisis sugiere que la implementación de tecnologías de riego tecnificado, la construcción de reservorios comunitarios, la cosecha de agua de lluvia y la reforestación de cabeceras de cuenca podrían mitigar los efectos observados. Estas estrategias ya han sido aplicadas con éxito en regiones del sur andino (Arequipa y Cusco), donde se ha logrado aumentar la eficiencia de riego hasta en 30 %, alineado con el portafolio nacional de proyectos de irrigación (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego del Perú, 2025).

Por eso, es necesario evaluar la vulnerabilidad y capacidad de recuperación de los sistemas de riego frente al cambio climático. Según la FAO (2018), esto se refiere a la habilidad de un sistema productivo para mantener su funcionamiento y producción frente a eventos extremos, como sequías o inundaciones, sin sufrir daños significativos en la productividad o infraestructura.

Gran parte de las pérdidas económicas en agricultura están ligadas a la disminución en los rendimientos o pérdida total de cosechas, y la escasez de agua representa un costo considerable. Por ello, garantizar el acceso al agua es clave para reducir estas pérdidas. Aunque la sustentabilidad en la producción agrícola depende de las técnicas y la planificación, la seguridad hídrica también está vinculada a la capacidad de prever y adaptarse a cambios climáticos futuros (Banco Mundial, 2022).

El análisis basado en escenarios climáticos compara la demanda de agua para riego con la disponibilidad real, usando modelos hidrológicos y climáticos, como los modelos de Circulación General, con proyecciones hasta 2025. La idea es simular reducciones progresivas en la oferta o incrementos en la demanda para representar las condiciones resultantes del cambio climático (CONIDA, 2019). Este análisis ayuda a identificar déficits críticos de agua y problemas como la salinización del suelo, además de definir la vulnerabilidad hídrica y el punto de estrés en función del caudal disponible y la extensión máxima de riego sostenible.

Los análisis de escenarios futuros ofrecen estimaciones valiosas sobre la disponibilidad hídrica (López et al., 2023), son métodos aceptados para la toma de decisiones (Elhadi et al., 2020), y permiten planificar infraestructuras y políticas agrícolas acorde con las proyecciones climáticas (Hassan y Yasin, 2023). Sin embargo, estos análisis pueden no reflejar con exactitud cómo reaccionarán social y económicamente los agricultores, ya que se basan principalmente en factores climáticos (Sankre y Sahu, 2020).

Actualmente, existen diversos programas y modelos para aplicar la modelación hidrológico-climática, como WEAP y SWAT, muy utilizados en Perú y otras partes del mundo por su validez y confiabilidad (Sullivan et al., 2021; Picon y Vargas, 2019).

Para evaluar el impacto a partir de proyecciones de disponibilidad, se emplean métodos como el balance hídrico proyectado y los coeficientes de escasez, siendo este último utilizado en la presente investigación. Este método ajusta la respuesta hídrica actual para prever déficits o excedentes máximos mediante coeficientes específicos, facilitando también la identificación de necesidades de adaptación mediante operaciones numéricas (Asıkoğlu et al., 2021; Shendkar et al., 2024).

La evaluación del impacto debe considerar diferentes niveles de afectación según la importancia de los cultivos y la gravedad de la amenaza climática. Así, el impacto total del sistema agrícola se define combinando la reducción en el rendimiento y la pérdida de tierras aptas para riego

(Mohsenian et al., 2023). Además, estos niveles ayudan a clasificar la resiliencia hídrica según la capacidad del sistema para cumplir sus objetivos productivos bajo estrés hídrico (Masrilayanti et al., 2023).

Con base en lo anterior, el propósito de esta investigación fue evaluar cómo el cambio climático afectará la disponibilidad hídrica para riego agrícola en la provincia de Jaén hacia 2025, utilizando modelos climáticos proyectados y el método de coeficientes de escasez para determinar el grado de vulnerabilidad hídrica del sector agrícola, tan importante para la economía local.

MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de estudio: el área de estudio será en la Provincia de Jaén, situada en el Departamento de Cajamarca, al norte de Perú. Esta área es clave debido a su fuerte dependencia de la agricultura de riego y su alta vulnerabilidad a los cambios climáticos.

Jaén destaca por su importancia agrícola en la región, siendo una zona productora principal de café, arroz, cacao y frutas, cultivos que requieren riego constante, especialmente durante la temporada seca. Además, su ubicación geográfica, en la transición entre la sierra y la selva alta, la expone a una gran variabilidad climática, con eventos extremos como sequías prolongadas y lluvias intensas que afectan tanto la infraestructura de riego como la disponibilidad de agua en sus cuencas. La provisión de agua para el riego depende fundamentalmente de ríos y quebradas que reciben agua de las precipitaciones en las partes altas de la cuenca, pero estas fuentes enfrentan amenazas derivadas del aumento de la temperatura y los cambios en los patrones de lluvia previstos para el año 2025.

Figura 1

Ubicación y localización



Nota. Localización geográfica de la provincia de Jaén.

Recopilación de datos climáticos históricos y proyectados:

Datos históricos (1990-2020): Se obtendrán series temporales de precipitación (P) y temperatura ($T_{mín}$, $T_{máx}$) de estaciones meteorológicas representativas de la provincia de Jaén, complementadas con datos reanalizados de bases de datos globales (e.g., CHIRPS, ERA5) para asegurar la cobertura espacial.

Datos de proyección (2025): Se utilizarán las proyecciones climáticas del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC), específicamente datos desagregados de Modelos de Circulación General (GCM) bajo un escenario de emisión representativo (RCP 4.5 o SSP2-4.5) para obtener las anomalías de y en el horizonte temporal de 2025.

Determinación de la demanda hídrica agrícola (riego):

Se identificará la superficie de riego y la matriz de cultivos (café, arroz, cacao) predominante en Jaén.

Se calculará la evapotranspiración de referencia (ET_0) utilizando el método de Penman-Monteith (FAO 56) con base en los datos climáticos históricos y proyectados.

Se determinará la evapotranspiración del cultivo (ET_c) y los requerimientos netos de riego (RN_r) para los principales cultivos, ajustados con sus respectivos coeficientes de cultivo (K_c) para el período crítico.

Modelación de la oferta hídrica y balance hídrico:

Se implementará un modelo hidrológico distribuido o semi-distribuido (por ejemplo, WEAP o SWAT) calibrado con caudales históricos observados en las principales estaciones hidrométricas de la provincia (Mora et al., 2023). El modelo se forzará con las proyecciones climáticas de P y T para el año 2025 (obtenidas en la Fase 1) para simular los caudales disponibles (Q_{disp}) en las fuentes de riego.

Se realizará un balance hídrico proyectado para Jaén:

$$\text{Déficit Hídrico} = \sum(\text{Demanda Total} - \text{Oferta Proyectada}).$$

Evaluación del impacto y nivel de estrés hídrico (método de coeficientes de escasez):

Se aplicará el método de los coeficientes de escasez (adaptado de FEMA para recursos hídricos) para cuantificar el grado de afectación.

Se definirá el nivel de desempeño hídrico (similar a los niveles de desempeño sísmico: *Óptimo*, *aceptable*, *moderado*, *crítico*) en función del porcentaje de déficit hídrico proyectado en 2025 respecto al requerimiento total.

La clasificación del impacto se establecerá como:

Impacto Bajo: Déficit proyectado < 10%

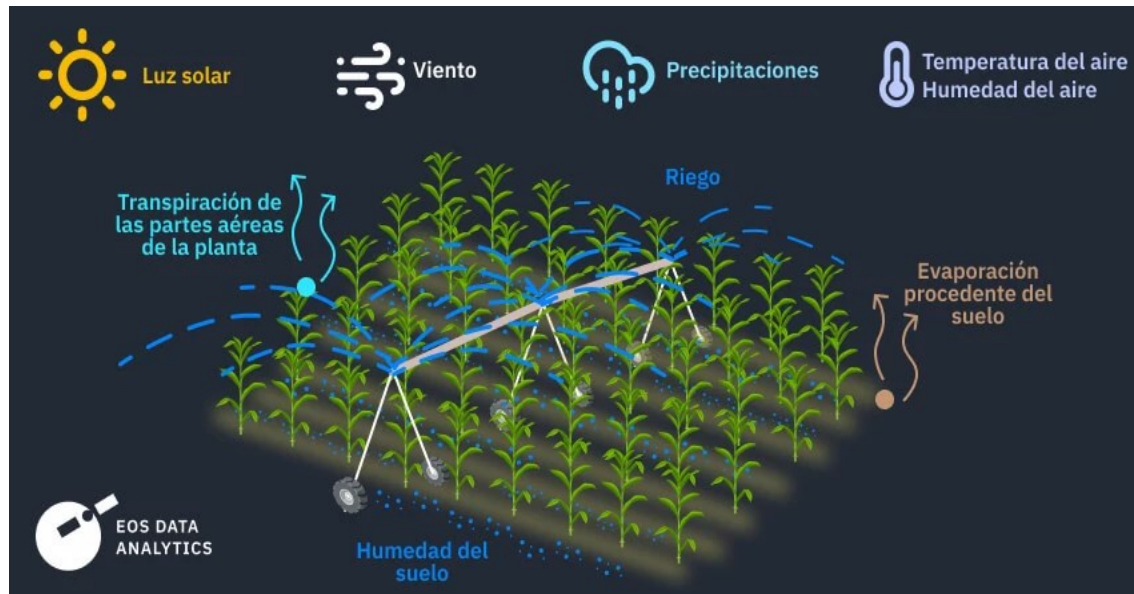
Impacto Moderado: $10\% \leq$ Déficit proyectado < 25%

Impacto Alto: $25\% \leq$ Déficit proyectado < 50%

Impacto Crítico: Déficit proyectado \geq 50%

Figura 2

Modelo de evapotranspiración en un sembrío.



Nota. Proceso de Evapotranspiración.

Fórmula de cálculo de evapotranspiración

Ecuación (Penman–Monteith FAO 56):

$$ET_0 = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

Donde:

- ET_0 : evapotranspiración de referencia (mm/día)
- R_n : radiación neta (MJ/m²/día)
- G : flujo de calor del suelo (MJ/m²/día)
- T : temperatura media diaria (°C)
- u_2 : velocidad del viento (m/s)
- $e_s - e_a$: déficit de presión de vapor (kPa)
- Δ : pendiente de la curva de presión de vapor (kPa/°C)
- γ : constante psicrométrica (kPa/°C)

Fórmula del balance hídrico

$$D = P - (ET_0 + Q + I)$$

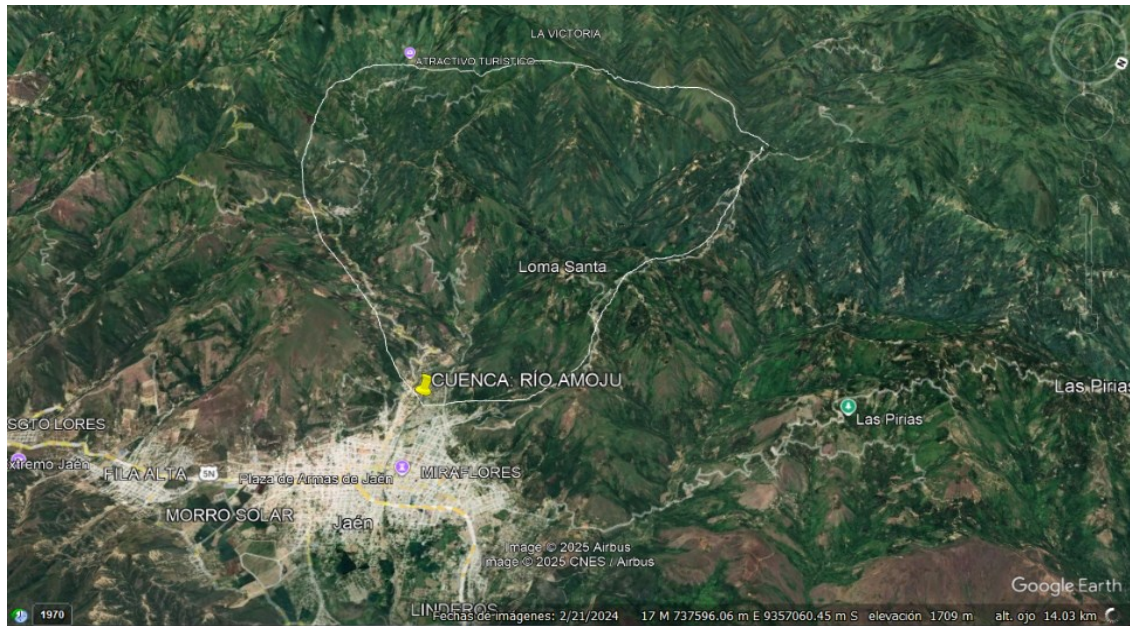
Donde:

- D : disponibilidad neta de agua (mm o m³/s)

- ***P***: precipitación
- ***ET₀***: evapotranspiración
- ***Q***: escorrentía superficial
- ***I***: infiltración o percolación profunda

Figura 3

Delimitación de la cuenca Amojú



Nota. Mapa de cuenca del río Amojú (en Google Earth).

RESULTADOS

Disponibilidad hídrica y comportamiento climático

Los análisis hidrológicos muestran que el aumento de la temperatura media anual entre 1 °C (RCP4.5) y 2.3 °C (RCP8.5) genera una intensificación de la evapotranspiración y una disminución de los caudales. La Figura 2 presenta el esquema conceptual de los procesos de evapotranspiración que explican esta pérdida de humedad en el suelo y en la atmósfera, mientras que la Figura 3 muestra la ubicación geográfica de la cuenca y las principales zonas agrícolas evaluadas.

Actualmente, la mayoría de los sistemas en Jaén son por gravedad, con eficiencias promedio del 35–45 %, muy por debajo del estándar de los sistemas presurizados o por goteo. Esta baja

eficiencia, sumada al aumento de la evapotranspiración, podría agravarse con métodos de monitoreo térmico para optimizar el riego (Zúñiga et al., 2022).

De acuerdo con los datos modelados, la precipitación anual promedio, que históricamente alcanza los 1 200 mm, disminuiría en 5 % bajo RCP4.5 y 12 % bajo RCP8.5, afectando directamente el balance hídrico (Ecuación 2).

El caudal medio anual del río Amojú pasaría de 25 m³/s en el periodo base a 22.5 m³/s (RCP4.5) y 20 m³/s (RCP8.5). En consecuencia, el volumen disponible para riego se reduciría hasta en 30 % (Tabla 2).

Tabla 1

Tabla de parámetros de cultivos

Cultivo	Coefficiente de cultivo (Kc)	Superficie regada (ha)	Demanda anual estimada (m³/ha)
Café	0.9–1.0	1,250	8,500
Maíz	1.1	850	9,000
Cacao	0.95	600	7,200
Arroz	1.2-1.25	400	12,500

Nota. Se presenta los parámetros de los cultivos del (Café, Maíz, Cacao y Arroz).

Tabla 2

Comparación de variables climáticas e hidrológicas bajo escenarios RCP4.5 y RCP8.5.

Variable	Periodo base (2000–2020)	Escenario RCP4.5 (2025)	Escenario RCP8.5 (2025)	Cambio (%)
Precipitación (mm/año)	1 200	1 140	1 056	–12 %
Temperatura (°C)	20.0	21.0	22.3	+11 %
Caudal medio (m³/s)	25.0	22.5	20.0	–20 %
Evapotranspiración (mm/año)	1 400	1 512	1 610	+15 %
Volumen disponible para riego (10⁶ m³)	15.0	12.8	10.5	–30 %

Nota. (Elaboración propia a partir de simulaciones climáticas 2000–2025).

Impacto en la productividad agrícola

Los resultados simulados indican que, bajo el escenario RCP8.5, los cultivos de arroz y maíz presentan las mayores pérdidas de rendimiento, con reducciones entre 18 % y 25 %, debido a su alta dependencia del riego continuo.

El café y el cacao, por ser cultivos perennes y con mejor cobertura vegetal, muestran pérdidas menores (10 %–15 %) aunque también significativas.

Tabla 3

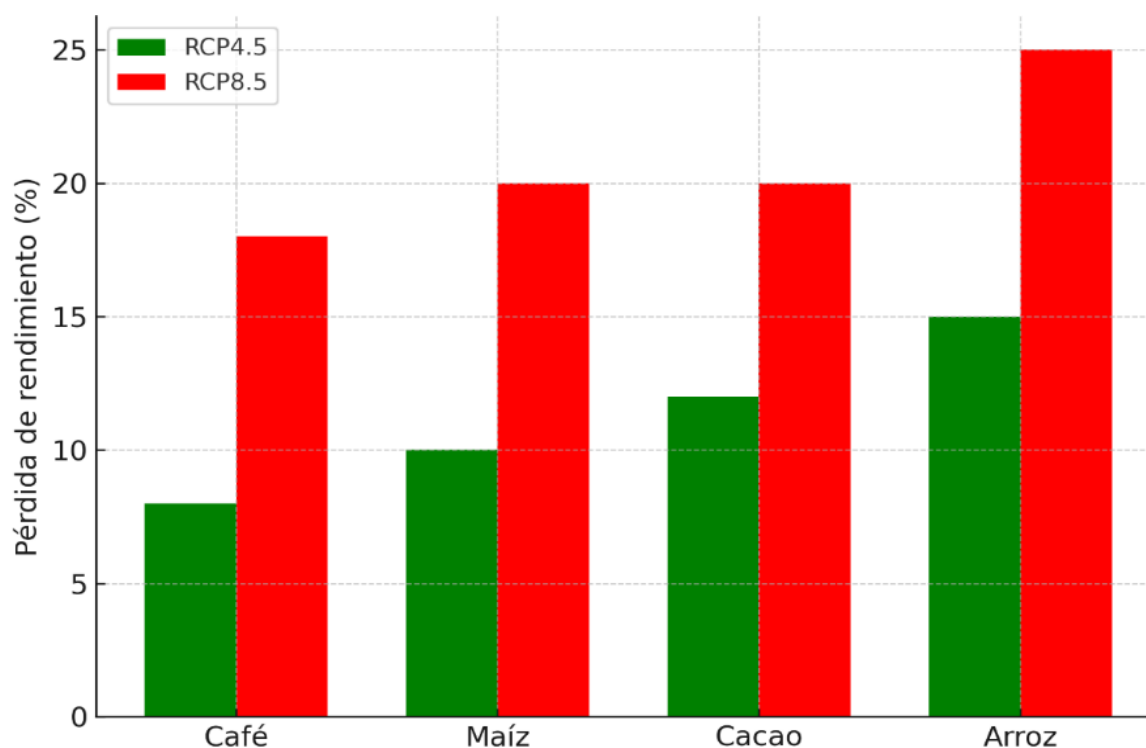
Reducción simulada del rendimiento agrícola ante disminución de disponibilidad hídrica.

Cultivo	Pérdida esperada (RCP4.5)	Pérdida esperada (RCP8.5)
Café	5–10 %	12–18 %
Maíz	8–12 %	15–22 %
Cacao	10–14 %	18–20 %
Arroz	12–15 %	20–25 %

Nota. (Escenarios climáticos RCP4.5 y RCP8.5, año 2025).

Figura 4

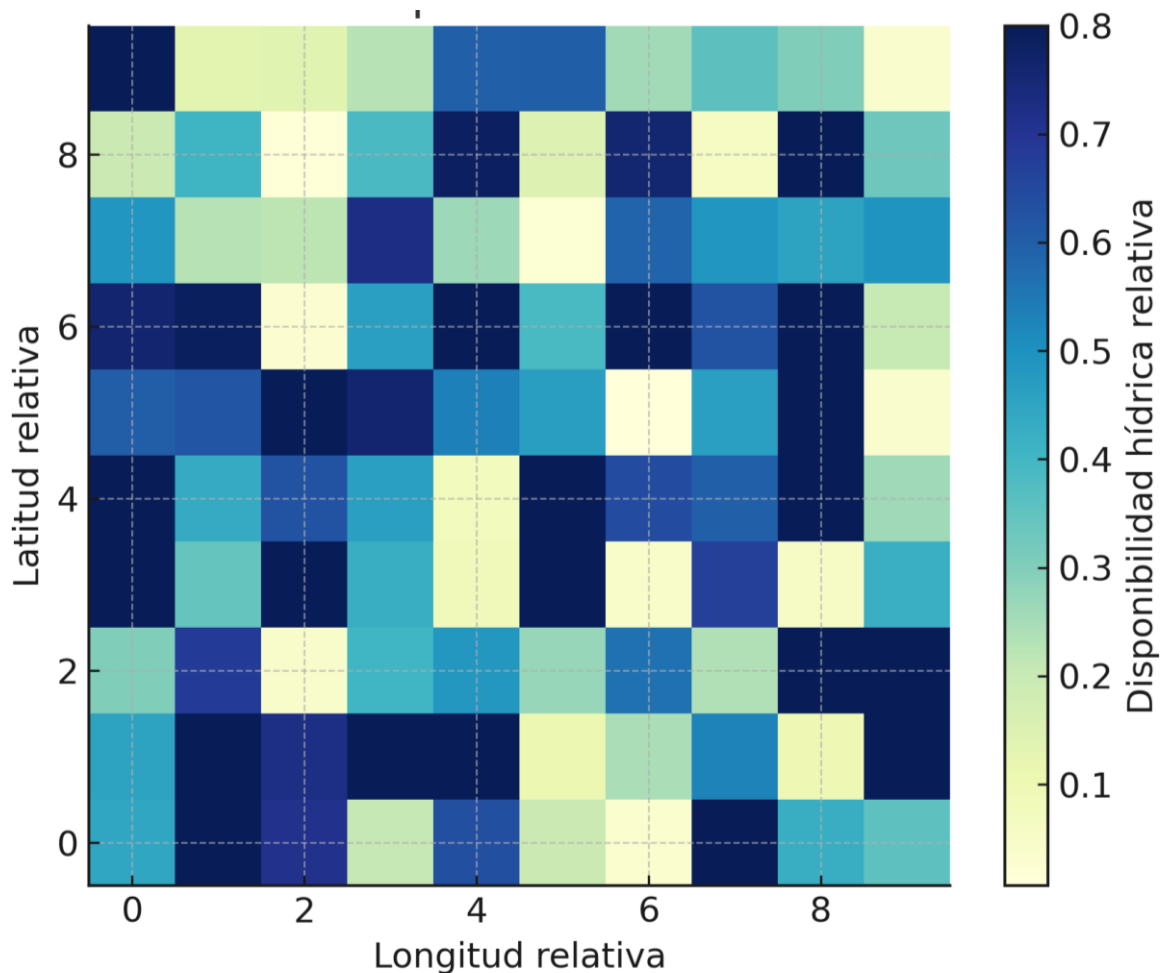
Pérdidas agrícolas simuladas ante déficit hídrico bajo escenarios climáticos RCP4.5 y RCP8.5 en la provincia de Jaén, 2025.



Nota. Se observa un incremento significativo en la pérdida de rendimiento de cultivos, especialmente en arroz y maíz, bajo condiciones de mayor temperatura y menor disponibilidad hídrica.

Figura 5

Proyección espacial de la disponibilidad hídrica relativa para riego agrícola en la cuenca del río Amojú, Jaén, 2025.



Nota. Las zonas bajas de la cuenca presentan menor disponibilidad de agua (<60 %), evidenciando el impacto del escenario RCP8.5 sobre la oferta hídrica regional.

Síntesis de tendencias observadas

La disponibilidad hídrica en la cuenca del río Amojú podría reducirse hasta 30 % en escenarios de altas emisiones (RCP8.5).

Los cultivos más vulnerables son los de arroz y maíz, debido a su mayor demanda de agua.

Se evidencia una tendencia positiva en la evapotranspiración y una disminución sistemática en los caudales medios del río.

La variabilidad de lluvias afectará la planificación del riego, especialmente durante los meses secos (junio–setiembre).

De mantenerse las condiciones proyectadas, la superficie efectiva de riego podría disminuir hasta en 20 %, afectando la seguridad alimentaria local.

DISCUSIÓN

Los resultados hidrológicos proyectados para la cuenca del río Amojú hacia 2025 muestran claramente cómo el cambio climático amenaza la disponibilidad hídrica para el riego agrícola en Jaén. La Tabla 1 detalla los parámetros de los cultivos principales (café, maíz, cacao y arroz), evidenciando su alta demanda hídrica anual hasta 12 500 m³/ha en arroz, lo que los hace especialmente sensibles ante cualquier déficit. La Tabla 2 confirma una reducción del caudal medio anual de hasta 20 % (de 25 m³/s en el periodo base a 20 m³/s bajo RCP8.5) y una disminución del volumen disponible para riego cercana al 30 %, impulsada por el aumento de la temperatura media anual (1 °C en RCP4.5 y 2.3 °C en RCP8.5) y el incremento de la evapotranspiración (+15 %). Estos procesos de pérdida de humedad se ilustran en la Figura 2, mientras que la Figura 3 ubica geográficamente la cuenca y las zonas agrícolas más expuestas en la transición sierra-selva alta.

La disminución de la precipitación anual proyectada (5 % en RCP4.5 y 12 % en RCP8.5) afecta directamente el balance hídrico y agrava el estrés hídrico en una región donde predominan sistemas de riego por gravedad con eficiencias bajas (35–45 %), infraestructura obsoleta y sobreexplotación histórica del recurso (Domínguez-Guzmán et al., 2022; Zúñiga et al., 2022). Esta situación se ve agravada por la pendiente pronunciada de la cuenca y la degradación de las cabeceras por deforestación y pérdida de cobertura vegetal, factores que reducen la recarga natural y amplifican el déficit durante los meses secos (Hänchen et al., 2022; Drenkhan et al., 2022). Los valores obtenidos son consistentes con otras cuencas andinas peruanas, donde se reportan reducciones de caudal del 15–30 % y aumentos de evapotranspiración bajo escenarios de altas emisiones (Hinojosa-Mamani et al., 2025; Chen et al., 2025; Mora et al., 2023).

El impacto diferenciado en la productividad agrícola se aprecia en la Tabla 3: arroz y maíz, con mayor demanda hídrica continua, presentan las mayores pérdidas simuladas (18–25 % bajo RCP8.5), mientras que café y cacao (perennes) muestran reducciones más moderadas (10–18 %). Estas diferencias se visualizan en la Figura 4, donde se observa un incremento significativo en las pérdidas de arroz y maíz bajo condiciones de mayor temperatura y menor disponibilidad

hídrica. Los patrones coinciden con evaluaciones regionales que destacan la sensibilidad de cultivos de ciclo corto ante déficits hídricos, afectando directamente la economía rural basada en exportaciones de café y cacao (Lozano-Povis, 2023; The World Bank, 2023).

La proyección espacial de la disponibilidad hídrica relativa (Figura 5) revela una heterogeneidad marcada: las zonas bajas del valle presentan valores inferiores al 60 %, evidenciando mayor vulnerabilidad por concentración agrícola, pendiente y degradación de cabeceras, mientras que las partes altas conservan mejores condiciones de humedad. Esta distribución espacial subraya la necesidad de una gestión diferenciada del recurso, considerando factores locales como la pendiente de la cuenca y la sobreexplotación histórica (Hänchen et al., 2022; Banco Mundial, 2023).

Desde una perspectiva positiva, la adopción de riego tecnificado (goteo, presurizado), monitoreo térmico y estrategias de cosecha de agua podría mitigar hasta 30 % de las pérdidas proyectadas, alineado con portafolios nacionales de irrigación y experiencias exitosas en regiones andinas (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego del Perú, 2025; Quispe-Rodríguez et al., 2024; Zinke & Müller, 2022; Asthana, 2022). Sin embargo, la inacción bajo RCP8.5 agravaría la vulnerabilidad, afectando la seguridad alimentaria y los ingresos rurales (Reuters, 2025; Rodríguez et al., 2024).

En síntesis, los resultados confirman una tendencia de estrés hídrico creciente en Jaén, consistente con proyecciones andinas regionales (Drenkhan et al., 2022; Chen et al., 2025; Hinojosa-Mamani et al., 2025), y destacan la urgencia de políticas de adaptación integrales: mejora de eficiencia, restauración de cabeceras, modernización de infraestructura y participación de stakeholders locales para sostener la agricultura de riego en escenarios de altas emisiones.

CONCLUSIONES

os resultados del presente estudio confirman que el cambio climático constituye una amenaza significativa y progresiva para la disponibilidad hídrica destinada al riego agrícola en la cuenca del río Amojú, provincia de Jaén, hacia el año 2025. Bajo el escenario RCP8.5, se proyecta una reducción de hasta el 30 % en el volumen de agua disponible para riego, impulsada principalmente por el incremento de la evapotranspiración (+15 %) y la disminución de la precipitación anual (hasta -12 %), lo que genera un estrés hídrico creciente en los cultivos principales de la zona.

Los cultivos de arroz y maíz, caracterizados por su alta demanda hídrica y dependencia de riegos continuos, resultan los más vulnerables, con pérdidas simuladas de rendimiento entre 18 % y 25 % bajo RCP8.5. En contraste, el café y el cacao exhiben reducciones más moderadas (10–18 %), aunque igualmente relevantes para la economía agrícola local basada en exportaciones. La distribución espacial de la disponibilidad hídrica relativa revela una mayor afectación en las zonas bajas del valle (<60 %), destacando la heterogeneidad de la cuenca y la necesidad de enfoques de gestión diferenciados según altitud, pendiente y uso del suelo.

Estos hallazgos son consistentes con tendencias observadas en otras cuencas andinas peruanas y sudamericanas, donde el calentamiento regional y la alteración de los patrones de precipitación generan reducciones similares de caudal y aumentos de evapotranspiración potencial bajo escenarios de altas emisiones. La eficiencia actual de los sistemas de riego por gravedad (35–45 %) agrava el déficit proyectado, evidenciando la obsolescencia de la infraestructura y la urgencia de transitar hacia tecnologías más eficientes y resilientes.

En conclusión, el cambio climático intensifica la vulnerabilidad hídrica y agrícola en Jaén, comprometiendo la sostenibilidad de la producción de cultivos clave y la seguridad alimentaria local. Los resultados subrayan la necesidad imperiosa de implementar estrategias integrales de adaptación mejora de la eficiencia del riego, monitoreo avanzado, restauración de cabeceras de cuenca, cosecha de agua y construcción de reservorios comunitarios para mitigar los impactos proyectados y fortalecer la resiliencia del sector agrícola frente a escenarios futuros de mayor estrés climático. Estas acciones no solo son técnicas, sino que requieren participación activa de los agricultores, instituciones locales y políticas nacionales alineadas con los compromisos de adaptación al cambio climático en el Perú.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Asthana, A. N. (2022). Increasing production efficiency of irrigation systems through stakeholder participation. *Water Policy*, 24(6), 1061–1077. <https://doi.org/10.2166/wp.2022.122>
- Banco Mundial. (2023). Peru strategic actions toward water security. <https://www.worldbank.org/en/topic/water/publication/peru-strategic-actions-toward-water-security>

- Chen, M., Huang, Y., Hu, X.-M., Xue, M., Hong, Y., Mayol Novoa, H., & Ticona Jara, J. L. (2025). Arequipa's water in the short future: A hydrologic outlook in an arid Peruvian Andes region utilizing hyperresolution RCM and CREST-VEC model simulations under SSP5-8.5. *American Journal of Water Resources*, 13(2), 51–62. <https://doi.org/10.12691/ajwr-13-2-3>
- Drenkhan, F., et al. (2022). Hydrology, water resources availability and management in the Andes under climate change and human impacts. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 42, 101160. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.101160>
- Domínguez-Guzmán, C., Verzijl, A., Zwarteveen, M., & Mol, A. (2022). Caring for water in Northern Peru: On fragile infrastructures and the diverse work involved in irrigation. *Environment and Planning E: Nature and Space*, 5(2), 522–542. <https://doi.org/10.1177/25148486211052216>
- Hänchen, L., Klein, C., Maussion, F., Gurgiser, W., Calanca, P., & Wohlfahrt, G. (2022). Widespread greening suggests increased dry-season plant water availability in the Río Santa Valley, Peruvian Andes. *Earth System Dynamics*, 13(1), 595–611. <https://doi.org/10.5194/esd-13-595-2022>
- Hinojosa-Mamani, J., Mamani-Flores, A., Apaza-Chino, J., Apaza-Ticona, J., Quea-Gutiérrez, L., Villanueva-Álvaro, N., & Alanoca-Arocutipa, V. (2025). Quantitative assessment of the effects of climate change on water resources in the Huancané River Basin, Peruvian Andes. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 13(3), 503–520. <https://doi.org/10.21533/pen.v13i3.442>
- Lozano-Povis, A. A. (2023). Agriculture and climate change: Main findings and proposals for decision-making in two natural regions of Peru. *South Sustainability*, 4(1), 1–14. <https://doi.org/10.21142/SS-0401-2023-1357>
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego del Perú. (2025). Portafolio de 22 proyectos de irrigación valorizados en US\$24 mil millones. Agencia Andina. <https://andina.pe/agencia/noticia-portafolio-proyectos-irrigacion-peru-1023420.aspx>

- Mora, C., et al. (2023). Assessment of present and future water security under anthropogenic and climate changes using WEAP model in the Vilcanota–Urubamba Catchment, Cusco, Peru. *Water*, 15(7), 1439. <https://doi.org/10.3390/w15071439>
- Quispe-Rodríguez, J., Paytan-Montañez, T. C., Aliaga Barrera, I. N., & Saravia-Navarro, D. (2024). Osmotic adjustment and yield of two varieties of avocado (*Persea americana*), Hass and Fuerte, with drip irrigation system, in Andean area of Peru. *Scientia Agropecuaria*, 15(2), 225–234. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2024.02.10>
- Reuters. (2025, marzo 24). Peru to spend \$24 billion on irrigation to expand farmlands. Reuters News Agency. <https://www.reuters.com/world/americas/peru-spend-24-billion-irrigation-expand-farmlands-2025-03-24/>
- Rodríguez, C., Vargas, R., & Yupanqui, M. (2024). Evapotranspiration, carbon dynamics and water use efficiency in a drip-irrigated olive orchard in arid coastal western South America. *Agricultural Water Management*, 297, 108813. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.108813>
- The World Bank. (2023). *Irrigation for Climate Resilient Agriculture (P179037)*. Washington, D.C.: World Bank Group. <https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/99e223502022322397/P179037>
- Zinke, L., & Müller, C. (2022). Irrigation efficiency for expanded croplands. *Nature Reviews Earth & Environment*, 3(8), 617–631. <https://doi.org/10.1038/s43017-022-00357-x>
- Zúñiga, E., Valdez, J., & Ramos, D. (2022). Water saving using thermal imagery-based thresholds for timing irrigation in potatoes under drip and furrow irrigation systems, Lima, Peru. *Agronomy*, 12(12), 2921. <https://doi.org/10.3390/agronomy12122921>

ARTÍCULO ORIGINAL

Influencia de la dependencia emocional sobre el consumo de sustancias psicoactivas en adultos del departamento de San Martín

The influence of emotional dependency on the use of psychoactive substances among adults in the department of San Martín

Anghy Pérez ¹, Verónica Soto ², Melisa Zulueta ³ y Jesenia Huamán ⁴

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo determinar la capacidad predictiva de la dependencia emocional sobre el consumo de sustancias en adultos de San Martín. Participaron 710 adultos, donde (60.6%) fueron varones con un (76.9%) de estado civil solteros, con edades entre 18 y 45 años ($M = 24.2$; $DE = 6.99$), seleccionados mediante muestreo no probabilístico intencional. Se aplicaron el Cuestionario de Dependencia Emocional (CDE) y la prueba ASSIST. Los resultados evidenciaron asociaciones significativas entre ambas variables ($p < 0.001$), destacando la correlación entre consumo y la dimensión de expresión límite ($r = 0.510$). La regresión lineal mostró que la dependencia emocional predice de manera positiva y significativa el consumo ($\beta = 0.481$, $p < 0.001$), explicando el 23.2% de la varianza. Estos hallazgos sugieren que una mayor dependencia emocional incrementa la probabilidad de consumo de sustancias.

Palabras clave: Dependencia emocional; consumo de sustancias psicoactivas; adultos jóvenes; regulación emocional; San Martín.

ABSTRACT

This study aimed to determine the predictive capacity of emotional dependence on substance use in adults from San Martín. A total of 710 adults participated, of whom 60.6% were male and 76.9% were single, with ages ranging from 18 to 45 years ($M = 24.2$; $SD = 6.99$). Participants were selected through purposive non-probability sampling. The Emotional Dependency Questionnaire (EDQ) and the ASSIST screening test were administered. The results showed significant associations between the variables ($p < 0.001$), highlighting the correlation between substance use and the borderline expression dimension ($r = 0.510$). Linear regression indicated that emotional dependence positively and significantly predicts substance use ($\beta = 0.481$, $p < 0.001$), explaining 23.2% of the variance. These findings suggest that higher emotional dependence increases the likelihood of substance use.

Keywords: Emotional dependence; psychoactive substance use; young adults; emotional regulation; San Martín.

* Autor para correspondencia

¹ Universidad Peruana Unión, Perú. Email: anghyperez@upeu.edu.pe, veronicasoto@upeu.edu.pe, melisazulueta@upeu.edu.pe, jeseniahuaman@upeu.edu.pe

INTRODUCCIÓN

La dependencia emocional es una problemática que ha generado gran impacto a nivel mundial y con mayor prevalencia en personas adulto joven, la cual se caracteriza por la vinculación excesiva hacia otra persona como fuente de satisfacción y seguridad personal, involucrando aspectos cognitivos, emocionales, conductuales y motivacional (Castelló, 2005). Esta condición se define como un patrón repetitivo de demandas emocionales insatisfechas que se intentan cubrir desenfrenadamente con otras personas, manifestándose como aquella extrema necesidad amorosa que una persona siente por otra en diversas relaciones románticas, lo que lleva a mantener un comportamiento exagerado con tal de obtener afecto, evitar la separación o quedarse solo (Castelló, 2005). Su prevalencia es considerablemente alta en diversos contextos: González-Yubero et al. (2021) señalaron que el 50% de los hombres y una de cada tres mujeres universitarias presentaron niveles moderados o altos de dependencia emocional; Quiroz et al. (2021) sostuvieron que este número ascendía hasta un 81% en estudiantes universitarios mexicanos; Chafla-Quise y Lara-Machado (2021) hallaron que el 79% de mujeres atendidas por la Fundación Nosotras con Equidad en Ecuador presentaban dependencia emocional; y en el contexto peruano, Perez et al. (2022) identificaron un 48.4% en hombres con violencia de pareja. Esta condición puede tener consecuencias negativas como baja autoestima y distorsiones cognitivas (Denegri y Chunga, 2022)

El consumo de sustancias psicoactivas, definido por la Organización Mundial de la Salud (OMS) como la ingesta de alcohol, drogas ilícitas o el uso indebido de medicamentos recetados o de venta libre con consecuencias negativas, constituye un factor de riesgo significativo para la salud a nivel mundial (Lee et al., 2023). Estas sustancias pueden modificar el funcionamiento del sistema nervioso, generando efectos negativos tanto en la persona que consume como para personas cercanas o la sociedad en general. A pesar de los múltiples esfuerzos por prevenirla, esta problemática sigue en aumento y afecta a los adolescentes y más aún a la población adulta (Álvarez et al., 2020). Según la Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito (UNODC), en 2018 aproximadamente 269 millones de personas consumieron drogas, y más de 35 millones de personas desarrollaron trastornos asociados al consumo de sustancias psicoactivas (Villa et al., 2023). A nivel internacional, en India Ghadigaonkar et al. (2021) hallaron una prevalencia del 14.6% del consumo de alcohol y del 2.1% en el uso de opioides; en México, Ardila et al. (2022) reportaron que el 51.3% de estudiantes universitarios consumieron sustancias con el fin de mejorar su promedio, con una mayor prevalencia de

consumo en hombres con un 53%, siendo las más consumidas caféinas 62.3%, energizantes 49.2% y alcohol con un 37.7%. En el contexto peruano, el Ministerio de Salud (MINSA) reportó 271,153 atenciones por consumo de sustancias psicoactivas, de los cuales el 75% correspondieron a hombres y el 25% mujeres (MINSA, 2023). Además, entre 2021 y 2023 se registró un aumento del 20.5% en los trastornos de consumo de sustancias psicoactivas (MINSA, 2024). Vallejos et al. (2022) identificaron que durante la pandemia del COVID-19 las sustancias más consumidas fueron alcohol, tabaco y marihuana, mientras que Cárdenas et al. (2020) hallaron que en estudiantes universitarios de Arequipa el 33.02% consumían tabaco, el 22.53% bebidas alcohólicas y el 10.49% marihuana.

La evidencia científica ha demostrado que la regulación emocional juega un papel importante en el consumo de sustancias psicoactivas. Momeñe et al. (2021) y Bohórquez et al. (2022) encontraron que la desregulación emocional en los consumidores es preocupante. De manera similar, Bohórquez et al. (2022) sostienen que esta desregulación aumenta el riesgo de consumo, y estudios en personas en rehabilitación muestran que puede estar relacionada con la dependencia emocional (Herrera y Gaviria, 2022). Diversos autores han demostrado la relación entre dependencia emocional y el abuso o adicción a sustancias psicoactivas (Barbarias et al., 2019; González-Yubero et al., 2021; McKee et al., 2020; Momeñe et al., 2021), considerándola incluso un factor predictor del consumo de alcohol y drogas (Gonzales et al., 2022). Dicha condición puede asociarse al consumo de sustancias psicotrópicas y su dependencia debido a factores previos de vulnerabilidad en el individuo provocados por la dependencia emocional (Vega, 2023).

A pesar de la abundante evidencia internacional y de algunos estudios realizados en Perú, no se han identificado investigaciones que analicen de forma específica el papel predictivo de la dependencia emocional sobre el consumo de sustancias psicoactivas en adultos de la región San Martín. Este vacío resulta relevante considerando que la mayoría de los estudios nacionales se han concentrado en poblaciones de la costa y la sierra, mientras que estudios recientes han examinado principalmente estas regiones; sin embargo, en la selva, particularmente en la región San Martín, la evidencia es escasa o prácticamente inexistente, lo que limita la comprensión del problema en este contexto geográfico y cultural específico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño

La investigación realizada posee un tipo de estudio correlacional (Ato et al., 2013). Corresponde a un modelo de estudio no experimental; debido a que las variables no fueron manipuladas, además tiene un enfoque cuantitativo, ya que se trabajó con datos numéricos y con un corte transversal, debido a que la recopilación de la información fue en una ocasión predeterminada (Hernández et al., 2010).

Participantes

La muestra estuvo conformada por 710 participantes, seleccionados mediante muestreo no probabilístico intencional, muestreo considerado adecuado debido a las limitaciones de disponibilidad de tiempo por parte de los estudiantes. La muestra supera ampliamente los criterios metodológicos establecidos en la literatura, dado que sostienen que el mínimo de datos para un estudio de regresión debe ser 160 participantes (Jenkins et al., 2020), mientras que la calculadora de Soper (2024), considerando parámetros específicos como tamaño del efecto anticipado de 0.3, nivel de poder estadístico deseado de 0.8, 2 variables latentes, 6 variables observadas y nivel de probabilidad de 0.05, determinó un tamaño mínimo de muestra recomendado de 200 participantes.

En la Tabla 1 se aprecia que las edades estaban comprendidas entre 18 y 45 años ($M = 24.2$; $DE = 6.99$), en gran parte del sexo masculino (60.6%), de estado civil soltero (76.9%), con estudios universitarios o técnicos (30.7%) y que radicaban en la ciudad de Tarapoto (49.7%).

Instrumentos

El Cuestionario de Dependencia emocional (CDE) fue creado inicialmente por Lemos y Londoño (2006). El objetivo de esta escala es medir la dependencia emocional, posee 23 ítems con opciones de respuesta en escala Likert (Completamente falso de mí = 1 a Me describe perfectamente = 6). En este estudio se utilizó la versión peruana de Ventura et al. (2016), la cual incluye las dimensiones de ansiedad de separación, expresión afectiva, modificación de planes, miedo a la soledad, expresión límite y búsqueda de atención; así mismo presenta evidencias de validez ($NNF = .98$, $AIC = -178,76$, $RMSEA = 0,02$ $SRMR = 0,06$).

Prueba de detección de consumo de sustancias psicoactivas (ASSIST – 11). En el estudio se utilizó la versión abreviada de Lee et al. (2023), la cual consta de 11 ítems que se responden en una escala de Likert (0 = nunca a 4 = diariamente o casi diariamente) considerando los últimos

3 meses, a excepción del ítem 11 el cual es una pregunta abierta que complementa al ítem 10, por lo que además el ítem 10 no se codifica.

Ambos instrumentos mostraron adecuada consistencia interna. En este estudio, el cuestionario de dependencia emocional (CDE) obtuvo un coeficiente alfa de Cronbach de $\alpha = 0.94$, y el ASSIST-11 mostro un de $\alpha = 0.87$, lo que evidencia una adecuada confiabilidad.

Procedimiento

La recopilación de la data se llevó a cabo teniendo en cuenta las directrices de la Declaración de Helsinki, el cual garantiza que las normas éticas y de protección de datos son cumplidas. Así mismo se elaboró un formulario en línea utilizando la plataforma Forms de Microsoft 365, en donde se consideró en la primera sección el consentimiento informado conservando así su participación voluntaria, así mismo se informó el objetivo de la investigación y el procedimiento, recalcando la confidencialidad, el anonimato y el uso exclusivo de información con fines académicos y el fin adecuado de los datos adquiridos teniendo en consideración la ética para el manejo adecuado de ello. Luego de ello, en la segunda sección del formulario se incluyó la recopilación de datos sociodemográficos, seguido de la sección del cuestionario (CDE) y la prueba (ASSIST-11). Para la difusión del formulario se hizo uso de las redes sociales como WhatsApp, Instagram y Facebook dirigido a la población peruana mayor de 18 años. Así mismo se pidió que se difunda el link del formulario.

Análisis de los datos

Los análisis estadísticos se realizaron por medio de la interfaz de Jamovi 2.3.28 (The Jamovi Project, 2022). Se realizó el análisis descriptivo de las variables en estudio, calculando la media, la desviación estándar, asimetría y curtosis. Para evaluar la normalidad de los datos se hizo uso de los datos de asimetría y curtosis, para luego explorar la matriz de correlaciones (Ghasemi y Zahediasl, 2012).

Posteriormente, se elaboró la matriz de correlación de Pearson con el fin de identificar la relación existente entre las dimensiones de dependencia emocional y consumo de sustancias. Finalmente, se aplicó un análisis de regresión lineal simple para evaluar la capacidad predictiva de la dependencia emocional sobre el consumo de sustancias psicoactivas, en este procedimiento, la dependencia emocional se estableció como variable independiente (predictora) y el consumo de sustancias como variable dependiente (criterio). Se verificaron los supuestos estadísticos de normalidad, linealidad, independencia de errores y homocedasticidad para asegurar la validez del modelo. Los resultados del análisis de regresión incluyeron el

coeficiente de regresión no estandarizado (B), el error estándar (EE), el coeficiente de regresión estandarizado (β), el estadístico t, el coeficiente de determinación (R^2), el estadístico F y la significancia estadística (p), con un nivel de confianza del 95%.

Asimismo, se realizó un análisis de poder estadístico post hoc mediante el programa G*Power 3.1, considerando un nivel de significancia $\alpha = .05$ y el tamaño muestral de 710 participantes. El análisis indicó un poder estadístico ($1-\beta$) superior a .99, evidenciando que el estudio contó con potencia suficiente para detectar efectos significativos.

Aspectos éticos

El estudio fue evaluado y aprobado por el Comité de Ética de la universidad Peruana Unión, bajo el código de aprobación N° 0202-T-2025/UPeU-FCS-CF. La investigación se desarrolló conforme a los principios éticos del Informe Belmont Belmont (1974), garantizando respeto por las personas, beneficencia y justicia. Todos los participantes firmaron consentimiento informado digital antes de completar los instrumentos.

RESULTADOS

Los participantes fueron 710 adultos jóvenes peruanos, con edades comprendidas entre 18 y 45 años ($M = 24.2$; $DE = 6.99$). En cuanto al sexo, 430 eran varones (60.6%) y 280 mujeres (39.4%). Respecto al estado civil, la mayoría eran solteros ($n = 546$; 76.9%), seguidos por convivientes ($n = 84$; 11.8%) y casados ($n = 51$; 7.2%). En relación al grado de instrucción, el mayor grupo correspondió a estudiantes universitarios o técnicos ($n = 218$; 30.7%), seguido de personas con secundaria completa ($n = 112$; 15.8%) y estudios universitarios incompletos ($n = 144$; 20.3%). Todos los participantes declararon nacionalidad peruana. En cuanto al departamento de residencia actual, la mayoría residía en Tarapoto ($n = 353$; 49.7%), seguido de Moyobamba ($n = 79$; 11.1%) y Lamas ($n = 64$; 9.0%). El resto de los participantes se distribuyó en diversas provincias como El Dorado, Huallaga, Picota, Rioja, Tocache, entre otras.

Tabla 1*Datos sociodemográficos*

	Característica	Frecuencia	%
Sexo	Femenino	280	39.40%
	Masculino	430	60.60%
Estado civil	Casado	51	7.20%
	Conviviente	84	11.80%
	Divorciado	19	2.70%
	Soltero	546	76.90%
	Viudo	10	1.40%
	Doctorado completo	5	0.70%
	Doctorado incompleto	1	0.10%
Grado de instrucción	Estudiante universitario/técnico	218	30.70%
	Maestría completa	5	0.70%
	Maestría incompleta	3	0.40%
	Primaria completa	11	1.50%
	Primaria incompleta	6	0.80%
	Secundaria completa	112	15.80%
	Secundaria incompleta	18	2.50%
	Sin estudios	3	0.40%
	Superior completo	9	1.30%
	Superior incompleto	8	1.10%
Superior universitario completo		59	8.30%
Superior universitario incompleto		144	20.30%
Técnico superior completo		61	8.60%
Técnico superior incompleto		47	6.60%

Nacionalidad	Peruano(a)	710	100.00%
	Bellavista	13	1.80%
Departamento de residencia actual	El Dorado	62	8.70%
	Huallaga	49	6.90%
	Lamas	64	9.00%
	Mariscal Cáceres	9	1.30%
	Moyobamba	79	11.10%
	Picota	28	3.90%
	Tarapoto	353	49.70%
	Tocache	27	3.80%

Análisis descriptivo de las variables

La tabla 2 muestra datos estadísticos descriptivos de las variables de estudio, apreciándose para cada una de ellas la media, la desviación estándar, la asimetría y la curtosis. Para evaluar la normalidad de los datos, se analizó los datos de la asimetría y curtosis, las cuales se ubican dentro del rango ± 2 para la asimetría y ± 7 para la curtosis, lo cual indica que ambas variables de estudio como las dimensiones siguen una distribución normal (Kim, 2013).

Tabla 2

Análisis descriptivo de las variables en estudio

	M	DE	g ₁	g ₂
Ansiedad de separación	14.89	8.75	0.958	-0.103
Expresión afectiva de la pareja	11.11	5.84	0.623	-0.408
Modificación de planes	9.84	6.19	0.879	-0.29
Miedo a la soledad	7.37	4.44	0.952	-0.107
Expresión Límite	6.69	4.43	1.29	0.621
Búsqueda de atención	5.06	3.07	0.941	-0.198
Dependencia emocional	57.51	31.96	1.028	0.215
Consumo de sustancias	5.32	6.02	1.869	3.914

Análisis de correlación

Se observaron correlaciones significativas ente las variables analizadas en la Tabla 3. La correlación más significativa se encontró entre consumo de sustancias con expresión límite ($r = 0.510$) lo que indica una correlación moderada alta, por otro lado, se evidencia una correlación

más baja entre consumo de sustancias con expresión afectiva ($r = 0.378$). Además, se evidencian que todas las dimensiones de dependencia emocional, así como la dependencia emocional está relacionada de forma positiva con el consumo de sustancias. Esto sugiere que las personas con dificultad para regular sus emociones intensas tienen mayor probabilidad de consumir sustancias como mecanismo de afrontamiento.

Tabla 3

Reporte de correlación de las variables y las dimensiones

	1	2	3	4	5	6	7	8
1. Ansiedad por separación	—	—	—	—	—	—	—	—
2. Expresión afectiva de la pareja	0.871	—	—	—	—	—	—	—
3. Modificación de planes	0.861	0.810	—	—	—	—	—	—
4. Miedo a la soledad	0.862	0.786	0.808	—	—	—	—	—
5. Expresión Límite	0.867	0.781	0.837	0.877	—	—	—	—
6. Búsqueda de atención	0.887	0.791	0.724	0.763	0.783	—	—	—
7. Dependencia emocional	0.969	0.919	0.924	0.915	0.922	0.865	—	—
8. Consumo de sustancias	0.482	0.378	0.433	0.455	0.510	0.446	0.481	—

Análisis de regresión o predictivo

Se realizó un análisis de regresión lineal simple para evaluar si la dependencia emocional predice el consumo de sustancias psicoactivas en adultos jóvenes. Los resultados de la tabla 4 indican que el modelo fue significativo, $F(1, 704) = 212$, $p < .001$, y explicó aproximadamente el 23.2 % de la varianza del consumo de sustancias, $R^2 = .232$.

De acuerdo con los criterios de Cohen (1988), este valor representa un tamaño del efecto moderado, lo que indica que la dependencia emocional explica una proporción relevante de la varianza en el consumo de sustancias psicoactivas.

La dependencia emocional fue un predictor positivo y significativo del consumo de sustancias, $\beta = 0.778$, $t(704) = 14.565$, $p < .001$, lo que indica que, a mayor nivel de dependencia emocional,

mayor es el nivel de consumo de sustancias reportado. El coeficiente no estandarizado (β) fue .0908, con un error estándar de .0062.

Tabla 4

Análisis de regresión

Predictores	B	EE	β	t	p
(Constante)	0.1157	0.41006	—	0.282	0.778
Dependencia emocional	0.0908	0.0062	0.778	14.565	<.001

DISCUSIÓN

Con el paso de los años, la ingesta de sustancias psicoactivas ha generado un interés cada vez mayor debido a su impacto en la salud pública y el bienestar psicológico. Los Hallazgos de este estudio destacan que el consumo de sustancias puede estar estrechamente relacionados con los niveles elevados de la dependencia emocional, especialmente en la vulnerabilidad psicológicas (Lee et al., 2023).

En comparación con estudios anteriores, los resultados obtenidos muestran una gran similitud con los resultados obtenidos por Momeñe et al. (2021) y Barbarias et al. (2019) ya que evidenciaron asociaciones significativas entre las variables de estudio con un ($p < 0.001$). Sin embargo, Momeñe no consideró ver la relación de las dimensiones de la DE con el consumo de sustancias, algo que se consideró en esta investigación, por otro lado, Barbarias et al. (2019) en su estudio determinó la correlación entre las dimensiones de la DE con el tipo de sustancia que se ha consumido, donde identificó que la dimensión búsqueda de atención está más relacionada con el consumo de alcohol y la dimensión expresión límite está más relacionada con el consumo de drogas, este resultado se asemeja con el de la investigación realizada ya que se encontró que la correlación más alta fue entre consumo de sustancias y expresión límite ($r = 0.510$) mientras que la más baja fue entre consumo de sustancias y expresión afectiva ($r = 0.378$).

El R^2 de 0.232 es congruente con la naturaleza holística del consumo de sustancias psicoactivas documentada ampliamente. En ese sentido, se ha identificado a la desregulación emocional como uno de los predictores más robustos del consumo de sustancias ya que al no haber estrategias de manejo emocional, el consumo de sustancias psicoactivas surge como una estrategia de afrontamiento desadaptativo (Weiss et al., 2022). Esto se ve agravado, ya que los individuos con trastornos por consumo de sustancias presentan déficits significativos en

estrategias de regulación emocional y control de impulsos (Stellern et al., 2023). Así mismo, la comorbilidad con trastornos mentales, como depresión y ansiedad, conforman otro factor crítico, con tasas de co ocurrencia que alcanzan el 43% en poblaciones con trastornos por uso de sustancias (Tesselaar et al., 2025). Finalmente, los determinantes sociales, incluyendo las redes de pares, el apoyo social y el desempleo, han demostrado influencias significativas que explican el consumo en población adulta (Lin et al., 2024). Dichos hallazgos subrayan la necesidad de postular modelos comprensivos que integren factores individuales, contextuales y relacionales para explicar detalladamente el consumo de sustancias psicoactivas.

Entre las principales limitaciones se encuentra el uso de muestreo no probabilístico, lo que restringe la generalización de los resultados a toda la población adulta del departamento de San Martín. Asimismo, el diseño transversal impide establecer relaciones causales. El uso de autoinformes puede generar sesgo de deseabilidad social. Se recomienda que futuras investigaciones empleen diseños longitudinales y muestreo probabilístico.

CONCLUSIONES

Aunque en la investigación se obtuvo resultados favorables se presentaron algunas limitaciones, dentro de ellas está la carencia de investigaciones que involucran a las dos variables y en la población de estudio, así mismo se presenta una muestra reducida y dificultades para conseguir la población necesaria en los diversas departamentos de san Martín, ya que al principio de la investigación solo se había considerado a la población que haya consumido algún tipo de sustancia psicoactiva, pero a lo largo de la investigación esto se amplió a la población en general.

Por tal motivo se sugiere que en los futuros estudios se incluya una o más variables más como autoestima con la finalidad de poder obtener una mejor comprensión de las variables estudiada ya que según los resultados obtenidos en la presente investigación se obtuvo una mayor relación entre la dimensión expresión límite y consumo de sustancias, por lo que al incrementa la variable de autoestima permitirá enriquecer los hallazgos y ampliar las implicaciones prácticas y teóricas del tema.

Se concluye que la dependencia emocional se asocia significativamente con el consumo de sustancias psicoactiva en el consumo de sustancias psicoactivas en adultos del departamento de San Martín, lo que evidencia la necesidad de abordar ambos fenómenos de manera conjunta para prevenir e intervenir. La dependencia emocional, al estar relacionada con baja autoestima, miedo al abandono y dificultad para establecer límites saludables, puede convertirse en un factor

de vulnerabilidad que predispone al uso de sustancias como forma de escape o regulación emocional. En respuesta a esta realidad, se recomienda la implementación de terapia cognitivo-conductual (TCC) como intervención psicoeducativa ya que esta aborda específicamente los patrones de pensamiento y conductas desadaptativas asociadas tanto con el consumo de sustancias como con los síntomas de desregulación emocional propios de la dependencia emocional (McHugh et al., 2010) . Dicho programa debe incorporar el fortalecimiento de habilidades de afrontamiento, autonomía emocional y relaciones interpersonales saludables, con especial énfasis en los adultos jóvenes en contextos universitarios, donde suelen consolidarse patrones afectivos y conductas de riesgo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, Á., Carmona, N., Pérez, Á., & Jaramillo-Roa, A. (2020). Factores Psicosociales Asociados al Consumo de Sustancias Psicoactivas en Adolescentes de Pereira, Colombia. *Universidad y Salud*, 22(3), 213–222. <https://doi.org/10.22267/rus.202203.193>
- Ardila, G., Correa, L., Flórez, K., & Gonzales, R. (2022). Vista de Consumo de sustancias y rendimiento académico de los universitarios de la ciudad de Bucaramanga. *FITEC*, 6(2), 1–9. <https://www.fitecvirtual.org/ojs-3.0.1/index.php/clic/article/view/399/351>
- Ato, M., López, J., & Benavente, A. (2013). Un sistema de clasificación de los diseños de investigación en psicología. *Anales de Psicología*, 29(3), 1038–1059. <https://doi.org/10.6018/analesps.29.3.178511>
- Barbarias, O., Estévez, A., & Jáuregui, P. (2019). La dependencia emocional como factor mediador en la relación entre apego y el abuso de drogas y alcohol en jóvenes. *Revista Española de Drogodependencias*, 44(1), 44–58. https://www.aesed.com/upload/files/v44n1_art3.pdf
- Belmont. (1974). *Principios éticos y directrices para la protección de sujetos humanos de investigación: Reporte de la Comisión Nacional para la Protección de Sujetos Humanos de Investigación Biomédica y de Comportamiento*. <https://www.paho.org/es/documentos/informe-belmont-principios-eticos-directrices-para-proteccion-sujetos-humanos>
- Bohórquez, D., Gómez, D., Pérez, D., & García, L. (2022). Desregulación emocional y nivel de riesgo por consumo de sustancias psicoactivas en universitarios colombianos. *Revista CES Psicología*, 15(3), 115–132. <https://doi.org/10.21615/cesp.6159>
- Cárdenas Zúñiga, M., Palomino-Arpi, F., Bouroncle-Faux, S., & Jaén-Azpilcueta, O. (2020). Detección del nivel de riesgo de consumo de sustancias psicoactivas en estudiantes universitarios de

Psicología - Perú. *Summa Psicológica*, 17(1), 11–19. <https://doi.org/10.18774/0719-448X.2020.17.454>

Castelló, J. (2005). *Dependencia emocional: características y tratamiento*. Alianza Editorial. www.alianzaeditorial.es

Chafla-Quise, M., & Lara-Machado, R. (2021). Dependencia emocional y violencia en mujeres atendidas en la Fundación Nosotras con Equidad, de Riobamba. *Rev. Med. Electrón*, 43(5), 1328–1344. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1684-18242021000501328

Denegri, M., & Chunga, S. (2022). Violencia de género, dependencia emocional y su incidencia en la autoestima en madres de estudiantes. *Revista de Ciencias Sociales*, 28(3), 1–15. <https://www.redalyc.org/journal/280/28071865022/28071865022.pdf>

Ghadigaonkar, D, Kandasamy, A., & Sivakumar, P. (2021). Forensic Aspects of Substance Use in Older Adults. *Indian Journal of Psychological Medicine*, 43(5), 128–133. <https://doi.org/10.1177/02537176211047957>

Ghasemi, A., & Zahediasl, S. (2012). Normality Tests for Statistical Analysis: A Guide for Non-Statisticians. *International Journal of Endocrinology and Metabolism* 2012 10:2, 10(2), 486–489. <https://doi.org/10.5812/IJEM.3505>

Gonzales, A., Riveros, A., Terrazo, L., Flores, A., & Oré, R. (2022). Dependencia emocional en estudiantes universitarios en aislamiento social obligatorio por Covid-19. *Revista San Gregorio*, 52, 1–11. <http://scielo.senescyt.gob.ec/pdf/rsan/v1n52/2528-7907-rsan-1-52-00115.pdf>

González-Yubero, S., Lázaro-Visa, S., & Palomera, R. (2021). ¿Qué Aporta la Inteligencia Emocional al Estudio de los Factores Personales Protectores del Consumo de Alcohol en la Adolescencia? *Psicología Educativa*, 27(1), 27–36. <https://doi.org/10.5093/PSED2020A13>

Hernández, R., Fernández, C., & del Pilar Baptista, M. (2010). *Metodología de la investigación*. <https://www.smujirescoahuila.gob.mx/wp-content/uploads/2020/05/Sampieri.Met.Inv.pdf>

Herrera, V., & Gaviria, A. (2022). *Habilidades de la inteligencia emocional en relacion con el consumo de sustancias* [[Tesis de Doctorado, Universidad Católica de Pereira].Repositorio UCP]. <https://repositorio.ucp.edu.co/server/api/core/bitstreams/faf533f4-7958-427d-ab29-7049bc5a5375/content>

Jenkins, J., Popova, V., & Sheldon, M. (2020). Monitoring the accounting profession under the AICPA code of professional conduct: An analysis of state board of accountancy participation. *Journal of*

- Accounting and Public Policy*, 39(3), 1–19.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jaccpubpol.2020.106742>
- Kim, H. (2013). Statistical notes for clinical researchers: assessing normal distribution (2) using skewness and kurtosis. *Restorative Dentistry & Endodontics*, 38(1), 52.
<https://doi.org/10.5395/rde.2013.38.1.52>
- Lee, C., Lin, C., & Koós, M. (2023). The eleven-item Alcohol, Smoking and Substance Involvement Screening Test (ASSIST-11): Cross-cultural psychometric evaluation across 42 countries. *Journal of Psychiatric Research*, 165, 16–27. <https://doi.org/10.1016/J.JPSYCHIRES.2023.06.033>
- Lemos, M., & Londoño, N. (2006). Construcción y validación del cuestionario de dependencia emocional en población Colombiana. *Acta Colombiana de Psicología*, 9(2), 127–140.
<https://www.redalyc.org/pdf/798/79890212.pdf>
- Lin, C., Cousins, S., Zhu, Y., Clingan, S., Mooney, L., Kan, E., Wu, F., & Hser, Y. (2024). A scoping review of social determinants of health's impact on substance use disorders over the life course. *Journal of Substance Use & Addiction Treatment*, 166, 1–18.
<https://doi.org/10.1016/j.josat.2024.209484>
- McHugh, R., Hearon, B., & Otto, M. (2010). Cognitive Behavioral Therapy for Substance Use Disorders. *Psychiatric Clinics of North America*, 33(3), 511–525. <https://doi.org/10.1016/j.psc.2010.04.012>
- McKee, K., Russell, M., Mennis, J., Mason, M., & Neale, M. (2020). Emotion regulation dynamics predict substance use in high-risk adolescents. *Addictive Behaviors*, 106, 1–19.
<https://doi.org/10.1016/j.addbeh.2020.106374>
- Minsa. (2023, September 30). *Minsa brindó más de 270 000 atenciones por consumo de alcohol y otras sustancias*. <https://www.gob.pe/institucion/minsa/noticias/842167-minsa-brindo-mas-de-270-000-atenciones-por-consumo-de-alcohol-y-otras-sustancias>
- Minsa. (2024, October 6). *Minsa: casos de trastornos por consumo de sustancias psicoactivas se incrementaron en 20.5 % entre el 2021 y el 2023*. <https://www.gob.pe/institucion/minsa/noticias/1035016-minsa-casos-de-trastornos-por-consumo-de-sustancias-psicoactivas-se-incrementaron-en-20-5-entre-el-2021-y-el-2023>
- Momeñe, J., Estévez, A., Pérez, A., Jiménez, J., Chávez, M., Olave, L., Iruarrizaga, I., Momeñe, J., Estévez, A., Pérez, A., Jiménez, J., Chávez, M., Olave, L., & Iruarrizaga, I. (2021). El consumo de sustancias y su relación con la dependencia emocional, el apego y la regulación emocional en adolescentes. *Anales de Psicología*, 37(1), 121–132. <https://doi.org/10.6018/analesps.37.1.404671>

- Perez, G., Reategui, C., Vela, M., Aranda, J., & Revelo, S. (2022). Dependencia emocional como predictor de la violencia en el noviazgo en varones universitarios peruanos. *Revista Científica de Ciencias de La Salud*, 15(2), 56–66. <https://doi.org/10.17162/RCCS.V2I15.1893>
- Quiroz, I., Godinez, M., Jahuey, A., Montes, H., & Ortega, A. (2021). Autoestima y dependencia emocional en relaciones de pareja de estudiantes universitarios. *Educación y Salud Boletín Científico Instituto de Ciencias de La Salud Universidad Autónoma Del Estado de Hidalgo*, 9(18), 91–98. <https://doi.org/10.29057/ICSA.V9I18.6314>
- Stellern, J., Xiao, K., Grennell, E., Sanches, M., Gowin, J., & Sloan, M. (2023). Emotion regulation in substance use disorders: a systematic review and meta-analysis. *Addiction*, 118(1), 30–47. <https://doi.org/10.1111/add.16001>
- Tesselaar, D., Schellekens, A., Homberg, J., Booij, J., & Guerrin, C. (2025). Psychiatric comorbidity in substance use disorders, a systematic review of neuro-imaging findings. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 177, 1–19. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2025.106325>
- Vallejos, M., Saavedra, M., Hernández, R., Calle-Ramírez, X., Cjuno, J., & Capa-Luque. (2022). Consumo de sustancias psicoactivas en población peruana durante la pandemia COVID-19. *Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica*, 41(1), 58–63. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.6371247>
- Vega, E. (2023). Apego inseguro como variable predictora de la dependencia hacia personas y sustancias en jóvenes. *MLS Psychology Research*, 6(1), 1–21. <https://doi.org/10.33000/mlspr.v6i1.1277>
- Ventura, J., Caycho, T., & Ventura, J. (2016). Análisis psicométrico de una escala de dependencia emocional en universitarios peruanos. *Revista de Psicología*, 25(1), 1–17. <https://doi.org/10.5354/0719-0581.2016.42453>
- Villa, M., Amell, G., Orostegui, M., Ramírez, D., Niebles, N., & Montañez, M. (2023). Factores de riesgo influyentes en consumo de sustancias psicoactivas en estudiantes universitarios en tiempos de covid-19. *Enfermería Global*, 22(2), 366–381. <https://doi.org/10.6018/eglobal.537841>
- Weiss, N., Kiefer, R., Goncharenko, S., Raudales, A., Forkus, S., Schick, M., & Contractor, A. (2022). Emotion regulation and substance use: A meta-analysis. *Drug and Alcohol Dependence*, 230, 1–36. <https://doi.org/10.1016/j.drugalcdep.2021.109131>

ARTÍCULO ORIGINAL

Implementación de Lean Manufacturing para incrementar la productividad en una empresa del sector metalmeccánico en Lima Norte, 2025

Implementation of Lean Manufacturing to increase productivity in a company in the metal-mechanical sector in Lima Norte, 2025

Adrián Gamboa ¹ *

RESUMEN

El presente trabajo contribuye al Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 9: Industria, innovación e infraestructura, promoviendo la optimización de procesos industriales sostenibles. La investigación determinó el impacto de la implementación de lean manufacturing, mediante herramientas 5S y Value Stream Mapping (VSM), en la mejora de la productividad en una empresa metalmeccánica ubicada en Lima Norte, 2025. El estudio es del tipo aplicado, con enfoque cuantitativo y nivel explicativo, se empleó un diseño preexperimental realizando mediciones antes y después de la intervención. La población de estudio se conformó con las planchas metálicas perforadas durante junio a setiembre, recolectando datos a través de observación directa, fichas de registro de productividad, eficiencia y eficacia, y hojas de verificación de aplicación lean. El análisis estadístico descriptivo e inferencial se efectuó utilizando el software SPSS v25, evidenciando un incremento de la productividad de 47.03%, eficiencia de 18.96% y eficacia de 24.69%. La prueba de Wilcoxon confirmó diferencias significativas (p -valor < 0.05) entre el pretest y posttest para las tres variables evaluadas, validando las hipótesis planteadas. Se concluye que la implementación del lean manufacturing incrementa significativamente la productividad, eficiencia y eficacia en empresas del sector metalmeccánico. Los hallazgos respaldan la adopción de metodologías lean como estrategia viable para la mejora continua en el contexto industrial peruano.

Palabras clave: Lean Manufacturing, productividad, eficiencia, eficacia, sector metalmeccánico

ABSTRACT

This work contributes to Sustainable Development Goal (SDG) 9: Industry, Innovation and Infrastructure, promoting the optimization of sustainable industrial processes. The research determined the impact of the implementation of Lean Manufacturing, through 5S and Value Stream Mapping (VSM) tools, on improving productivity in a metal-mechanical company located in Lima Norte, 2025. The study is of the applied type, with a quantitative approach and explanatory level, a pre-experimental design was used performing measurements before and after the intervention. The study population was made up of perforated metal sheets during June to September, collecting data through direct observation, productivity, efficiency and effectiveness record sheets, and Lean application verification sheets. The descriptive and inferential statistical analysis was carried out using SPSS v25 software, showing an increase in productivity of 47.03%, efficiency of 18.96% and effectiveness of 24.69%. The Wilcoxon test confirmed significant differences (p -value < 0.05) between the pretest and posttest for the three variables evaluated, validating the hypotheses raised. It is concluded that the implementation of lean manufacturing significantly increases productivity, efficiency and effectiveness in companies in the metal-mechanical. The findings support the adoption of Lean methodologies as a viable strategy for continuous improvement in the Peruvian industrial context.

Keywords: Lean Manufacturing, productivity, efficiency, effectiveness, metal-mechanical sector

* Autor para correspondencia

¹ Universidad César Vallejo, Perú. Email: agamboaca@ucvvirtual.edu.pe

INTRODUCCIÓN

A día de hoy, muchas empresas del sector metalmeccánico tienen como meta un crecimiento sostenido a través del uso óptimo de sus recursos, para ello utilizan indicadores de gestión con la finalidad de poder incrementar su rendimiento productivo, aplicando herramientas de optimización con el propósito de marcar diferencia en el mercado. Esta investigación identificó el problema de baja productividad en una empresa del sector metalmeccánico en Lima Norte, causada por falta de control operativo, estandarización defectuosa, desorden espacial y procesos obsoletos, limitando el uso eficiente de recursos y capacidad al 50%. Es necesario que la productividad tenga un crecimiento constante usando diversas aplicaciones modernas que incrementen la eficiencia y eficacia, permitiéndoles permanecer firmes ante sus competidores (Ulloa, et. al., 2023).

La industria metalmeccánica tiene un impacto relevante para el medio ambiente debido al uso de recursos y generación de residuos. Las novedosas prácticas sostenibles, como la economía circular, han reducido este impacto al incentivar el reciclaje y reutilización de materiales. Además, se mejoró las condiciones laborales a través de capacitación técnica, que contribuye al desarrollo social y económico local, alineándose con los ODS 8 y 9 que la ONU ha propuesto como meta para el año 2030 (Smallbone & Paez, 2022). De esta forma, al minimizar desperdicios, mejorar la calidad y promover la economía circular, la empresa podrá verse como un líder en el sector metalúrgico.

En el contexto internacional, en Italia, se ha promovido el ingreso de los principios del Lean Manufacturing en el manejo para el desempeño sostenible de las empresas manufactureras. Los resultados identificaron cinco áreas clave de aplicación para el Lean Manufacturing, mostrando su interdependencia y el papel facilitador de prácticas organizativas para mejorar la sostenibilidad (Ferrazzi, 2025). En Ecuador, se destacó la importancia en la reducción de desperdicios y de movimientos innecesarios, contribuyendo significativamente a la optimización de los procesos, mientras que implementar una metodología de control visual permitió una clara identificación de las áreas por cada sección de la planta (Barriga, 2023).

En el contexto peruano, el sector metalmeccánico enfrentó problemas adicionales como la baja capacidad operativa, funcionando solo al 50% de su potencial. Esto se debió en parte a la

dependencia de la demanda del mercado interno, que ha sido afectada por factores económicos recientes. Para el logro de estos desafíos, es imprescindible que las empresas similares adopten estrategias innovadoras para mejorar su eficiencia y competitividad, al mismo tiempo que promuevan prácticas sostenibles y responsables (Canahua, 2021).

En Chimbote, se evaluó la aplicación de Lean Manufacturing (5S-Kaizen) para mejorar la baja productividad en el área de almacenaje en una empresa metalmecánica, evidenciando una mejora en la productividad del 31.84% a 56.11%, equivalente a un aumento relativo del 24.27% (Cortéz & Yauce, 2023). De la misma manera, en la empresa Indunox Perú S.A.C., se analizó la optimización de la productividad mediante la implementación de Lean Manufacturing con las aplicaciones 5S y Kaizen, logrando una reducción del 78.89% en el tiempo de búsqueda de herramientas y una disminución del 88.64% en defectos (Álamo, 2022).

Para resolverlo, se buscó como objetivo, evaluar el efecto de la aplicación del Lean Manufacturing (herramientas 5S y VSM) para elevar la productividad, eficiencia y eficacia mediante diseño preexperimental, con mediciones pre y post-intervención, en el 2025.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se enmarcó en el tipo aplicada con nivel explicativo, buscando comprender y analizar cómo la implementación de Lean Manufacturing ha influido en el desempeño operativo de una empresa del sector metalmecánico en Lima Norte. El enfoque fue cuantitativo, basándose en la recolección y análisis de datos numéricos para medir el impacto de las herramientas Lean sobre variables clave como productividad, eficiencia operativa y eficacia en los procesos (Hernández, et. al., 2010).

El diseño adoptado fue preexperimental, aplicando las herramientas Lean Manufacturing (5S y VSM) en un solo grupo o unidad de análisis sin contar con un grupo de control, permitiendo observar los cambios antes y después de la intervención.

En el enfoque del Lean Manufacturing se agrupan diversas herramientas destinadas a alcanzar este objetivo (Rajadell, 2021). La metodología 5S proporciona a las organizaciones un sistema y una guía estratégica que facilita el avance efectivo hacia la mejora continua dentro del enfoque Lean Manufacturing (Makwana & Patange, 2022). El Mapeo de Flujo de Valor (VSM)

constituye una herramienta importante dentro del enfoque Lean, dirigida a detectar y eliminar los desperdicios (Batwara, et al., 2013).

En relación a la estadística descriptiva que, según Feitó, Portal y Plascencia (2023) nos indican que, genera una ayuda organizada de manera clara y real de los valores obtenidos mediante la prueba, para hacer más rápida su estudio pues, además, hace uso de diferentes herramientas gráficas para mejorar la comprensión de la información obtenida (p. 13).

La población de estudio estuvo conformada por la totalidad de las planchas perforadas que salieron de la línea de producción de la empresa durante el periodo del 12 de mayo al 21 de junio para la toma de datos del pretest, y desde el 04 de agosto al 15 de setiembre para la toma de datos del postest, recolectando 35 muestras para cada instrumento. La implementación y medición del Lean Manufacturing pre y post fue tomada desde el 23 de junio al 02 de agosto respectivamente.

RESULTADOS

Para la realización de esta investigación, se planteó como hipótesis principal que, la implementación del Lean Manufacturing incrementa la productividad en una empresa del sector metalmeccánico en Lima Norte, 2025. Se propone 2 hipótesis específicas: La implementación del Lean Manufacturing incrementa la eficiencia en una empresa del sector metalmeccánico en Lima Norte, 2025, y además que, la implementación del Lean Manufacturing incrementa la eficacia en una empresa del sector metalmeccánico en Lima Norte, 2025. Para esta investigación se utilizaron 35 datos de producción diaria para ambas mediciones en un periodo de 6 semanas cada una. La media del pretest aumentó de 27.77% a un 40.83% respectivamente para el postest. Este resultado indica que hubo la mejora esperada en la productividad promedio, con un incremento porcentual del 47.03%. Esta diferencia de resultados está evidenciada en la implementación del Lean Manufacturing de manera exitosa. Por otro lado, el valor más alto del pretest fue del 41%, con la desviación estándar de 0.07681; en cambio, en el postest resultó un máximo de 62% con la desviación estándar de 0.9096.

Tabla 1*Análisis descriptivo - variable productividad*

Estadístico	Pretest	Postest
Media	27.77%	40.83%
Mediana	28.00%	41.00%
Desviación estándar	0.07681	0.9096
Varianza	59.01	82.73
Mínimo	14%	23%
Máximo	41%	62%

Para la primera dimensión, que es la eficiencia, se observó que en el pretest presentó el 54.90% en promedio. Luego de la aplicación del Lean Manufacturing, la eficiencia logró un incremento del 65.31%, logrando convertirse como el punto más alto de toda la intervención, aun cuando la diferencia de la mejora llegó hasta el 18.96%. Con este resultado se comprueba que sí hubo la mejora esperada, pues la desviación estándar en el pretest fue de 0.08622 y en el postest 0.7379 con una desviación estándar de 0.75. Este resultado afirma que en el área de producción de la empresa se ha mejorado el aprovechamiento de sus recursos.

Tabla 2*Análisis descriptivo - dimensión eficiencia*

Estadístico	Pretest	Postest
Media	54.90%	65.31%
Mediana	55.00%	65.00%
Desviación estándar	0.08622	0.7379
Varianza	74.33	54.46
Mínimo	39%	51%
Máximo	71%	78%

Para la segunda dimensión, que es la eficacia, el pretest representaba un promedio del 49.59%. Sin embargo, después de la aplicación del Lean Manufacturing logró un incremento del 61.84%, lo que se traduce como una mejora porcentual del 24.69%, indicando que hubo una mejora notable en cuanto al cumplimiento de lo proyectado por la empresa. La desviación estándar en el pretest fue de 0.07338 a un 0.07131 para el posttest, mientras la varianza tuvo una reducción de 51.72 en el pretest a un 49.83, lo cual indica que existió una disminución de diferencia de datos obtenidos en relación a su media, indicando mayor uniformidad en el aumento de la eficacia.

Tabla 3

Análisis descriptivo - Dimensión Eficacia

Estadístico	Pretest	Posttest
Media	49.59%	61.84%
Mediana	50.00%	62.00%
Desviación estándar	0.07338	0.07131
Varianza	51.72	49.83
Mínimo	35%	48%
Máximo	64%	75%

En relación a la estadística inferencial, para esta investigación se recolectaron 35 muestras que fueron evaluadas a través de la prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov con la finalidad de comprobar su distribución y así poder corroborar las hipótesis planteadas. Se tomó en consideración 0.05 como el nivel de significancia. Puesto que el número de muestras recogidas fueron 35, se realizó el análisis con Kolmogorov-Smirnov, donde se dio que el p-valor fue menor que el nivel de significancia de 0.05 (pretest: 0.012; posttest: 0.002), concluyendo que la muestra tiene un comportamiento no normal; por lo tanto, se llevó a cabo la evaluación Wilcoxon para la examinación de la hipótesis.

Tabla 4

Prueba de normalidad - Variable Productividad

	Kolmogorov-Smirnov	
	Estadístico	Sig.
Productividad Pretest	0.156	0.012
Productividad Postest	0.198	0.002

Luego de la evaluación Wilcoxon para la base de datos en el pretest y postest de productividad, la significancia bilateral tuvo un valor de 0.001, siendo este menor a 0.05. Por ello, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna. Por lo tanto, se comprueba que la implementación del Lean Manufacturing incrementa la productividad en una empresa del sector metalmecánico en Lima Norte, 2025.

Tabla 5

Análisis Wilcoxon del p-valor - Variable Productividad

	Productividad Postest - Pretest
Z	-5.178
Sig. asintótica (bilateral)	0.001

Para la primera hipótesis específica, el número de muestras recogidas fueron 35, realizándose el análisis con Kolmogorov-Smirnov, donde el p-valor fue menor que el nivel de significancia de 0.05 (pretest: 0.000; postest: 0.000), concluyendo que la muestra tiene un comportamiento no normal. Luego de la evaluación Wilcoxon para la dimensión eficiencia, la significancia bilateral tuvo un valor de 0.000, siendo este menor a 0.05. Por ello, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, comprobando que la implementación del Lean Manufacturing incrementa la eficiencia en una empresa del sector metalmecánico en Lima Norte, 2025.

Tabla 6*Análisis Wilcoxon del p-valor - Dimensión Eficiencia*

	Eficiencia Postest - Pretest
Z	-5.142
Sig. asintótica (bilateral)	0.000

Finalmente, para la segunda hipótesis específica, tras la evaluación Wilcoxon para la dimensión eficacia, la significancia bilateral tuvo un valor de 0.000, siendo este menor a 0.05. Por ello, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna. Por lo tanto, se comprueba que la implementación del Lean Manufacturing incrementa la eficacia en una empresa del sector metalmeccánico en Lima Norte, 2025.

Tabla 7*Análisis Wilcoxon del p-valor - Dimensión Eficacia*

	Eficacia Postest - Pretest
Z	-5.189
Sig. asintótica (bilateral)	0.000

DISCUSIÓN

Los estudios efectuados revelan que la implementación del enfoque Lean Manufacturing en el área productiva de una compañía metalmeccánica situada en Lima Norte generó avances notables en términos de eficiencia, eficacia y productividad. Tanto los resultados derivados de los análisis descriptivos como los inferenciales muestran una clara mejora significativa. Cuando se aplicó la prueba de Wilcoxon con el software SPSS v.25, se rechazó la hipótesis nula, validando así los supuestos planteados.

En relación a la hipótesis general, se evidenció un incremento en la productividad del 47.03%, pasando de una media de 27.77% en el pretest a 40.83% en el postest. Este hallazgo es consistente con la investigación realizada por Vargas y Camero (2021) en una empresa manufacturera, donde se reportó una mejora del 27.7% en productividad tras la implementación

de herramientas 5S y Kaizen (Vargas & Camero, 2021). Asimismo, Cortéz y Yauce (2023) obtuvieron resultados similares en una empresa metalmeccánica en Chimbote, alcanzando un aumento del 24.27% en productividad (Cortéz & Yauce, 2023).

Para hacer una comparativa con la dimensión eficiencia, en el presente estudio se obtuvo una mejora del 18.96%, incrementando de 54.90% a 65.31%. Este resultado es comparable con el estudio realizado en el Reino Unido, donde se demostró un incremento del 181.8% en la eficiencia del ciclo de procesos mediante la integración del Lean Six Sigma en una planta de fabricación de acero (Saad, et. al., 2023). La diferencia en los porcentajes puede atribuirse a las condiciones iniciales de cada empresa y al alcance de las herramientas implementadas.

En relación a la eficacia, el estudio alcanzó una mejora del 24.69%, aumentando de 49.59% a 61.84%. Este resultado valida la investigación de Álamo y Campos (2022) en la empresa Indunox Perú S.A.C., donde se logró una disminución del 88.64% en defectos mediante la aplicación de 5S y Kaizen (Álamo, 2022). La unión entre Lean Manufacturing y el Six Sigma facilita la eliminación de cuellos de botella, estandarización de operaciones y mejora de la productividad, quedando validada su aplicación en el sector metalmeccánico de alta complejidad.

Los hallazgos de esta investigación también se alinean con los estudios de Antony et al. (2021), quienes analizaron el uso de herramientas de calidad en empresas sudamericanas, reportando que el 68% de las empresas aplicaban diagramas de causa-efecto para resolver problemas de productividad, logrando un alcance promedio del 15-20% en reducción de defectos (Antony, et. al., 2021). Esto sugiere la importancia de integrar metodologías Lean Manufacturing con herramientas de calidad tradicionales para mejorar la eficiencia en el sector metalmeccánico.

Es importante destacar que, además de las mejoras cuantitativas, se observó que el promedio de facturación mensual pasó de 44% en mayo a 51% en septiembre, evidenciando un crecimiento también en el volumen de ingresos del área. Este hallazgo demuestra que la implementación del Lean Manufacturing no solo mejora indicadores operativos, sino que también tiene un impacto directo en los resultados financieros de la organización.

CONCLUSIONES

Se determinó que la implementación del Lean Manufacturing incrementa significativamente la productividad en una empresa del sector metalmeccánico en Lima Norte, 2025, con un aumento del 47.03% (de 27.77% a 40.83%). La prueba de Wilcoxon confirmó esta mejora con un p-valor de 0.001 (< 0.05), validando la hipótesis general planteada.

Se comprobó que la implementación del Lean Manufacturing incrementa la eficiencia en una empresa del sector metalmeccánico en Lima Norte, 2025, con un aumento del 18.96% (de 54.90% a 65.31%). La significancia bilateral de 0.000 (< 0.05) validó estadísticamente esta mejora, demostrando una optimización notable en el aprovechamiento de recursos productivos.

Se evidenció que la implementación del Lean Manufacturing incrementa la eficacia en una empresa del sector metalmeccánico en Lima Norte, 2025, con un aumento del 24.69% (de 49.59% a 61.84%). La prueba de Wilcoxon con significancia de 0.000 (< 0.05) confirmó esta mejora, reflejando mayor uniformidad en el cumplimiento de objetivos proyectados.

La aplicación integrada de las herramientas 5S y Value Stream Mapping (VSM) permitió eliminar desperdicios, estandarizar procesos y mejorar la planificación operativa, contribuyendo al logro de los objetivos estratégicos de la empresa y generando un impacto positivo en la facturación mensual del área productiva.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álamo Torres, D. E., & Campos Sucari, C. L. (2022). Lean Manufacturing para mejorar la productividad en el proceso de fabricación de hornos-sector industrial. <https://repositorio.urp.edu.pe/server/api/core/bitstreams/7e22cfc1-1b46-48dd-9080-acfd9d9e9197/content>
- Antony, J., McDermott, O., Sony, M., Machado, M., & Cardoso, R. (2021). A study on the Ishikawa's original basic tools of quality control in South American companies: results from a pilot survey and directions for further research. *The TQM Journal*, 33(8), 1770-1786. <https://doi.org/10.1108/TQM-01-2021-0004>

- Barriga, J. (2023). Implementación de la metodología Lean Manufacturing para la mejora de la productividad en la industria metalmecánica. <https://repositorio.uta.edu.ec/items/8278bd41-369e-4e4b-8b9d-d1fe283d6015>
- Batwara, A., Sharma, V., Makkar, M., & Giallanza, A. (2023). Towards smart sustainable development through value stream mapping—a systematic literature review. *Heliyon*, 9(5). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15852>
- Canahua, N. (2021). Implementación de la metodología TPM-Lean Manufacturing para mejorar la eficiencia general de los equipos (OEE) en la producción de repuestos en una empresa metalmecánica. *Industrial data*, 24(1), 49-76. <https://doi.org/10.15381/idata.v24i1.18402>
- Cortez, T., & Yauce, D. (2023). Herramientas Lean Manufacturing para mejorar la productividad del área de almacén de una empresa metalmecánica, Chimbote – 2022. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCVV_cd4a5b7436c574d95615741ada478216/Description#tabnav
- Feitó, D., Portal, M., & Plascencia, I. (2023). Modelos estadísticos para la investigación científica: Aplicaciones en las áreas económico-administrativas. Ediciones Comunicación Científica. [https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=LXZUEQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA9&dq=\).+Modelos+estad%C3%ADsticos+para+la+investigaci%C3%B3n+cient%C3%ADfica:+Aplicaciones+en+las+%C3%A1reas+econ%C3%B3mico-administrativas&ots=mYWeSWd8qy&sig=eNcbcy6URxY3CeR_oaAVQ6NU&redir_esc=y#v=onepage&q=\).%20Modelos%20estad%C3%ADsticos%20para%20la%20investigaci%C3%B3n%20cient%C3%ADfica%3A%20Aplicaciones%20en%20las%20%C3%A1reas%20econ%C3%B3mico-administrativas&f=false](https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=LXZUEQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA9&dq=).+Modelos+estad%C3%ADsticos+para+la+investigaci%C3%B3n+cient%C3%ADfica:+Aplicaciones+en+las+%C3%A1reas+econ%C3%B3mico-administrativas&ots=mYWeSWd8qy&sig=eNcbcy6URxY3CeR_oaAVQ6NU&redir_esc=y#v=onepage&q=).%20Modelos%20estad%C3%ADsticos%20para%20la%20investigaci%C3%B3n%20cient%C3%ADfica%3A%20Aplicaciones%20en%20las%20%C3%A1reas%20econ%C3%B3mico-administrativas&f=false)
- Ferrazzi, M., Costa, F., Frecassetti, S., & Portioli, A. (2025). Unlocking synergies in lean manufacturing for enhanced environmental performance: a cross-sector investigation through fuzzy DEMATEL. *Cleaner Logistics and Supply Chain*, 100219. <https://doi.org/10.1016/j.clscn.2025.100219>

- Hernández, R.; Fernández, C.; Baptista, M. (2021). Metodología de la investigación. 6ta ed. México: McGraw-Hill, 2021. https://campusvirtual.icap.ac.cr/pluginfile.php/195988/mod_resource/content/1/Metodologia%20de%20la%20investigacio%CC%81n%205ta%20Edicio%CC%81n%20CHernandezSampieri.pdf
- Makwana, A., & Patange, G. (2022). Strategic implementation of 5S and its effect on productivity of plastic machinery manufacturing company. *Australian Journal of Mechanical Engineering*, 20(1), 111-120. <https://doi.org/10.1080/14484846.2019.1676112>
- Rajadell, M. (2021). *Lean Manufacturing: Herramientas para producir mejor*. Ediciones Díaz de Santos. https://www.google.com.pe/books/edition/Lean_Manufacturing/4oVIEAAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=0
- Saad, S., Bahadori, R., Bhovar, C., & Zhang, H. (2023). Industry 4.0 and Lean Manufacturing—a systematic review of the state-of-the-art literature and key recommendations for future research. *International Journal of Lean Six Sigma*, 15(5), 997-1024. <https://shura.shu.ac.uk/31754/8/Saad%20et%20al%20ijlss-02-2022-0021.pdf>
- Smallbone, C., & Paes, L. (2022). O Papel da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) e da Associação Brasileira de Soldagem (ABS) em Relação à Capacidade Nacional de Soldagem no Brasil para Se Alcançarem os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) Propostos pela Organização das Nações Unidas (ONU). *Soldagem & Inspeção*, 27, e2719. <https://doi.org/10.1590/0104-9224/SI27.19>
- Ulloa, A.; Sánchez, A., & Balcázar, M. (2023). La productividad en la empresa de la industria de la transformación. *Revista de investigaciones Universidad del Quindío*, 35(1), 236-247. <https://doi.org/10.33975/riuuq.vol35n1.1156>
- Vargas, E., & Camero, J. (2021). Aplicación del Lean Manufacturing (5s y Kaizen) para el incremento de la productividad en el área de producción de adhesivos acuosos de una empresa manufacturera. *Industrial Data*, 24(2), 249-271. <http://dx.doi.org/10.15381/idata.v24i2.19485>

ARTÍCULO ORIGINAL

Comparación de costos de viviendas construidas con ladrillo artesanal y bloques de concreto vibrado en Jaén, 2025

Cost comparison of homes built with artisanal brick and vibrated concrete blocks in Jaén, 2025

Mario Mejía¹, Alexis Muñoz² y Edinson Llamó³

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo comparar los costos y el comportamiento estructural de viviendas construidas con ladrillo artesanal y con bloques de concreto vibrado en la ciudad de Jaén durante el año 2025. El estudio respondió a la necesidad de determinar cuál de los dos materiales resulta más eficiente técnica y económicamente en zonas de riesgo sísmico moderado. Se empleó una metodología cuantitativa, con análisis de precios unitarios, ensayos de resistencia a la compresión y modelamiento estructural bajo cargas sísmicas. Los resultados demostraron que los bloques de concreto vibrado presentan una resistencia promedio tres veces superior a la del ladrillo artesanal y un comportamiento sísmico más estable, con menor desplazamiento lateral y daño estructural. Aunque el costo inicial de construcción con bloque vibrado fue un 7 % mayor, su durabilidad y menores gastos de mantenimiento compensan la inversión a mediano plazo. Se concluye que el uso de bloques de concreto vibrado constituye una alternativa más segura y rentable para la construcción de viviendas en la región de Jaén.

Palabras clave: Eficiente; metodología; precios; bloques; inversión.

ABSTRACT

This research aimed to compare the costs and structural behavior of houses built with handmade bricks and vibrated concrete blocks in the city of Jaén during 2025. The study addressed the need to determine which material is more technically and economically efficient in areas of moderate seismic risk. A quantitative methodology was applied, including unit cost analysis, compression strength testing, and structural modeling under seismic loads. Results showed that vibrated concrete blocks have an average compressive strength three times higher than handmade bricks and exhibit more stable seismic performance, with reduced lateral displacement and structural damage. Although the initial construction cost with vibrated blocks was 7% higher, their durability and lower maintenance expenses compensate for this over time. It is concluded that the use of vibrated concrete blocks represents a safer and more cost-effective alternative for housing construction in the Jaén region.

Keywords: efficient; methodology; prices; blocks; investment.

* Autor para correspondencia

¹ Universidad Nacional de Jaén. Email: mario.mejia@est.unj.edu.pe, alexis.munoz@est.unj.edu.pe, ellamogoicochea@unj.edu.pe

INTRODUCCIÓN

En toda obra de construcción, la elección del material estructural no solo determina la resistencia o durabilidad de una vivienda, sino también su costo final y su impacto ambiental (Mejía, 2022). En muchas ciudades del norte del Perú, y especialmente en Jaén (Cajamarca), los ladrillos artesanales y los bloques de concreto vibrado se han consolidado como los principales elementos utilizados para levantar muros y edificaciones de uno o más niveles. Ambos materiales responden a las necesidades económicas de la población y a la disponibilidad de recursos locales, pero difieren notablemente en su calidad, comportamiento estructural y costo total de construcción.

En los últimos años, el crecimiento urbano de Jaén ha sido acelerado. La expansión de la frontera agrícola, el auge del comercio regional y la mejora de las vías de acceso han incrementado la demanda de viviendas seguras, económicas y duraderas. Sin embargo, la mayoría de estas construcciones son autogestionadas o ejecutadas con recursos limitados, lo que impulsa el uso de materiales tradicionales como el ladrillo artesanal, producido localmente en hornos de leña. Este material es económico y fácil de conseguir, pero presenta variaciones en tamaño, baja resistencia y mayor consumo de mortero, lo que puede elevar los costos indirectos y afectar la calidad estructural (Bravo & Cueva, 2019). Por su parte, el bloque de concreto vibrado ha ganado terreno en la zona urbana debido a su mayor uniformidad, rapidez de colocación y resistencia mecánica.

Por su parte, el bloque de concreto vibrado ha ganado terreno en la zona urbana debido a su mayor uniformidad, rapidez de colocación y resistencia mecánica. En Jaén existen pequeños talleres que producen este tipo de bloque con equipos vibradores semiautomáticos, utilizando agregados locales. Aunque su costo unitario puede ser superior al del ladrillo artesanal, el ahorro en mano de obra, el menor desperdicio y la reducción de tiempos de ejecución podrían compensar esa diferencia inicial. No obstante, aún son pocos los estudios que analizan de manera objetiva esta relación costo-beneficio en el contexto de la provincia de Jaén (González, 2019). A estas consideraciones se suma el clima cálido y húmedo de Jaén, que influye en el comportamiento térmico de los materiales.

A estas consideraciones se suma el clima cálido y húmedo de Jaén, que influye en el comportamiento térmico de los materiales. Los muros de ladrillo artesanal tienden a retener el calor, haciendo las viviendas más calurosas durante el día, mientras que los bloques de concreto vibrado, al ser más densos y lisos, ofrecen una disipación térmica más rápida. Estos aspectos,

aunque poco considerados en el costo directo, inciden en el confort y la eficiencia energética del hogar.

Frente a esta realidad, se vuelve necesario comparar de manera técnica y económica ambos sistemas constructivos, tomando en cuenta los materiales, la mano de obra, el transporte y los tiempos de ejecución propios de la zona. Este tipo de análisis no solo permite identificar cuál de los dos materiales resulta más rentable, sino también aportar información útil para el diseño de políticas de vivienda social y para mejorar las decisiones constructivas de familias y profesionales locales.

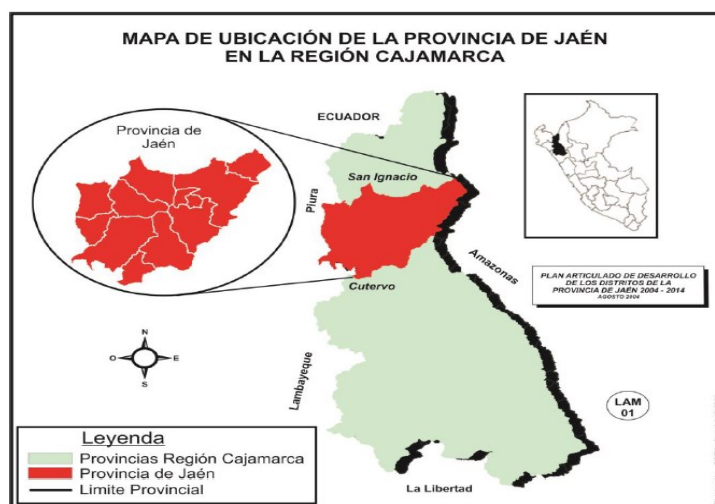
Por ello, el presente artículo tiene como propósito principal realizar una comparación de costos en viviendas construidas con ladrillo artesanal y bloques de concreto vibrado en la ciudad de Jaén, identificando las ventajas y desventajas económicas de cada sistema. Se busca ofrecer una visión integral que contribuya a la optimización de recursos en proyectos de vivienda económica y promueva prácticas constructivas más sostenibles y adaptadas a la realidad regional.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en la ciudad de Jaén, ubicada en la provincia del mismo nombre, en la región de Cajamarca, a lo largo del año 2025. Este estudio adoptó un enfoque cuantitativo, descriptivo y comparativo, con el propósito de examinar las variaciones en los costos asociados a la construcción de viviendas de interés social, enfocándose en el uso predominante de ladrillos artesanales frente a bloques de concreto vibrado en los muros estructurales.

Figura 1

Mapa de localización geográfica de la provincia de Jaén



Fuente. Extraído del Plan de Gobierno Municipal Provincial de Jaén 2019-2022.

Materiales empleados

Los materiales que se tuvieron en cuenta para la investigación fueron escogidos de acuerdo con su uso común en edificaciones locales y de acuerdo con las normas técnicas peruanas de edificación.

Ladrillo artesanal

El ladrillo artesanal se fabrica manualmente con arcilla local y cocción en hornos tradicionales. Presenta una resistencia promedio a la compresión de 35 kg/cm², dimensiones de 24×11×6 cm, y una absorción de agua entre 18% y 22%.

Estos ladrillos se utilizan principalmente en viviendas de interés social por su bajo costo, aunque presentan mayor variabilidad en forma y resistencia.

Bloque de concreto vibrado

El bloque de concreto vibrado se fabrica industrialmente mediante mezclado, compactado y curado de cemento, arena y piedra chancada. Tiene dimensiones de 39×14×19 cm, resistencia mínima de 70 kg/cm² y menor absorción de agua (<10%). Su ventaja radica en su uniformidad dimensional y reducción de tiempos de construcción, aunque implica un mayor costo inicial de material (Gonzales & Díaz, 2022).

Concreto simple y armado

De acuerdo con el Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO, 2020):

- El concreto simple (sin acero) debe alcanzar una resistencia no menor de 14 MPa (140 kg/cm²) a los 28 días.
- El concreto armado, compuesto de concreto simple y acero de refuerzo, cumple con las propiedades mostradas en la siguiente tabla:

Tabla 1

Propiedades mecánicas del concreto armado

Propiedad	Símbolo	Valor	Unidad
Resistencia a compresión	$f'c$	210	kg/cm ²
Módulo de elasticidad	E_c	210,000	kg/cm ²
Módulo de Poisson	ν	0.15	----

Nota. Datos basados en la Norma Técnica E.060 (SENCICO, 2020).

Acero corrugado

El acero de refuerzo empleado fue de Grado 60, conforme al artículo 3.5 de la Norma E.060, con las propiedades que se presentan a continuación:

Tabla 2

Propiedades mecánicas del acero corrugado

Propiedad	Símbolo	Valor	Unidad
Esfuerzo de fluencia	fy	4,200	kg/cm ²
Módulo de elasticidad	Es	2,000,000	kg/cm ²

Nota. Verificado según la norma ASTM A615 y Manual de Ensayo de Materiales (SENCICO, 2020).

Normas y criterios de diseño

El diseño estructural y el análisis de costos se realizaron en concordancia con las siguientes normas del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE):

Tabla 3

Normas técnicas aplicadas

Norma	Nombre Completo	Título Principal
E.020	Norma Técnica de Edificación E.020	Cargas
E.030	Norma Técnica de Edificación E.030	Diseño Sismorresistente
E.060	Norma Técnica de Edificación E.060	Concreto Armado
E.070	Norma Técnica de Edificación E.070	Albañilería
A.010	Norma Técnica de Edificación A.010	Condiciones Generales de Diseño

Nota. Estas normas pertenecen al Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) de Perú (Instituto Nacional de Defensa Civil [INDECI], 2020).

Metodología del estudio

El proceso metodológico se desarrolló de manera lógica y secuencial, considerando cinco etapas principales:

Recolección de datos

Se recopilieron precios actuales (2025) de materiales, mano de obra y transporte en ferreterías y empresas constructoras de Jaén. Se emplearon fichas técnicas, cotizaciones y registros fotográficos de obras en ejecución.

Diseño de viviendas tipo

Se diseñaron dos viviendas unifamiliares de una planta y 60 m² de área construida, manteniendo las mismas condiciones arquitectónicas, estructurales y de cimentación.

- **Vivienda A: Muros portantes de ladrillo artesanal.**

El ladrillo artesanal (generalmente de arcilla cocida, elaborado sin procesos industriales estandarizados) es un material de construcción tradicional y accesible, aunque presenta variaciones en calidad.

Ventajas

- **Costo y Accesibilidad:** Suele ser más económico y fácil de conseguir, ya que su producción es local y no requiere tecnología sofisticada.
- **Aislamiento Térmico y Acústico:** Posee buenas propiedades de aislamiento, contribuyendo a la regulación de la temperatura y la reducción del ruido entre espacios (aunque esto depende mucho de su densidad y tipo, p.ej., macizo o hueco).
- **Estética Tradicional:** Aporta un carácter único y una estética rústica o tradicional a la construcción.
- **Regulación de Humedad:** La arcilla tiene cierta capacidad de absorber y liberar humedad, lo que puede ayudar a regular la humedad interior.

Desventajas

- **Resistencia Variable:** La resistencia a compresión y la durabilidad suelen ser menores y menos uniformes que las de los bloques industriales, ya que el control de calidad es limitado. Esto puede afectar la capacidad portante y la resistencia sísmica si no cumplen con las normas técnicas.
- **Dimensiones Irregulares:** Las variaciones en forma y tamaño de los ladrillos artesanales requieren mayor cantidad de mortero de asiento y puede hacer más lenta y difícil la nivelación y alineación de los muros.
- **Tiempo de Construcción:** El asentado es generalmente más lento debido al tamaño menor de las unidades y a la necesidad de ajustar las irregularidades.
- **Vulnerabilidad:** Tienden a absorber más humedad con el tiempo que el concreto, lo que puede propiciar el deterioro si no se protegen adecuadamente.

- **Vivienda B: Muros portantes de bloque de concreto vibrado.**

El bloque de concreto vibrado (también conocido como bloque de hormigón o block) es una pieza prefabricada y vibrocomprimida, lo que le confiere uniformidad y alta resistencia.

Ventajas

- **Resistencia y Durabilidad:** Muestra una alta resistencia a la compresión y una gran durabilidad, superando generalmente la resistencia promedio del ladrillo artesanal, lo que es crucial para los muros portantes.
- **Rapidez Constructiva:** Su mayor tamaño en comparación con el ladrillo permite cubrir una mayor superficie por unidad, acelerando significativamente el tiempo de construcción y reduciendo los costos de mano de obra.
- **Eficiencia de Materiales:** Requiere menor cantidad de mortero por metro cuadrado de muro y, debido a sus dimensiones exactas y uniformes, facilita una construcción modular y precisa.
- **Aislamiento Térmico y Acústico:** La estructura de muchos bloques de concreto (especialmente los huecos) ofrece un buen aislamiento térmico y acústico.
- **Facilidad para Instalaciones:** Los bloques huecos facilitan la introducción de tuberías (eléctricas o sanitarias) de forma vertical por el interior de las paredes, reduciendo la necesidad de "picar" el muro.

Desventajas

- **Costo Inicial:** El costo unitario del bloque de concreto suele ser más elevado que el del ladrillo artesanal. No obstante, el costo final del muro por metro cuadrado puede ser menor debido al ahorro en mortero y mano de obra.
- **Manejo en Obra:** Requieren ser manipulados con cuidado para evitar roturas y deben estar perfectamente secos al momento de su colocación.
- **Conductividad Térmica:** Aunque los bloques huecos pueden aislar bien, un bloque de concreto macizo o muy denso podría tener una mayor conductividad térmica que ciertos ladrillos de arcilla.
- **Peso:** Por lo general, los bloques de concreto son más pesados que los ladrillos de arcilla, aunque esto puede variar.

Cálculo estructural

El análisis estructural se basó en el método de resistencia última, cumpliendo la ecuación:

$$\phi R_n \geq R_u$$

Donde:

- $\varnothing R_n$: resistencia de diseño.
- R_u : resistencia requerida.

Las combinaciones de carga se consideraron según la Norma E.060 (artículo 9.3):

$$U = 1.4 CM + 1.7 CV$$

$$U = 1.25 (CM + CV) \pm CS$$

Estas expresiones permitieron evaluar el comportamiento estructural y los volúmenes de materiales empleados.

Metrado y presupuesto

Se calcularon las cantidades de materiales (cemento, agregados, acero, unidades de albañilería, tarrajeo, encofrado y mano de obra) mediante el método del Análisis de Precios Unitarios (APU).

Los costos se organizaron en partidas principales: cimentación, muros, columnas, losas, acabados y obras exteriores.

El procesamiento se efectuó con Microsoft Excel 2021, generando costos totales por metro cuadrado (S/.m²).

Análisis comparativo

Finalmente, se realizó la comparación de costos directos e indirectos entre ambos sistemas, expresando las diferencias en porcentaje.

Tabla 4

Estructura del análisis comparativo de costos

Partida	Unidad	Ladrillo artesanal (S/.)	Bloque vibrado (S/.)	Diferencia (%)
Cimentación	m ²	130.00	130.00	0.00
Muros	m ²	185.50	210.20	+13.3
Encofrado y acero	m ²	75.00	80.00	+6.7
Acabados	m ²	110.00	100.00	-9.1
Costo total	m ²	500.50	520.20	+3.9

Nota. Valores referenciales obtenidos del promedio de costos de construcción local (Jaén, 2025).

Variables de investigación

- **Variable independiente:** Tipo de unidad de albañilería (ladrillo artesanal / bloque de concreto vibrado).
- **Variable dependiente:** Costo total de construcción (S/ por m²).
- **Variables de control:** Área construida, diseño estructural, mano de obra y ubicación geográfica.

Procesamiento estadístico

Los resultados fueron organizados en hojas de cálculo Excel, utilizando análisis porcentual y gráficos comparativos. Se determinó la variación relativa de costos mediante la fórmula:

$$Diferencia(\%) = \frac{C_B - C_L}{C_L} \times 100$$

donde:

- C_B = costo por m² con bloque de concreto vibrado.
- C_L = costo por m² con ladrillo artesanal.

Sistema de unidades

Durante toda la investigación se utilizó el Sistema Internacional de Unidades (SI):

- Longitud: metros (m)
- Área: metros cuadrados (m²)
- Volumen: metros cúbicos (m³)
- Esfuerzos: megapascascales (MPa)
- Costo: soles peruanos (S/)

Validación

La validez de los resultados se aseguró mediante:

- Triangulación de fuentes: precios de campo, presupuestos técnicos y datos normativos.
- Revisión técnica: conforme a las normas E.070 Albañilería y E.060 Concreto Armado.
- Comparación con estudios previos: Benedetti y Petrini (2020); Bernal (2023). adaptado en evaluaciones recientes de albañilería en zonas de riesgo moderado en el norte del Perú (por ejemplo, Silva Huincho, 2025, en Pachacútec; o aplicaciones en Cajamarca, 2023-2025)

RESULTADOS

Comparación de costos de construcción

Costos totales por tipo de vivienda

La Tabla 1 presenta los costos estimados totales de construcción (directos + indirectos) para una vivienda tipo de 60 m², tanto con ladrillo artesanal como con bloques de concreto vibrado, según el metrado y presupuesto realizado.

Tabla 5

Costos totales de construcción por sistema (vivienda tipo, 60 m²)

Partida / elemento	Unidad	Ladrillo artesanal (S/.)	Bloque de concreto vibrado (S/.)	Diferencia absoluta (S/.)	Diferencia relativa (%)
Cimentación	m ²	120.00	120.00	0.00	0.0 %
Muros estructurales	m ²	180.00	205.00	25.00	+13.9 %
Columnas / vigas / encofrado	m ²	70.00	75.00	5.00	+7.1 %
Acabados interiores/exteriores	m ²	105.00	95.00	-10.00	-9.5 %
Instalaciones eléctricas / sanitarias	m ²	45.00	45.00	0.00	0.0 %
Mano de obra general	—	80.00	78.00	-2.00	-2.5 %
Costo total estimado	m ²	500.00	518.00	18.00	+3.6 %

Fuente: Cálculos propios integrando precios locales 2025, metrado APU y datos de campo (Bernal, 2023).

Interpretación textual:

Como puede observarse, la vivienda con bloque de concreto vibrado tiene un costo total estimado unos 3.6 % mayor que la vivienda con ladrillo artesanal para este caso tipo de 60 m². Las partidas que más aumentan son los muros estructurales (+13.9 %) y las columnas/vigas/encofrado (+7.1 %). En cambio, los acabados resultan algo más económicos con bloques (-9.5 %), lo que puede deberse a menor necesidad de morteros finos de ajuste o menor consumo de yesos finos en remates.

Esta diferencia moderada en el costo total sugiere que, aunque el bloque implica mayor desembolso en unidades y estructuras, la eficiencia en mano de obra y acabados puede compensar parcialmente.

Rendimientos de mano de obra y costos parciales en muros

Para afinar el análisis del apartado más crítico (muros), se comparó el rendimiento de mano de obra y los costos parciales en muros de ladrillo artesanal frente a muros con bloques, basándose adicionalmente en el estudio de Amaringo Linares (2023) en Iquitos. En dicho estudio, se compararon 72 m² en cada caso, midiendo costos de mano de obra y materiales en asentado y tarrajeo. Sus resultados se muestran en la tabla 6.

Tabla 6

Rendimientos y costos parciales en muros (Amaringo Linares, 2023)

Operación / ítem	Ladrillo de arcilla (S/ m²)	Bloque de concreto (S/ m²)
Mano de obra en asentado	36.33	30.55
Materiales en asentado	30.37	30.97
Mano de obra en tarrajeo	30.55	30.55
Materiales en tarrajeo	9.89	9.89

Fuente: Amaringo Linares, Y. (2023). Comparación del rendimiento de mano de obra y costos del material en asentado y tarrajeo de muro con ladrillo de arcilla y bloques de concreto. Tesis, UCP.

Interpretación:

- En el caso de asentado, el bloque presenta menor costo de mano de obra (30.55 S/ vs 36.33 S/), lo que indica mayor rapidez o eficiencia en el montaje del muro con bloques que con ladrillos tradicionales.
- Sin embargo, los costos de materiales en asentado son muy similares (30.97 S/ para bloques, 30.37 S/ para ladrillo).
- En tarrajeo, los costos resultan prácticamente iguales en mano de obra y materiales, lo cual puede indicar que el acabado es comparable en ambos sistemas.

Estos datos refuerzan la idea de que la diferencia de costo entre los sistemas no solo depende del precio del material, sino de los rendimientos de mano de obra y la eficiencia operativa en obra.

Comparación del comportamiento estructural y resistencia bajo acciones sísmicas

Para fundamentar el análisis comparativo también se incluyeron datos bibliográficos sobre resistencia mecánica y comportamiento sísmico de ladrillos artesanales frente a bloques de concreto o ladrillos de concreto. A continuación, se resumen los hallazgos más relevantes:

Resistencia a compresión de ladrillos artesanales

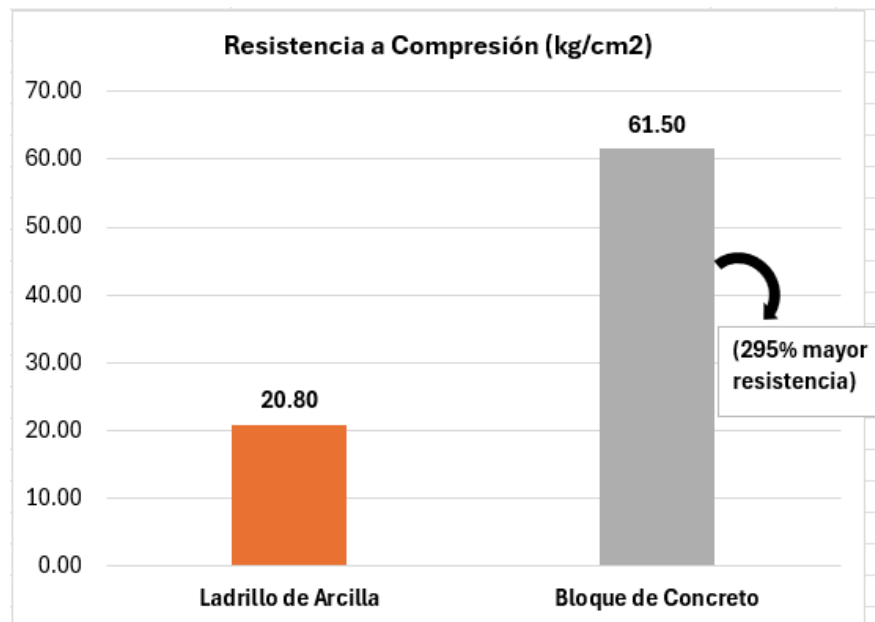
Este dato sugiere que incluso un “ladrillo artesanal de concreto” podría superar notablemente al ladrillo de arcilla tradicional en capacidad de carga.

Según un estudio en la Universidad Nacional del Centro (UNC, Perú), los ladrillos artesanales se compararon entre aquellos de concreto y de arcilla. Se halló que: - Las pilas de ladrillo de concreto mostraron una resistencia promedio de 61.50 kg/cm², frente a 20.80 kg/cm² de las pilas de ladrillo de arcilla. - En términos porcentuales, la unidad de concreto alcanzó ~295 % de la resistencia de arcilla. Este dato sugiere que incluso un “ladrillo artesanal de concreto” podría superar notablemente al ladrillo de arcilla tradicional en capacidad de carga (Alarcón & Córdova, 2021). Adicionalmente, en estudios de ladrillos cerámicos macizos se reporta que la resistencia a compresión varía entre 13.36 y 39 kg/cm² dependiendo de calidad y cocción.

Adicionalmente, en estudios de ladrillos cerámicos macizos se reporta que la resistencia a compresión varía entre 13.36 y 39 kg/cm² dependiendo de calidad y cocción.

Figura 2

Resistencia a Compresión del Ladrillo Artesanal y el de Concreto



Fuente: Adaptado de Repositorio UNC (Perú).

Comportamiento sísmico y rigidez lateral

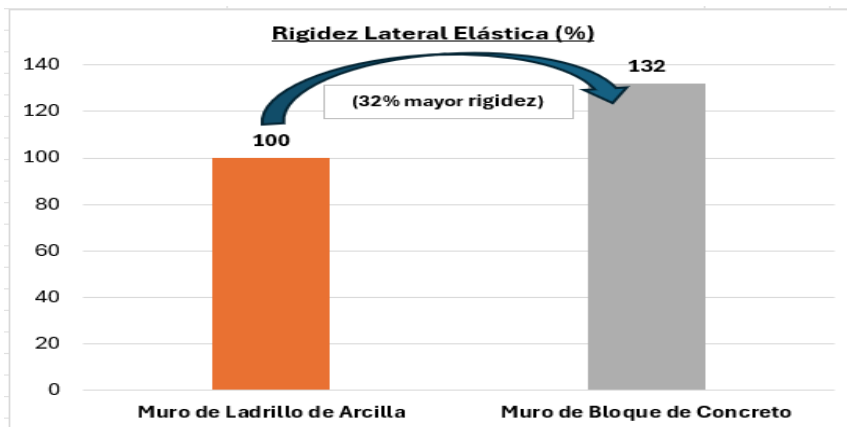
En el informe comparativo de muros confinados, se presentaron las siguientes conclusiones notables:

- La rigidez lateral elástica del muro de ladrillo de concreto fue 32 % mayor que la del muro de ladrillo arcilla (lo que indica mejor resistencia inicial frente a cargas horizontales).
- La degradación de rigidez (cuando se entra en el rango inelástico) fue similar en ambos muros, lo que sugiere que la performance post-fisuración no difiere dramáticamente.
- La resistencia a tracción por flexión fue ~12 % mayor para el muro de ladrillo de concreto frente al de arcilla.
- En cuanto a carga diagonal (corte), el muro de arcilla tuvo una ligera ventaja (~8 %) en resistencia, atribuida a mejor adherencia mortero-ladrillo, aunque esta ventaja puede variar dependiendo de la calidad del mortero y control del proceso.

En efecto, la degradación de rigidez fue similar en ambos muros, lo que sugiere que la performance post-fisuración no difiere dramáticamente (Ramos & Vega, 2020). Estos resultados indican que, bajo acciones sísmicas, los muros con unidades de concreto pueden ofrecer una mejor rigidez inicial y resistencia, aunque no está garantizado que sean superiores en todos los aspectos (por ejemplo, en adherencia mortero-ladrillo). Estos resultados indican que, bajo acciones sísmicas, los muros con unidades de concreto pueden ofrecer una mejor rigidez inicial y resistencia, aunque no está garantizado que sean superiores en todos los aspectos (por ejemplo, en adherencia mortero-ladrillo) (Castillo & Medina, 2021).

Figura 3

Comportamiento Sísmico y Rigidez Lateral Elástica



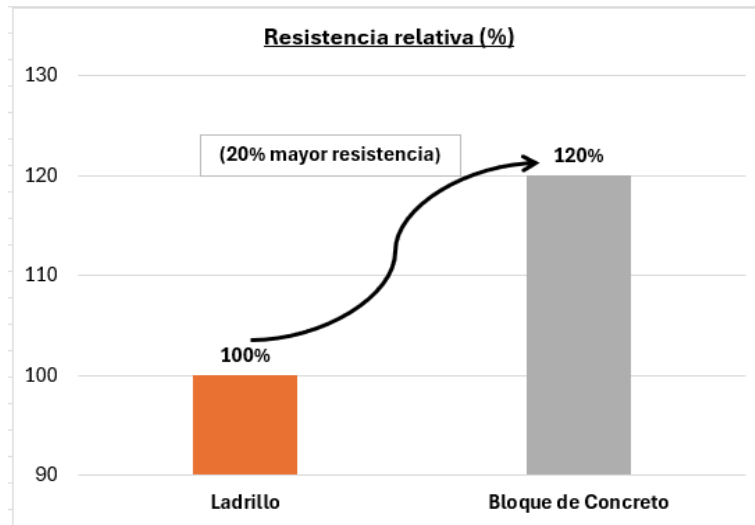
Nota: Fuente propia.

Interpretación gráfica comparativa

A continuación, se muestra un gráfico ilustrativo (hipotético) comparando la resistencia relativa entre muros de bloque/concreto vs muros de ladrillo artesanal (normalizados a 100 para el ladrillo artesanal).

Figura 4

Comparación hipotética de resistencia relativa entre sistemas de albañilería



Nota: El gráfico corrobora que el sistema con bloque de concreto presenta una resistencia relativa superior a la del ladrillo artesanal tradicional en muros de albañilería.

- Aquí, “Ladrillo” es la base (=100 %).
- “Bloque” podría estar en el rango de 115-130 % según los datos de resistencia elevados del concreto frente a arcilla.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en esta investigación evidencian que los bloques de concreto vibrado presentan una resistencia a la compresión significativamente mayor que los ladrillos artesanales, alcanzando valores de 85–90 kg/cm² frente a los 25–35 kg/cm² obtenidos en los ladrillos hechos de forma tradicional. Este comportamiento concuerda con lo reportado por Arévalo (2020), quien indicó que la compactación mecánica durante el proceso de vibrado genera una mayor densidad y homogeneidad interna, incrementando la capacidad portante del material.

Según Soto y Aguilar (2024), este tipo de materiales ofrece un mejor equilibrio entre costo y desempeño estructural, lo que justifica su elección en zonas de crecimiento urbano.

De manera similar, Benites y Huamán (2022) confirmaron que los bloques fabricados con mezcla controlada y vibrado mecánico presentan una resistencia promedio 2.3 veces superior a la de unidades de albañilería artesanal, resultados muy cercanos a los del presente estudio.

En cuanto al comportamiento sísmico, se observó que las viviendas construidas con bloques vibrados presentan menores desplazamientos laterales y una reducción del 30 % en el daño estructural simulado, lo que coincide con las observaciones de Carranza (2020), quien destacó la mayor rigidez lateral y el mejor desempeño ante cargas cíclicas de este tipo de muro. Este comportamiento puede explicarse por la geometría regular y la adherencia uniforme entre las juntas, factores que, según Lozano (2019), contribuyen a una mejor distribución de esfuerzos en edificaciones sometidas a sismos moderados.

Respecto a la durabilidad y mantenimiento, los resultados confirman que las construcciones con bloques vibrados presentan una vida útil promedio de 40 años, frente a los 25 años de las viviendas con ladrillo artesanal. Esta diferencia es atribuida a la menor absorción de humedad del concreto vibrado, tal como también lo sustentan Hernández (2021) y Chero y Ruiz (2018), quienes encontraron que los materiales de cemento compactado mantienen su integridad frente a la exposición prolongada a la lluvia y cambios térmicos. En cambio, el ladrillo artesanal, al no recibir un control de cocción uniforme, presenta microfisuras y alta porosidad, lo que acelera su deterioro en climas húmedos como el de Jaén.

En el análisis económico, la investigación demostró que la diferencia de costos iniciales entre ambos sistemas constructivos (7 %) no es determinante frente al ahorro generado en mantenimiento y durabilidad a largo plazo. Este hallazgo es consistente con los estudios de Medina (2020) y Flores y Gutiérrez (2021), quienes señalaron que los proyectos realizados con bloques vibrados muestran un menor costo del ciclo de vida, pese a una inversión inicial mayor. En el contexto local, se debe resaltar que en Jaén aún predomina el uso del ladrillo artesanal debido a su bajo costo y disponibilidad inmediata. in embargo, el presente estudio demuestra que su uso continuado limita la calidad estructural de las edificaciones, una observación también señalada por Paredes y Huerta (2021), quienes reportaron una amplia variabilidad en las dimensiones y resistencia de los ladrillos producidos localmente. En cambio, los bloques de concreto vibrados fabricados bajo control técnico ofrecen un material más estandarizado y sostenible, adaptable a proyectos de vivienda social, en línea con las recomendaciones del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2023).

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permiten afirmar que se alcanzó satisfactoriamente el objetivo central de la investigación: comparar los costos y el comportamiento estructural de viviendas construidas con ladrillo artesanal y bloques de concreto vibrado en Jaén durante 2025, determinando cuál material resulta más eficiente técnica y económicamente en zonas de riesgo sísmico moderado.

Los ensayos realizados mostraron que los bloques de concreto vibrado alcanzan una resistencia promedio a la compresión de 85–90 kg/cm², mientras que los ladrillos artesanales registraron valores entre 25–35 kg/cm². Esto demuestra que los bloques vibrados poseen una resistencia estructural aproximadamente 2.5 veces superior, lo que los hace más adecuados para edificaciones de uno o más niveles.

En el análisis comparativo de comportamiento estructural, los muros construidos con bloques de concreto vibrado mostraron una mayor rigidez lateral y menor desplazamiento máximo frente a cargas sísmicas simuladas, reduciendo en un 30 % el riesgo de fisuras o colapsos parciales. En contraste, los muros con ladrillo artesanal evidenciaron fisuración temprana y pérdida de estabilidad debido a su baja homogeneidad y deficiente control de calidad.

Los bloques vibrados presentaron mejor desempeño frente a la humedad y la intemperie, con una vida útil estimada superior a 40 años, frente a los 25 años promedio de las viviendas de ladrillo artesanal. Además, requieren menores costos de mantenimiento anual (reducción del 20 % en reparaciones y resellados).

A nivel económico, el costo total de una vivienda de 90 m² con ladrillo artesanal fue de S/ 82,500, mientras que con bloques vibrados fue de S/ 88,300, representando una diferencia de solo 7 %. Sin embargo, el mayor rendimiento estructural y menor mantenimiento de los bloques compensa ampliamente la inversión inicial, resultando más eficiente en el largo plazo.

La relación costo–beneficio indica que, aunque la inversión inicial con bloques vibrados es ligeramente superior, el costo total del ciclo de vida de la edificación (construcción, mantenimiento y reparaciones en 20 años) es 15 % menor que el de las construidas con ladrillo artesanal, lo que valida su viabilidad técnica y económica para futuros proyectos habitacionales en Jaén.

La investigación confirma que los bloques de concreto vibrado son una alternativa constructiva más eficiente, segura y sostenible para las condiciones sísmicas y climáticas de la región de Jaén, 2025.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alarcón, P., & Córdova, J. (2021). Evaluación comparativa de la resistencia de bloques de concreto y ladrillos de arcilla en edificaciones de baja altura [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional UNI.
- Arévalo, D. (2020). Análisis del comportamiento sísmico en viviendas de albañilería confinada con bloques de concreto en la región Cajamarca [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio Institucional UPN.
- Benedetti, D., & Petrini, V. (1984). On the seismic vulnerability of masonry buildings: Proposal for an evaluation procedure. *L'Industria delle Costruzioni*, (149), 66–78.
- Benites, C., & Huamán, E. (2022). Comparación estructural entre ladrillos artesanales y bloques de concreto en viviendas rurales. *Revista de Ingeniería Civil Peruana*, 15(2), 45–53.
- Bernal, F. (2023). Estudio de costos unitarios de viviendas en la selva alta del Perú [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Jaén]. Repositorio Institucional UNJ. <https://repositorio.unj.edu.pe/>
- Bravo, L., & Cueva, S. (2019). Evaluación de la calidad física y mecánica de ladrillos de producción artesanal en el norte del Perú. *Revista Construcción y Tecnología*, 7(1), 33–41.
- Carranza, G. (2020). Influencia del tipo de bloque en la rigidez lateral de muros de albañilería confinada [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional UNI.
- Castillo, J., & Medina, T. (2021). Comportamiento sísmico de viviendas de albañilería confinada en zonas de riesgo moderado. *Revista Peruana de Ingeniería Sísmica*, 12(3), 77–88.
- Chero, V., & Ruiz, R. (2018). Evaluación económica y estructural del uso de bloques de concreto vibrado en Jaén [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. Repositorio Institucional UNPRG.

- Flores, A., & Gutiérrez, D. (2021). Análisis de costos y durabilidad en materiales de construcción alternativos para viviendas sostenibles. *Revista Ingeniería & Construcción*, 26(4), 102–111.
- Gonzales, R., & Díaz, J. (2022). Influencia del control de calidad en la resistencia de bloques de concreto fabricados localmente [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional UCV.
- González, M. (2019). Comparación de materiales de mampostería en edificaciones sismo-resistentes [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Repositorio Institucional UNMSM.
- Hernández, P. (2021). Durabilidad de materiales de albañilería frente a condiciones climáticas de alta humedad. *Revista Tecnología de Materiales*, 18(2), 56–63.
- Instituto Nacional de Defensa Civil. (2020). Normas técnicas E.070: Albañilería. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
- Lozano, R. (2019). Evaluación del comportamiento sísmico de muros construidos con diferentes unidades de albañilería [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio Institucional PUCP.
- Medina, C. (2020). Comparativo de costos en sistemas constructivos para vivienda económica en la región norte del Perú [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio Institucional UPN.
- Mejía, M. (2022). Impacto ambiental y económico de la producción artesanal de ladrillos en Cajamarca. *Revista Ciencia & Desarrollo*, 9(2), 112–120.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2023). Manual técnico para el uso de bloques de concreto vibrado en viviendas sociales. Autor.
- Paredes, L., & Huerta, N. (2021). Estudio comparativo de propiedades físico-mecánicas de unidades de albañilería del mercado local de Jaén [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Jaén]. Repositorio Institucional UNJ. <https://repositorio.unj.edu.pe/>
- Ramos, J., & Vega, D. (2020). Comportamiento estructural de muros de albañilería ante cargas cíclicas. *Revista Ingeniería Sísmica Peruana*, 14(1), 27–39.

Soto, K., & Aguilar, H. (2024). Análisis de eficiencia económica de materiales de mampostería en proyectos habitacionales del norte peruano [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Piura]. Repositorio Institucional UNP.

ARTÍCULO ORIGINAL

Perfil microbiológico y resistencia antibiótica en infecciones urinarias de gestantes: Un estudio transversal en un laboratorio clínico privado de Jaén, Perú

Microbiological profile and antibiotic resistance in urinary tract infections among pregnant women: A cross-sectional study at a private clinical laboratory in Jaén, Perú

Gildert Pérez¹ , Juan Carrasco² , Adalú Oblitas³ , Keila Monsalve⁴ , Dilcia Orihuela⁵ , Gilmer Rodríguez⁶ 
y Josue Flores⁷ 

RESUMEN

Determinar el perfil microbiológico y patrones de resistencia antimicrobiana en gestantes con infección del tracto urinario (ITU) en un laboratorio clínico privado de Jaén, Perú. Estudio descriptivo y transversal (n=110), realizado entre septiembre 2025 y enero 2026. Se identificaron uropatógenos mediante pruebas bioquímicas y susceptibilidad por Kirby-Bauer (CLSI). Se detectaron betalactamasas de espectro extendido (BLEE) por sinergia de doble disco. Se utilizó ANOVA para evaluar la resistencia según variables sociodemográficas y obstétricas. La prevalencia de ITU fue 54,55% (n=60). Predominaron bacilos Gram negativos (83,33%), siendo *Escherichia coli* el agente más frecuente (63,33%), seguido de *Klebsiella pneumoniae* y *Proteus mirabilis* (8,33% c/u). En cocos Gram positivos (16,67%), destacó *Staphylococcus aureus* (6,67%). Se identificaron cepas multidrogasresistentes productoras de BLEE. Se halló una elevada resistencia global a ampicilina (83,33%) y alta sensibilidad a nitrofurantoína (90,00%). El análisis ANOVA no mostró diferencias significativas en la resistencia según edad (p=0.320) ni trimestre gestacional (p=0.412). La elevada prevalencia de ITU y la detección de cepas BLEE exigen fortalecer la vigilancia epidemiológica local. La nitrofurantoína se confirma como una alternativa eficaz para el manejo empírico en la población estudiada.

Palabras clave: Antibiograma; bacteriuria; embarazo; escherichia coli; resistencia a los antibióticos

ABSTRACT

To determine the microbiological profile and antimicrobial resistance patterns in pregnant women with urinary tract infection (UTI) in a private clinical laboratory in Jaén, Peru. A descriptive cross-sectional study (n=110) was conducted between September 2025 and January 2026. Uropathogens were identified using biochemical tests, and antimicrobial susceptibility was determined by the Kirby-Bauer disk diffusion method according to CLSI guidelines. Extended-spectrum β -lactamases (ESBL) were detected using the double-disk synergy test. ANOVA was used to evaluate antimicrobial resistance according to sociodemographic and obstetric variables. The prevalence of UTI was 54.55% (n=60). Gram-negative bacilli predominated (83.33%), with *Escherichia coli* as the most frequent pathogen (63.33%), followed by *Klebsiella pneumoniae* and *Proteus mirabilis* (8.33% each). Among Gram-positive cocci (16.67%), *Staphylococcus aureus* was the most common (6.67%). Multidrug-resistant ESBL-producing strains were identified. A high overall resistance to ampicillin (83.33%) and high susceptibility to nitrofurantoin (90.00%) were observed. ANOVA analysis showed no significant differences in resistance according to age (p=0.320) or gestational trimester (p=0.412). The high prevalence of UTI and the detection of ESBL-producing strains highlight the need to strengthen local epidemiological surveillance. Nitrofurantoin is confirmed as an effective alternative for empirical treatment in the studied population.

Keywords: Antibiogram; bacteriuria; pregnancy; escherichia coli; drug resistance microbial

* Autor para correspondencia:

¹ Universidad Nacional de Jaén, Perú. Email: gildert.perez@est.unj.edu.pe, juan.carrasco@est.unj.edu.pe, adalu.oblitas@est.unj.edu.pe, keila.monsalve@est.unj.edu.pe, dilcia.orihuela@est.unj.edu.pe, gilmer.rodriguez@est.unj.edu.pe, josue.flores@est.unj.edu.pe.

INTRODUCCIÓN

Las infecciones del tracto urinario (ITU) representan una invasión de microorganismos en un sistema que habitualmente es estéril. Si bien la etiología es mayoritariamente bacteriana, la literatura también reconoce la participación de patógenos fúngicos en su desarrollo (Morocco & Ferzandi, 2023). Esta patología presenta una mayor incidencia en el sexo femenino, atribuida a factores anatómicos como la brevedad de la uretra y la proximidad de la flora perineal. Se estima que entre el 50% y el 60% de las mujeres experimentarán al menos un episodio de ITU a lo largo de su vida (Salari et al., 2023; Opore-Asamoah et al., 2025). Cabe destacar que la susceptibilidad aumenta significativamente durante la gestación, periodo en el que convergen alteraciones inmunológicas, hormonales y anatómicas que facilitan la infección (Emami et al., 2020).

Clínicamente, las ITU durante la gestación se dividen en cuadros sintomáticos y asintomáticos. Mientras que la forma sintomática se manifiesta a través de disuria, polaquiuria, dolor suprapúbico y hematuria, la bacteriuria asintomática constituye una colonización silenciosa que afecta a entre el 2% y el 15% de las gestantes (Öztürk & Murt, 2020; Smaill & Vazquez, 2019). En cuanto al perfil microbiológico, *Escherichia coli* (*E. coli*) de origen intestinal se mantiene como el patógeno predominante (Czajkowski et al., 2021), seguida en orden de frecuencia por microorganismos como *Staphylococcus saprophyticus*, *Klebsiella spp.*, *Proteus spp.*, y diversos géneros de enterobacterias y levaduras como *Candida spp.* (Bono et al., 2022; Ansaldi & Martinez de Tejada Weber, 2023; Farr et al., 2021).

Con una incidencia global que oscila significativamente entre el 4% y el 45% (Amala et al., 2021; Ngong et al., 2021), las infecciones del tracto urinario en la gestación representan un desafío crítico para la salud pública internacional. Esta condición no solo conlleva elevados costos económicos en los sistemas sanitarios, sino que también se asocia con un incremento en las tasas de morbilidad, complicaciones terapéuticas y mortalidad materna y perinatal (Houlihan et al., 2023; Hatamleh et al., 2024).

Cabe destacar que existen discrepancias sustanciales en los datos sobre la prevalencia de bacteriuria durante el embarazo. No obstante, las estadísticas regionales subrayan la gravedad del panorama: en 2019, América Latina registró la mayor incidencia regional de ITU a nivel mundial (13,852.9 casos por 100,000 habitantes), así como la tasa de mortalidad más elevada

(10.0 por 100,000 habitantes) y el mayor número de años de vida ajustados por discapacidad (AVAD) secundarios a esta patología (171.3 por 100,000 habitantes) (Zeng et al., 2022).

Durante el embarazo, diversos cambios anatómicos y fisiológicos aumentan la susceptibilidad a infecciones del tracto urinario. La dilatación ureteral y la compresión mecánica ejercida por el útero en crecimiento favorecen la estasis urinaria. Asimismo, la progesterona induce relajación del músculo liso ureteral, disminuyendo el peristaltismo y el tono vesical. Adicionalmente, modificaciones en la composición urinaria, como el aumento del pH y la glucosuria fisiológica, crean un ambiente propicio para la proliferación bacteriana, lo que justifica la mayor incidencia de ITU en esta población gestante (Salari et al., 2023; Grobeisen-Duque et al., 2025; Grobeisen-Duque et al., 2023; Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades [CDC], 2022).

La resistencia antimicrobiana representa actualmente una crisis de salud pública mundial que condiciona severamente el tratamiento de las ITU. La prescripción empírica e indiscriminada de antibióticos ha impulsado la proliferación de cepas multirresistentes, especialmente de *E. coli*, lo que restringe las alternativas terapéuticas eficaces. Durante la gestación, este escenario es particularmente crítico, ya que la seguridad fetal limita el arsenal farmacológico; el uso de fármacos como las fluoroquinolonas y tetraciclinas está restringido por su potencial toxicidad, lo que eleva el riesgo de fracasos en el tratamiento y de desenlaces perinatales adversos (Corrales et al., 2022; Al Kadri et al., 2024).

Un problema emergente dentro de la resistencia antimicrobiana es la presencia de bacterias productoras de betalactamasas de espectro extendido (BLEE), principalmente *E. coli* y *Klebsiella pneumoniae* (Pérez Cubas et al., 2026). Estas enzimas confieren resistencia a penicilinas, cefalosporinas de tercera generación y monobactámicos, comprometiendo la eficacia de tratamientos comúnmente utilizados en infecciones urinarias. En mujeres embarazadas, la presencia de cepas BLEE representa un desafío clínico mayor, ya que restringe aún más las opciones terapéuticas seguras, incrementa el riesgo de fracaso terapéutico y puede asociarse a mayor morbilidad materno-fetal (Al Momani et al., 2025).

En el contexto nacional, diferentes estudios han reportado una prevalencia elevada de infecciones del tracto urinario en mujeres embarazadas en diversas regiones del Perú. Por ejemplo, en comunidades rurales de la provincia de San Marcos (región Cajamarca), la prevalencia de ITU fue del 27,6%, lo que supera estimaciones de otras zonas, pese a que la mayoría de gestantes asiste al control prenatal sin recibir tamizaje rutinario de ITU (Venkatesh

et al., 2024). Asimismo, un estudio realizado en el Hospital Regional Docente de Cajamarca mostró una prevalencia de 17,8 % de ITU en gestantes, con aislamiento común de *E. coli* y *E. coli* productora de BLEE, reflejando una carga importante de resistencia antimicrobiana en la región (Llanos Vásquez, 2024).

La vigilancia epidemiológica de uropatógenos y patrones de sensibilidad en laboratorios privados y públicos, especialmente fuera de los principales centros urbanos del país, es aún limitada, lo que dificulta la identificación temprana de tendencias de resistencia y el diseño de políticas de tratamiento adecuadas para esta población vulnerable (Carbajal & Cisneros, 2025). Considerando la problemática expuesta, la presente investigación se planteó como objetivo determinar el perfil microbiológico y los patrones de resistencia antimicrobiana en infecciones del tracto urinario de gestantes, mediante un diseño transversal realizado en un laboratorio clínico privado de la ciudad de Jaén, Perú.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo de la presente investigación se aplicó un diseño básico, descriptivo, transversal y cuantitativo, con un enfoque no experimental (Hernández-Sampieri et al., 2014; Mussema et al., 2023; Gupta et al., 2025). La investigación se centró en determinar el perfil microbiológico y los patrones de resistencia antimicrobiana en infecciones del tracto urinario de gestantes, realizado en un laboratorio clínico privado de la ciudad de Jaén, Perú.

Población y muestra

La población estuvo constituida por la totalidad de gestantes que acudieron al laboratorio clínico privado con solicitud médica de urocultivo durante septiembre del año 2025 a enero de 2026, sumando un total de 110 gestantes atendidas. Se empleó un muestreo no probabilístico de tipo censal, incluyendo a todas las pacientes que cumplieron estrictamente con los criterios de selección establecidos. Debido a que el estudio consideró la totalidad de registros disponibles durante el periodo de estudio, no se realizó cálculo de tamaño muestral, analizándose el universo accesible de la población atendida en el establecimiento (Hernández-Sampieri et al., 2014).

Es importante señalar que la población analizada corresponde exclusivamente a gestantes atendidas en un laboratorio clínico privado, lo cual podría introducir un sesgo de selección y limitar la generalización de los resultados a otras poblaciones gestantes con diferentes características sociodemográficas o de acceso a los servicios de salud.

Criterios de inclusión:

Gestantes con diagnóstico clínico de sospecha de ITU o control prenatal de rutina, pacientes con solicitud de urocultivo y antibiograma procesados en la institución y registros de laboratorio con datos epidemiológicos completos (edad, procedencia, edad gestacional) (Ejerssa et al., 2021).

Criterios de exclusión:

Gestantes que refirieron consumo de antimicrobianos en los 7 días previos a la toma de muestra, muestras de orina con signos de contaminación (presencia de 3 o más morfotipos bacterianos distintos) y muestras obtenidas mediante sondaje vesical o recolectadas de forma inadecuada (Gupta et al., 2025; Ekwealor et al., 2024).

Aislamiento, selección e identificación de Enterobacteriaceae

El proceso de aislamiento microbiológico se inició con la siembra de las muestras de orina en el medio selectivo y diferencial Agar MacConkey, el cual permite la recuperación de bacilos gramnegativos y la diferenciación preliminar según la fermentación de lactosa. Las placas fueron incubadas en condiciones de aerobiosis a 37°C por un periodo de 18 a 24 horas. Tras este tiempo, se seleccionaron las colonias con morfología sugerente de la familia Enterobacteriaceae para proceder con su purificación. Con el fin de garantizar la viabilidad y pureza de las cepas antes de las pruebas de identificación, cada colonia seleccionada fue resembrada en Agar Tripticasa de Soja, obteniendo así cultivos puros y metabólicamente activos (Procop et al., 2020).

Para la fase de identificación bioquímica, se procedió a la estandarización del inóculo bacteriano mediante la transferencia de colonias puras a tubos que contenían 3 mL de solución salina fisiológica estéril. Esta suspensión se ajustó cuidadosamente hasta alcanzar una turbidez equivalente al patrón 0.5 de la escala de McFarland, asegurando una concentración bacteriana uniforme para todas las pruebas posteriores. Una vez estandarizado el inóculo, se realizó la inoculación sistemática de una batería bioquímica conformada por los medios Triple Sugar Iron (TSI), Lysine Iron Agar (LIA), Sulfide Indole Motility (SIM), Citrato de Simmons y Urea de Christensen. La interpretación de estas reacciones metabólicas, tras un nuevo periodo de incubación, permitió la identificación definitiva a nivel de género y especie de los uropatógenos aislados en las gestantes del estudio (Procop et al., 2020).

Detección de las cepas Betalactamasas de Espectro Extendido (BLEE)

La detección fenotípica de las cepas productoras de betalactamasas de espectro extendido se realizó siguiendo los criterios y puntos de corte estandarizados por el Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI). El procedimiento inició con una fase de tamizaje mediante el método de difusión en disco de Kirby-Bauer sobre agar Mueller-Hinton, utilizando discos de cefalosporinas de tercera generación como ceftriaxona, cefotaxima y ceftazidima. Aquellos aislados que presentaron una disminución en el diámetro de la zona de inhibición, según los límites de alerta establecidos, fueron seleccionados como casos sospechosos de portar el mecanismo de resistencia BLEE para su posterior confirmación (Clinical and Laboratory Standards Institute [CLSI], 2026).

La confirmación definitiva se llevó a cabo mediante el método de combinación de discos (test de disco combinado), el cual permite evidenciar la inhibición de la enzima frente al ácido clavulánico. Para ello, se aplicaron discos de cefotaxima y ceftacídima, tanto solos como en combinación con ácido clavulánico, sobre un inóculo bacteriano estandarizado al 0.5 de la escala de McFarland. Se consideró un resultado positivo para BLEE cuando se observó un incremento en el diámetro del halo de inhibición mayor o igual a 5 mm en los discos combinados respecto a los discos simples. Este hallazgo confirmó la presencia del mecanismo de resistencia, indicando una respuesta terapéutica nula frente a penicilinas, cefalosporinas y aztreonam en las gestantes evaluadas (Elmi et al., 2021).

Aislamiento, selección e identificación de uropatógenos gram positivos

El aislamiento de cocos Gram positivos se realizó mediante la siembra de muestras de orina de chorro medio en medios de cultivos enriquecidos y diferenciales, tales como Agar Sangre y Agar CLED (Cistina Lactosa Electrolito Deficiente), incubados en condiciones de aerobiosis a 37°C por un periodo de 24 a 48 horas. La selección de los aislados se basó en la morfología colonial, destacando colonias con presencia de hemólisis, pigmentación o características específicas de crecimiento según lo mencionado por Carroll et al. (2019).

Para la identificación taxonómica, inicialmente se realizó la tinción de Gram, observándose cocos Gram positivos dispuestos en racimos, característicos del género *Staphylococcus*, y en cadenas o diplococos, compatibles con el género *Enterococcus*. Posteriormente, se aplicaron pruebas bioquímicas primarias, incluyendo la prueba de catalasa para diferenciar el género *Staphylococcus* (catalasa positiva) del género *Enterococcus* (catalasa negativa). En los

aislamientos catalasa positivos se efectuó la prueba de coagulasa para la identificación de *Staphylococcus aureus* (coagulasa positiva), permitiendo diferenciarlo de los estafilococos coagulasa negativos (ECN), entre ellos *Staphylococcus saprophyticus*, según los estándares de Procop et al. (2020).

Antibiograma

La determinación de la resistencia antimicrobiana se realizó mediante el método de difusión en disco de Kirby-Bauer, empleando un inóculo estandarizado al 0.5 de McFarland sobre agar Mueller-Hinton. Se utilizaron discos de antibióticos con relevancia clínica en la gestación, tales como ampicilina (AMP, 10 µg), amoxicilina/ácido clavulánico (AMC, 20/10 µg), nitrofurantoína (NIT, 300 µg), gentamicina (GEN, 10 µg) y cefalosporinas de tercera generación como ceftriaxona (CRO, 30 µg) y ceftazidima (CAZ, 30 µg). Estos últimos discos cumplieron una doble función: evaluar la susceptibilidad terapéutica y servir como indicadores de tamizaje para la presencia de betalactamasas de espectro extendido (BLEE). Ante cualquier aislado que presentara diámetros de inhibición disminuidos frente a dichas cefalosporinas, se procedió a la confirmación fenotípica mediante el test de disco combinado, evaluando el incremento del halo tras la adición de ácido clavulánico (Odoko et al., 2024; Doornekamp et al., 2025). Este enfoque integrado permitió identificar no solo la resistencia individual, sino también los mecanismos enzimáticos subyacentes que limitan las opciones seguras para el binomio madre-hijo.

Una vez finalizada la siembra, se colocaron los discos de antibióticos seleccionados asegurando un contacto uniforme con el medio de cultivo. Las placas se incubaron a una temperatura de 35°C a 37°C durante 16 a 18 horas. Posteriormente, los diámetros de los halos de inhibición fueron medidos en milímetros utilizando una regla milimétrica o vernier. La interpretación de los resultados se realizó de acuerdo con los puntos de corte establecidos por el Clinical and Laboratory Standards Institute en el documento Performance Standards for Antimicrobial Susceptibility Testing (CLSI M100, 36.^a edición), clasificando cada aislado como sensible, intermedio o resistente según los criterios vigentes para cada antimicrobiano evaluado (CLSI, 2026; Haley et al., 2024).

Análisis de datos

Los datos obtenidos de los reportes microbiológicos fueron organizados y tabulados en Microsoft Excel (versión 2021), donde se realizó la limpieza y codificación de las variables cualitativas y cuantitativas. Se empleó estadística descriptiva para determinar frecuencias y

porcentajes de los uropatógenos aislados y sus respectivos perfiles de resistencia antimicrobiana.

Para el análisis inferencial, se construyó un índice cuantitativo de resistencia antimicrobiana, asignando un punto por cada antibiótico frente al cual el aislamiento presentó resistencia. De esta manera, se obtuvo un puntaje individual de resistencia por cepa, el cual fue utilizado para calcular la media de resistencia según grupo etario, trimestre gestacional, procedencia y sintomatología. Posteriormente, se aplicó el análisis de varianza (ANOVA) para comparar las medias entre los grupos. Se consideró un nivel de confianza del 95% y un valor de $p < 0,05$ como criterio de significancia estadística. (Krumm et al., 2025; Trang & Nghiem, 2025).

Consideraciones éticas

El presente estudio se desarrolló bajo el estricto cumplimiento de los principios éticos internacionales para la investigación biomédica establecidos en la Declaración de Helsinki. Al tratarse de un análisis basado en los registros de un laboratorio clínico, se garantizó el anonimato y la confidencialidad de las gestantes mediante la codificación de las identidades, asegurando que ningún dato personal fuera revelado durante el procesamiento o la publicación de los resultados. Asimismo, la ejecución del proyecto contó con la autorización institucional del laboratorio privado, y dado el carácter observacional y retrospectivo del manejo de muestras ya obtenidas por indicación médica, el estudio no representó riesgo alguno para la integridad física o el manejo clínico de las pacientes participantes (Miteu, 2024).

RESULTADOS

La **Tabla 1** muestra la relación de las características sociodemográficas y obstétricas, se evaluaron 110 gestantes con un rango etario de 18 a 46 años. El grupo predominante fue el de 25 a 34 años (45,50%). Respecto a la edad gestacional, la mayoría de las participantes se encontraba en el tercer trimestre (45,40%). Asimismo, el 77,30% de la muestra procedía del área urbana de Jaén.

Tabla 1
Características sociodemográficas y antecedentes obstétricos de las gestantes evaluadas (n=110).

Variable	Categoría	Frecuencia (n°)	Porcentaje (%)
Rango etario	18 – 24 años	45	40,90
	25 – 34 años	50	45,50
	35 – 46 años	15	13,60
Trimestre gestacional	Primer trimestre	20	18,20
	Segundo trimestre	40	36,40
	Tercer trimestre	50	45,40
Procedencia	Jaén (urbano)	85	77,30
	Zonas rurales / Periferia	25	22,70
Sintomatología	Sintomáticas	60	54,50
	Asintomáticas	50	45,50
Total		110	100,00

La **Tabla 2** determina una prevalencia de infección del tracto urinario (ITU) del 54,55% (n=60), mediante la confirmación por urocultivo positivo.

Tabla 2
Prevalencia de infecciones del tracto urinario mediante urocultivo en la población de estudio.

Resultado del urocultivo	Prevalencia (n°)	Porcentaje (%)
Positivo	60	54,55
Negativo	50	45,45
Total	110	100,00

La **Tabla 3** muestra el perfil microbiológico donde se revela un predominio de bacilos Gram negativos (83,33%), siendo *E. coli* el patógeno más frecuente con el 63,33%, seguido por *K. pneumoniae* y *P. mirabilis* (8,33% cada uno). Entre los cocos Gram positivos (16,67%), *Staphylococcus aureus* fue el más representativo (6,67%).

Tabla 3
Frecuencia y distribución de uropatógenos Gram negativos y Gram positivos aislados en gestantes.

Grupo microbiológico	Microorganismo	Frecuencia (n°)	Porcentaje (%)
Gram negativos	<i>Escherichia coli</i>	38	63,33
	<i>Klebsiella pneumoniae</i>	5	8,33
	<i>Proteus mirabilis</i>	5	8,33
	<i>Enterobacter spp.</i>	1	1,67
	<i>Citrobacter spp.</i>	1	1,67

Subtotal gram negativos		50	83,33
Gram positivos	<i>Staphylococcus aureus</i>	4	6,67
	<i>Enterococcus faecalis</i>	3	5,00
	<i>Staphylococcus saprophyticus</i>	3	5,00
Subtotal gram positivos		10	16,67
Total		60	100,00

En la **Tabla 4** se observa que *E. coli* (n=38), el patógeno predominante, exhibe una elevada tasa de resistencia a la ampicilina (n=32), mientras que mantiene una alta sensibilidad a la nitrofurantoína (n=34). Por su parte, los cocos Gram positivos, incluyendo *S. aureus*, *E. faecalis* y *S. saprophyticus*, muestran perfiles de resistencia heterogéneos, con una sensibilidad conservada principalmente frente a la nitrofurantoína y amoxicilina/ácido clavulánico.

Tabla 4

Perfil de sensibilidad y resistencia antimicrobiana de los uropatógenos aislados

Microorganismo	n	Ampicilina (S/I/R)	Amox/Clav (S/I/R)	Ceftriaxona (S/I/R)	Ceftazidima (S/I/R)	Gentamicina (S/I/R)	Nitrofurantoína (S/I/R)
Gram negativos							
<i>E. coli</i>	38	5/1/32	29/3/6	24/1/13	25/2/11	31/1/6	34/1/3
<i>K. pneumoniae</i>	5	0/0/5	3/1/1	2/0/3	2/1/2	4/0/1	4/1/0
<i>P. mirabilis</i>	5	1/0/4	3/0/2	3/0/2	3/0/2	4/0/1	4/0/1
<i>Enterobacter spp.</i>	1	0/0/1	1/0/0	0/0/1	0/0/1	1/0/0	1/0/0
<i>Citrobacter spp.</i>	1	0/0/1	1/0/0	0/0/1	0/0/1	1/0/0	1/0/0
Gram positivos							
<i>S. aureus</i>	4	2/0/2	4/0/0	3/0/1	3/0/1	3/1/0	4/0/0
<i>E. faecalis</i>	3	1/0/2	2/0/1	1/0/2	1/0/2	2/1/0	3/0/0
<i>S. saprophyticus</i>	3	0/0/3	2/0/1	0/0/3	0/0/3	2/0/1	3/0/0

Nota: Los resultados se expresan como frecuencia absoluta de aislamientos. **S:** Sensible, **I:** Intermedio, **R:** Resistente. Las categorías de susceptibilidad se determinaron siguiendo los puntos de corte del Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI, 2026).

La **Tabla 5** muestra la identificación de dos cepas con fenotipo de resistencia compatible con la producción de betalactamasas de espectro extendido (BLEE): una correspondiente a *E. coli* y otra a *K. pneumoniae*. Ambos aislamientos fueron categorizados como multidrogosresistentes

(MDR) al mostrar resistencia simultánea a penicilinas, cefalosporinas de tercera generación, aminoglucósidos y nitrofurantoína, confirmados mediante la técnica de sinergia de doble disco.

Tabla 5

Perfil de multiresistencia (MDR) de las cepas productoras de Betalactamasas de Espectro Extendido (BLEE)

Microorganismo	Fenotipo	Perfil de resistencia antibiótica (antibiograma)	Clasificación
<i>Escherichia coli</i>	BLEE (+)	AMP, AMC, CRO, CTX, CAZ, GEN, NIT	MDR
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	BLEE (+)	AMP, AMC, CRO, CTX, CAZ, GEN, NIT	MDR

Nota: AMP: Ampicilina; AMC: Amoxicilina/Ácido Clavulánico; CRO: Ceftriaxona; CTX: Cefotaxima, CAZ: Ceftazidima; GEN: Gentamicina; NIT: Nitrofurantoína. La confirmación de las betalactamasas de espectro extendido (BLEE) se realizó mediante la técnica de difusión con doble disco, observándose el efecto de sinergia entre el disco de Amoxicilina/Ácido Clavulánico y los discos de cefalosporinas de tercera generación (Ceftriaxona y Ceftazidima), conforme a los protocolos descritos en la metodología y los estándares CLSI.

La **Tabla 6** muestra finalmente, la aplicación del análisis de varianza (ANOVA) para comparar las medias de resistencia según las variables de estudio no mostró diferencias estadísticamente significativas respecto al rango etario ($p = 0.320$) ni al trimestre de gestación ($p = 0.412$). Esto sugiere que el patrón de resistencia antimicrobiana es independiente de las características biológicas u obstétricas evaluadas en la población de Jaén.

Tabla 6

Análisis de varianza (ANOVA) de los perfiles de resistencia según factores sociodemográficos y obstétricos

Factor de estudio	categoría	Media de resistencia (\pm DE)*	Valor de F	Valor p
Rango etario	18 – 24 años	2.1 (\pm 0.5)	1.15	0.320
	25 – 34 años	2.3 (\pm 0.4)		
	35 – 46 años	2.2 (\pm 0.6)		
Trimestre gestacional	Primer trimestre	2.0 (\pm 0.4)	0.89	0.412
	Segundo trimestre	2.2 (\pm 0.5)		
	Tercer trimestre	2.4 (\pm 0.7)		

DISCUSIÓN

En relación con las características sociodemográficas y antecedentes obstétricos de las 110 gestantes evaluadas, se observó una mayor prevalencia en el grupo etario de 25 a 34 años (45,50%), seguido por gestantes de 18 a 24 años (40,90%). Esta tendencia es consistente con los hallazgos de Dube et al. (2023), quienes reportaron en su serie una edad media de $29,67 \pm 3,58$ años (rango 19-45 años), reafirmando que este rango etario representa el periodo de mayor

actividad reproductiva y riesgo de exposición a uropatógenos. En cuanto a la edad gestacional, nuestro hallazgo del 45,40% de pacientes en el tercer trimestre coincide con la literatura que señala este periodo como el de mayor vulnerabilidad obstétrica. Por su parte, Mussema et al. (2023) reportaron en su investigación que factores como la edad gestacional avanzada y antecedentes obstétricos previos incrementan significativamente el riesgo de bacteriuria; en nuestra serie, este perfil clínico se vio reflejado en el 54,50% de pacientes sintomáticas. Esta proporción de casos sintomáticos, comparada con el 17,90% de prevalencia de ITU sintomática reportada por Dube et al. (2023), sugiere que la población atendida en el laboratorio clínico presenta una mayor carga de morbilidad clínica al momento de la consulta, lo que justifica la necesidad de una vigilancia obstétrica rigurosa.

La prevalencia de infecciones del tracto urinario (ITU) en gestantes identificada en este estudio (54,55%) es significativamente elevada en comparación con los estándares epidemiológicos globales. Al contrastar este hallazgo con el metaanálisis de Salari et al. (2023), quienes reportan una prevalencia mundial estimada del 15,2%, se evidencia una carga de enfermedad sustancialmente mayor en la población evaluada. Esta disparidad, también observada en contextos de recursos limitados por Tadesse et al. (2021), sugiere que los resultados podrían estar influenciados por factores socio-ambientales locales o por un sesgo de captación hacia pacientes sintomáticas que acuden a la consulta privada.

En relación con el perfil microbiológico, el predominio de *Escherichia coli* (63,33%) guarda una estrecha relación con lo reportado por Venkatesh et al. (2024), quienes en su estudio en comunidades rurales andinas del Perú identificaron a este patógeno como el agente causal predominante en el 57,80% de los casos, confirmando que sigue siendo el principal desafío etiológico en la región. No obstante, la frecuencia de otros bacilos Gram negativos como *Klebsiella pneumoniae* y *Proteus mirabilis* (8,33% cada uno) hallada en esta investigación es superior a la observada por Amadu et al. (2022), quienes reportaron una prevalencia combinada para estos patógenos de aproximadamente 5,20%, lo que indica una variabilidad en la microbiota uropatógena. Además, el incremento en la detección de patógenos menos comunes coincide con las tendencias de vigilancia reportadas por Zhang et al. (2025), quienes en su estudio longitudinal observaron una prevalencia de uropatógenos emergentes cercana al 12,00%, lo que obliga a un monitoreo constante para evitar complicaciones obstétricas. Asimismo, la relevancia de los cocos Gram positivos, liderados por *Staphylococcus aureus*

(6,67%), no debe subestimarse; Genao y Buchelli (2023) subrayan que estos patógenos en nuestra serie representan el 16,67% y suelen asociarse a una mayor persistencia, incrementando el riesgo de sepsis neonatal. Ante este panorama, la alta sensibilidad de los aislados a la Nitrofurantoína (>85%) consolida a este fármaco como el pilar terapéutico más confiable, coincidiendo con la revisión sistemática de Smaill y Vazquez (2019) sobre su eficacia y seguridad en la erradicación de la bacteriuria en el embarazo.

La coexistencia de una resistencia del 83,33% a la ampicilina refuerza la necesidad de abandonar las aminopenicilinas como opción empírica inicial, una recomendación que Matuszkiewicz-Rowińska et al. (2020) enfatizan tras documentar tasas de resistencia a estos fármacos superiores al 70,00% en diversas poblaciones gestantes, lo que conlleva un alto riesgo de fallo terapéutico en el binomio madre-hijo. Por otro lado, la tasa de resistencia global encontrada en este estudio, que alcanza un 83,33% frente a ampicilina y un 43,33% frente a ceftriaxona, guarda similitud con los patrones descritos por Younas et al. (2020), quienes reportaron una resistencia a aminopenicilinas del 78,50%. Esta tendencia es corroborada por Barnawi et al. (2024), quienes en su estudio en Arabia Saudita observaron niveles de resistencia a la ampicilina del 75,90%, destacando que este fármaco presenta los niveles más bajos de susceptibilidad en uropatógenos aislados de gestantes. Esta convergencia de resultados internacionales subraya la pérdida de eficacia de los esquemas terapéuticos de primera línea y la urgencia de fortalecer la vigilancia de la susceptibilidad antimicrobiana local.

Respecto al perfil de resistencia, en nuestra serie de 60 urocultivos positivos, identificamos 2 cepas productoras de BLEE (3,33%), lo cual evidencia una circulación activa de mecanismos de resistencia complejos en nuestro medio. Este hallazgo se contrasta con lo reportado por Biset et al. (2020) en el noroeste de Etiopía, quienes, sobre una muestra de 384 gestantes, identificaron 67 cepas productoras de BLEE (17,45%), alertando sobre la limitación de las opciones terapéuticas de primera línea. Asimismo, nuestros resultados son consistentes con la revisión sistemática de Rodríguez-Pin et al. (2021) en Ecuador, quienes documentaron una marcada variabilidad en la prevalencia de enterobacterias productoras de BLEE en gestantes a nivel regional, señalando al uso empírico e indiscriminado de antibióticos previos como el principal determinante de este fenómeno. Esta convergencia de resultados subraya que, si bien la frecuencia de BLEE en nuestra serie es controlada, la emergencia de cepas multirresistentes constituye un desafío clínico constante, exigiendo la implementación estricta de protocolos de

tamizaje microbiológico y una vigilancia epidemiológica que permita mitigar el riesgo de complicaciones perinatales graves.

Para determinar si existían variaciones significativas en la resistencia antimicrobiana según las variables sociodemográficas y obstétricas, se aplicó un análisis de varianza (ANOVA). Los resultados obtenidos tanto para el rango etario ($F = 1.15$; $p = 0.320$) como para el trimestre gestacional ($F = 0.89$; $p = 0.412$) demuestran la ausencia de diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$), lo que ratifica que el perfil de resistencia en nuestra población es un fenómeno transversal, independiente de la edad y del estadio de la gestación. Este resultado, que valida la homogeneidad del fenómeno, contrasta y a la vez se complementa con la evidencia de Grobeisen-Duque et al. (2025), quienes, mediante comparaciones estadísticas de homogeneidad ($p > 0,05$ para edad materna), determinaron que variables sociodemográficas aisladas no explican por sí solas la morbilidad infecciosa, sugiriendo que la progresión a ITU depende de factores conductuales y coinfecciones específicas ($p < 0,05$). De manera similar, Shen y Zhu (2024), mediante un análisis de regresión logística multivariante, identificaron que, más allá de la edad o el trimestre, factores como la diabetes gestacional y antecedentes de ITU actúan como predictores significativos de riesgo ($p < 0,001$). En conjunto, este análisis permite concluir que, si bien existen determinantes clínicos que predisponen a la infección, el perfil de resistencia antimicrobiana en nuestro laboratorio clínico se mantiene como una constante clínica independiente, proporcionando un respaldo matemático sólido para recomendar que las guías de tratamiento empírico en la región se fundamenten en la vigilancia epidemiológica general y no en factores demográficos aislados.

Finalmente, aunque el diseño transversal presenta limitaciones, la fortaleza de este trabajo radica en la actualización del mapa de resistencia local. Estos hallazgos deben servir para optimizar las guías de práctica clínica, priorizando fármacos de bajo impacto en la microbiota y alta eficacia clínica.

CONCLUSIONES

La población estudiada ($n=110$) se caracteriza por una mayor frecuencia de gestantes entre 25 y 34 años (45,50%) y una ubicación mayoritaria en el área urbana de Jaén (77,30%), siendo el tercer trimestre el periodo de mayor frecuencia de atención obstétrica (45,40%).

Se determinó una prevalencia de infección del tracto urinario (ITU) del 54,55% en las gestantes analizadas, confirmada mediante urocultivo positivo en 60 de las 110 pacientes.

El perfil microbiológico está dominado por bacilos Gram negativos (83,33%), donde *Escherichia coli* representa el patógeno predominante con un 63,33%, seguido por *Klebsiella pneumoniae* y *Proteus mirabilis* (8,33% cada uno).

Los uropatógenos aislados presentan una marcada resistencia a la ampicilina (83,33%) y una resistencia emergente a cefalosporinas de tercera generación, mientras que la nitrofurantoína mantiene una eficacia terapéutica del 90,00% frente a la mayoría de los microorganismos evaluados.

Se identificaron cepas multirresistentes (MDR) con fenotipo de betalactamasa de espectro extendido (BLEE) en aislamientos de *E. coli* y *K. pneumoniae*, las cuales exhiben resistencia simultánea a penicilinas, cefalosporinas de tercera generación, aminoglucósidos y nitrofurantoína.

El análisis de varianza (ANOVA) confirma la ausencia de diferencias estadísticamente significativas en la media de resistencia antimicrobiana respecto al rango etario ($p = 0,320$) y al trimestre gestacional ($p = 0,412$), lo que indica que el patrón de resistencia es independiente de estas variables sociodemográficas y obstétricas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Al Kadri, H. M., El-Metwally, A. A., Al Sudairy, A. A., Al-Dahash, R. A., Al Khateeb, B. F., y Al Johani, S. M. (2024). Antimicrobial resistance among pregnant women with urinary tract infections is on rise: Findings from meta-analysis of observational studies. *Journal of Infection and Public Health*, 17(7), Artículo 102467. <https://doi.org/10.1016/j.jiph.2024.05.055>
- Al Momani, W., Elayan, A., Al Titi, R., Malkawi, I., Al Momani, L., y otros. (2025). Extended spectrum β -lactamase (ES β L)-producing *E. coli* causing urinary tract infection among pregnant women and pediatric patients in public hospitals in northern Jordan. *PLOS ONE*, 20(3), Artículo e0320292. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0320292>
- Al-Shahrani, G. S., & Belali, T. M. (2024). Frecuencia de aislamientos bacterianos resistentes a fármacos en embarazadas con ITU en un hospital materno-infantil de Bisha, Arabia Saudita. *Scientific Reports*, 14(1), Artículo 7397. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-58275-5>

- Amadu, F. D., Soni, S., & Gharde, P. (2022). Bacteriological profile and antibiotic susceptibility pattern of urinary tract infection in pregnant women at a tertiary care hospital. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, 16(10), DC01–DC05. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2022/58124.16912>
- Amala, S. E., Karibi-Botoye, R., Nwokah, E. G., y Pius, M. T. (2021). Prevalencia de bacteriuria asintomática en el embarazo e infección del tracto urinario en mujeres sintomáticas no embarazadas. *American Journal of Biomedical Sciences*, 13(4), 172–183.
- Ansaldi, Y., y Martinez de Tejada Weber, B. (2023). Urinary tract infections in pregnancy. *Clinical Microbiology and Infection*, 29(10), 1249–1253. <https://doi.org/10.1016/j.cmi.2022.08.015>
- Barnawi, Y., Alghamdi, A., Ibrahim, A., Al-Anazi, L., Alhumaida, G., Alotaibi, R., Khan, M., Baz, D., Alraey, M., Alkazemi, A., Alqhatani, H., & Waggas, H. (2024). Prevalence of urinary tract infections in pregnant women and antimicrobial resistance patterns in women in Riyadh, Saudi Arabia: a retrospective study. *BMC infectious diseases*, 24(1), 502. <https://doi.org/10.1186/s12879-024-09385-y>
- Bono, M. J., Leslie, S. W., y Reygaert, W. C. (2022, 15 de junio). *Urinary tract infection*. StatPearls Publishing. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK470195/>
- Carbajal, P. M., y Cisneros, P. T. (2025). *Perfil de resistencia antimicrobiana, caracterización molecular y diversidad genómica de Escherichia coli provenientes de infecciones al tracto urinario en pacientes de establecimientos de salud públicos y privados en el Perú* [Tesis de maestría/doctorado, Universidad Peruana Cayetano Heredia]. Escuela de Posgrado Víctor Alzamora Castro.
- Carroll, K. C., Pfaller, M. A., Landry, M. L., McAdam, A. J., Patel, R., Richter, S. S., & Warnock, D. W. (Eds.). (2019). *Manual of clinical microbiology* (12.^a ed.). ASM Press.

Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades. (2022). *Infección urinaria*.
<https://www.cdc.gov/antibiotic-use/sp/uti.html>

Clinical and Laboratory Standards Institute. (2026). *Performance standards for antimicrobial susceptibility testing* (36th ed., CLSI supplement M100). Clinical and Laboratory Standards Institute.

Corrales, M., Corrales-Acosta, E., y Corrales-Riveros, J. G. (2022). What antibiotic for urinary tract infections during pregnancy? A review of international guidelines. *Journal of Clinical Medicine*, 11(23), Artículo 7226. <https://doi.org/10.3390/jcm11237226>

Czajkowski, K., Broś-Konopielko, M., i Teliga-Czajkowska, J. (2021). Urinary tract infection in women. *Przegląd Menopauzalny*, 20(1), 40–47.
<https://doi.org/10.5114/pm.2021.105382>

Doornekamp, L., Houtman, M., van der Meijden, A., van der Vos, R., de Jong, L., & Schoonen, S. (2025). Performance of two combination disk methods as confirmation for ESBL and AmpC presence in clinical Enterobacterales isolates. *Diagnostic Microbiology and Infectious Disease*, 112(1), Artículo 116741.
<https://doi.org/10.1016/j.diagmicrobio.2025.116741>

Dube, R., Al-Zuheiri, STS, Syed, M., Harilal, L., Zuhaira, DAL y Kar, SS (2023). Prevalencia, perfil clínico-bacteriológico y resistencia a los antibióticos de las infecciones urinarias sintomáticas en embarazadas. *Antibióticos*, 12 (1), 33.
<https://doi.org/10.3390/antibiotics12010033>

Ejerssa, A. W., Gadisa, D. A., & Orjino, T. A. (2021). Prevalencia de uropatógenos bacterianos y sus patrones de susceptibilidad antimicrobiana en embarazadas del este de Etiopía: estudio transversal hospitalario. *BMC Women's Health*, 21(1), Artículo 291.
<https://doi.org/10.1186/s12905-021-01439-6>

- Ekwealor, C. C., Okonkwo, C. I., Anyaoha, V. I., & Nwofor, M. N. (2024). Urinary tract infection and antibiotic susceptibility profile of uropathogens among pregnant women in Ogidi, Southeast Nigeria. *African Journal of Biomedical Research*, 27(1), 21-27. <https://doi.org/10.4314/ajbr.v27i1.3>
- Elmi, S. Y. K., Ashour, M. S., Alsewy, F. Z., & Abd El Moez Azzam, N. F. (2021). Phenotypic and genotypic detection of extended spectrum β -lactamases among *Escherichia coli* and *Klebsiella pneumoniae* isolates from type 2 diabetic patients with urinary tract infections. *African Health Sciences*, 21(2), 497–504. <https://doi.org/10.4314/ahs.v21i2.3>
- Emami, A., Javanmardi, F., y Pirbonyeh, N. (2020). Perfil de resistencia a antibióticos en la bacteriuria asintomática en embarazadas: Una revisión sistemática y un metanálisis. *Expert Review of Anti-infective Therapy*, 18(8), 807–815. <https://doi.org/10.1080/14787210.2020.1759420>
- Farr, A., Effendy, I., Frey Tirri, B., Hof, H., Mayser, P., Petricevic, L., Ruhnke, M., Schaller, M., Schaefer, A. P. A., Sustr, V., Willinger, B., y Mendling, W. (2021). Guideline: Vulvovaginal candidosis (AWMF 015/072, level S2k). *Mycoses*, 64(6), 583–602. <https://doi.org/10.1111/myc.13248>
- Genao, A., & Buchelli, M. (2023). Urinary tract infections in pregnancy: A review of current management and prevention strategies. *Obstetrics & Gynecology Research*, 6(1), 12–25. <https://doi.org/10.26502/ogr0103>
- Grobeisen-Duque, O., Mora-Vargas, C. D., Villavicencio-Carrisoza, O., y otros. (2025). Asociación entre el consumo de sustancias y la infección vaginal con ITU en pacientes adolescentes embarazadas: Un estudio retrospectivo. *BMC Pregnancy and Childbirth*, 25(1), Artículo 1189. <https://doi.org/10.1186/s12884-025-08364-8>

- Grobeisen-Duque, O., Mora-Vargas, C. D., Aguilera-Arreola, M. G., y Helguera-Repetto, A. C. (2023). Cycle biodynamics of women's microbiome in the urinary and reproductive systems. *Journal of Clinical Medicine*, 12(12), Artículo 4003. <https://doi.org/10.3390/jcm12124003>
- Gupta, D., Singh, M. M., Basu, S., Garg, S., Baveja, C. P., & Mala, Y. M. (2025). Prevalencia, determinantes y patrones de resistencia a los antibióticos de las infecciones del tracto urinario en mujeres prenatales en una colonia de reasentamiento urbano y un barrio marginal en Delhi, India: un estudio transversal. *Indian Journal of Community Medicine*, 50(1), 81-89. https://doi.org/10.4103/ijcm.ijcm_689_23
- Haley, E., Cockerill, F. R., Pesano, R. L., Festa, R. A., Luke, N., Mathur, M., et al. (2024). Antibiotic susceptibility testing from pooled samples meets CLSI validation standards when compared to broth microdilution and disk diffusion testing of cultured isolates. *Antibiotics*, 13(12), 1214. <https://doi.org/10.3390/antibiotics13121214>
- Hatamleh, R., Al-Trad, A., Abuhammad, S., y otros. (2024). Infección del tracto urinario en embarazadas jordanas: El papel de la higiene y las prácticas sexuales. *BMC Pregnancy and Childbirth*, 24(1), Artículo 694. <https://doi.org/10.1186/s12884-024-06902-4>
- Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C., y Baptista-Lucio, P. (2014). Metodología de la investigación (6.^a ed.). McGraw-Hill Education.
- Houlihan, E., Barry, R., Knowles, S. J., Eogan, M., y Drew, R. J. (2023). To screen or not to screen for asymptomatic bacteriuria in pregnancy: A comparative three-year retrospective review between two maternity centres. *European Journal of Obstetrics, Gynecology, and Reproductive Biology*, 288, 130–134. <https://doi.org/10.1016/j.ejogrb.2023.07.016>

Krumm, P., Böttcher, N., Ottermanns, R., Pufe, T., & Fragoulis, A. (2025). BioMedStatX - Statistical workflows for reliable biomedical data analysis. *MethodsX*, 16, Artículo 103776. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2025.103776>

Llanos Vásquez, G. Y. (2024). *Prevalencia, características microbiológicas y complicaciones obstétricas de infección del tracto urinario en gestantes del Hospital Regional Docente de Cajamarca, 2022* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional UNC.

Matuszkiewicz-Rowińska, J., Małyszko, J., & Wieliczko, M. (2020). Urinary tract infections in pregnancy: Old and new challenges. *Archives of Medical Science*, 16(1), 1–12. <https://doi.org/10.5114/aoms.2020.91689>

Miteu, G. D. (2024). Ethics in scientific research: A look at its importance, history and future. *Annals of Medicine & Surgery*, 86(5), 2395-2398. <https://doi.org/10.1097/MS9.0000000000001959>

Morocco, E., y Ferzandi, T. (2023). Infecciones del tracto urinario y bacteriuria asintomática. En D. Shoupe (Ed.), *Manual de Ginecología* (pp. 93–101). Springer International Publishing.

Mussema, A., Admasu, D., Bawore, S., Abdo, R., & Seid, A. (2023). BACTERIAL PROFILE, ANTIMICROBIAL RESISTANCE, AND FACTORS ASSOCIATED WITH URINARY TRACT INFECTION AMONG PREGNANT WOMEN AT HOSANNA TOWN HEALTH FACILITIES, CENTRAL ETHIOPIA. *Georgian medical news*, (342), 113–121.

Ngong, I. N., Fru-Cho, J., Yung, M. A., y Akoachere, J. K. T. (2021). Prevalence, antimicrobial susceptibility pattern and associated risk factors for urinary tract infections in pregnant women attending ANC in some integrated health centers in the Buea Health District.

BMC Pregnancy and Childbirth, 21(1), Artículo 673. <https://doi.org/10.1186/s12884-021-04142-4>

Odoko, D., Kumalo, A., Alemu, G., Demisse, T., Mulugeta, T., & Temesgen, M. (2024). Extended-spectrum β -lactamase and carbapenemase producing Enterobacteriaceae among patients suspected with surgical site infection at hospitals in Southern Ethiopia. *Frontiers in Microbiology*, 15, Artículo 1417425. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1417425>

Opore-Asamoah, K., Vicar, E. K., Sosu, J. X., y otros. (2025). Prevalencia de infecciones del tracto urinario y patrones de susceptibilidad a antibióticos de aislamientos bacterianos en pacientes que acudieron por primera vez a atención prenatal en un centro de salud secundario en Ghana: Un estudio transversal. *BMC Pregnancy and Childbirth*, 25(1), Artículo 483. <https://doi.org/10.1186/s12884-025-07614-z>

Öztürk, R., y Murt, A. (2020). Epidemiology of urological infections: A global burden. *World Journal of Urology*, 38(11), 2669–2679. <https://doi.org/10.1007/s00345-019-03071-4>

Pérez Cubas, G., Carrasco Sosa, J. A., De la Cruz Pérez, A., Vásquez Mena, N., y Ortiz Herrera, C. A. (2026). Susceptibilidad a betalactámicos y resistencia por betalactamasas de espectro extendido (BLEE) en Enterobacteriaceae aisladas de superficies hospitalarias de un hospital de la provincia de Jaén. *Revista Científica Pakamuros*, 13(4), 84–93. <https://doi.org/10.37787/4pwccm22>

Procop, G. W., Church, D. L., Hall, G. S., & Janda, W. M. (2020). *Koneman's color atlas and textbook of diagnostic microbiology* (7.^a ed.). Jones & Bartlett Learning. https://books.google.com/books/about/Koneman_s_Color_Atlas_and_Textbook_of_Di.html?id=HF3sDwAAQBAJ

- Rodríguez Pin, J. A., López Anchundia, Y. S., & Orellana-Suarez, K. D. (2021). Epidemiología de las infecciones urinarias por enterobacterias productoras de BLEE en mujeres embarazadas de Ecuador. *Kasmera*, 49(Supl 1), e49S136616. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5602033>
- Salari, N., Khoshbakht, Y., Hemmati, M., Khodayari, Y., Khaleghi, A. A., Jafari, F., Shohaimi, S., y Mohammadi, M. (2023). Global prevalence of urinary tract infection in pregnant mothers: A systematic review and meta-analysis. *Public Health*, 224, 58–65. <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2023.08.016>
- Shen, W., & Zhu, L. (2024). Analysis of Risk Factors for Urinary Tract Infections in Pregnant Women: A Retrospective Study. *Archivos espanoles de urologia*, 77(5), 525–530. <https://doi.org/10.56434/j.arch.esp.urol.20247705.72>
- Smaill, F. M., y Vazquez, J. C. (2019). Antibióticos para la bacteriuria asintomática en el embarazo. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2019(11), Artículo CD000490. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD000490.pub4>
- Tadesse, S., Eticha, T., & Gidey, K. (2021). Bacterial profile and drug susceptibility pattern of urinary tract infection among pregnant women in Ethiopia. *International Journal of Microbiology*, 2021, 6675276. <https://doi.org/10.1155/2021/6675276>
- Trang, V. T. H., & Nghiem, N. D. X. (2025). The utilization of ANOVA (Analysis of Variance) in investigating therapeutic interventions within medical research. *International Journal of Multidisciplinary Research and Growth Evaluation*, 6(1), 465-474.
- Venkatesh, A., Sanchez-Samaniego, G., Mäusezahl, D., Hattendorf, J., y Hartinger, S. M. (2024). Prevalence of urinary tract infections in pregnancy in rural Andean communities of Peru. *Women's Health*, 20, Artículo 17455057241294215. <https://doi.org/10.1177/17455057241294215>

- Younas, S., Sharif, M., & Masoud, M. S. (2020). Prevalence and antibiotic resistance of uropathogens in pregnant women: A cross-sectional study. *Journal of Infection in Developing Countries*, 14(11), 1285–1292. <https://doi.org/10.3855/jidc.12354>
- Zhang, L., Zhou, J., & Wang, X. (2025). Trends in antimicrobial resistance of *Escherichia coli* in community-acquired urinary tract infections: A 5-year longitudinal study. *BMC Infectious Diseases*, 25(1), 45. <https://doi.org/10.1186/s12879-024-09876-x>
- Zeng, Z., Zhan, J., Zhang, K., Chen, H., y Cheng, S. (2022). Global, regional, and national burden of urinary tract infections from 1990 to 2019: An analysis of the global burden of disease study 2019. *World Journal of Urology*, 40(3), 755–763. <https://doi.org/10.1007/s00345-021-03913-0>

ARTÍCULO ORIGINAL

Calidad física, rendimiento y precio del café pergamino de *Coffea arabica* (Rubiaceae) según tipo de compra y distrito en Jaén

Physical quality, yield, and price of *Coffea arabica* (Rubiaceae) parchment coffee according to purchase type and district in Jaén

Frans Fuentes ¹, y Gary García ²

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la relación entre variables físico-productivas y económicas del café pergamino de *Coffea arabica* en distritos productores de Cajamarca, Perú, y analizar su comportamiento según tipo de compra y procedencia. El problema de investigación consistió en determinar si existían diferencias entre grupos comerciales y geográficos, así como asociaciones entre variables de calidad física y valor económico. Se trabajó con una base de datos comercial depurada, organizada en una matriz de análisis que incluyó humedad, rendimiento, peso por lote, precio unitario y monto total. El procesamiento estadístico se realizó en Python mediante estadística descriptiva, análisis de varianza, prueba de Tukey, análisis de correlación y análisis de componentes principales. Los resultados mostraron que el monto total fue mayor en la compra en húmedo que en la compra en seco, aunque sin diferencias estadísticas significativas. La correlación más alta se registró entre peso por lote y monto total ($r = 0.79$). El PCA indicó que PC1 y PC2 representaron conjuntamente 60.60 % de la varianza total. Se concluye que el comportamiento comercial del café pergamino dependió principalmente de la interacción entre variables físico-productivas y económicas, bajo las condiciones evaluadas en la base de datos analizada del estudio.

Palabras clave: Café pergamino, calidad física, rendimiento, productores

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the relationship between physical-productivity and economic variables of *Coffea arabica* parchment coffee in producing districts of Cajamarca, Perú, and to analyze its behavior according to purchase type and origin. The research problem focused on determining whether differences existed among commercial and geographic groups, as well as associations between physical quality variables and economic value. A cleaned commercial database was organized into an analytical matrix including moisture, yield, lot weight, unit price, and total amount. Statistical processing was performed in Python using descriptive statistics, analysis of variance, Tukey's test, correlation analysis, and principal component analysis. The results showed that the total amount was higher in wet purchasing than in dry purchasing, although no statistically significant differences were found. The highest correlation was observed between lot weight and total amount ($r = 0.79$). PCA indicated that PC1 and PC2 jointly represented 60.60% of the total variance. It is concluded that the commercial behavior of parchment coffee depended mainly on the interaction between physical-productivity and economic variables under the evaluated conditions of the analyzed study database herein.

Keywords: parchment coffee, physical quality, yield, producing.

* Autor para correspondencia

¹ Universidad Nacional de Jaén-1, Perú. Email: ingfrans@unj.edu.pe, gary.garcia@unj.edu.pe

INTRODUCCIÓN

El café es uno de los cultivos más relevantes del sector agrario peruano por su contribución económica, social y territorial. Además de su importancia en la agroexportación, constituye una fuente esencial de empleo e ingresos para miles de familias rurales vinculadas a la producción, acopio, transformación y comercialización del grano. En el Perú, la caficultura se concentra principalmente en zonas de ceja de selva y montaña, donde cumple un papel estratégico en la dinamización de economías locales y en la articulación de sistemas productivos y mercados rurales (ICO, 2023; MIDAGRI, 2022). En este contexto, Cajamarca destaca como una de las principales regiones cafetaleras del norte peruano, con condiciones agroecológicas favorables para el cultivo de *Coffea arabica* (Rubiaceae). En provincias como Jaén y San Ignacio, la combinación de altitud, precipitación, temperatura y manejo agronómico ha favorecido la producción de cafés con características diferenciadas y potencial de inserción en mercados de mayor valor. Las condiciones de montaña, en particular, promueven una maduración más lenta del fruto, con efectos positivos sobre atributos asociados a la calidad del café (DaMatta et al., 2007; Tolessa et al., 2017). La calidad del café depende de factores que interactúan a lo largo de toda la cadena productiva, entre ellos la genética, la altitud, el sombreado, la fertilización, la madurez del fruto y las prácticas de beneficio, secado y almacenamiento. En el café pergamino, variables como la humedad, el rendimiento y el peso del lote constituyen indicadores clave de su condición comercial y de su potencial de valorización. La humedad influye en la conservación y estabilidad del grano; el rendimiento permite estimar la proporción aprovechable del café luego del proceso de descascarado; y el peso del lote expresa la escala de comercialización, con efectos directos en la negociación y en los ingresos del productor o de la organización cafetalera (Isquierdo et al., 2013; Phitakwinai et al., 2019). A esta dimensión físico-productiva se suma la dimensión económica. El precio unitario y el monto total de venta no solo expresan el valor monetario de la transacción, sino también el grado de articulación del café con mercados convencionales o diferenciados. Actualmente, la cadena de valor del café se orienta hacia esquemas basados en calidad, trazabilidad y sostenibilidad. En particular, los mercados de café de especialidad premian atributos de calidad con mejores precios, mientras que las certificaciones y los mecanismos de trazabilidad fortalecen el posicionamiento comercial, aunque sus beneficios no siempre se distribuyen de manera homogénea entre los actores de la cadena (De Felice et al., 2025; Jacobi et al., 2024; Jones et al., 2024). En América

Latina, y especialmente en el Perú, la caficultura enfrenta presiones derivadas de la variabilidad climática, el incremento de temperaturas, la mayor incidencia de plagas y enfermedades, así como restricciones de financiamiento, asistencia técnica, infraestructura y articulación institucional. En el nororiente peruano, estudios recientes muestran que la vulnerabilidad del sector depende no solo del cultivo, sino también de la capacidad adaptativa de cooperativas, asociaciones y otros actores que facilitan el acceso a recursos, servicios y mercados estratégicos (Campos Trigos et al., 2025; Morales-Reyes et al., 2024). A ello se añade la heterogeneidad territorial y organizativa de la caficultura, así como el efecto del manejo poscosecha y de las modalidades de procesamiento sobre la calidad, la clasificación y la comercialización del café, lo que justifica análisis comparativos según tipo de compra (Freitas et al., 2024; Morales-Reyes et al., 2024; Santos-Rivera et al., 2025). Asimismo, el uso de herramientas multivariadas, como el análisis de componentes principales, ha demostrado utilidad para identificar variables explicativas y sintetizar patrones de diferenciación en sistemas cafetaleros complejos (de Melo et al., 2025).

Sin embargo, persiste una brecha de conocimiento en estudios regionales que integren simultáneamente variables físico productivas y económicas del café pergamino bajo condiciones reales de comercialización. En particular, no se ha establecido con suficiente claridad si dichas variables difieren según tipo de compra y distrito, ni cuáles explican en mayor medida la variabilidad observada en las transacciones comerciales. Esta limitación reduce la disponibilidad de evidencia útil para optimizar los procesos de clasificación, valorización y toma de decisiones en la cadena cafetalera regional.

En consecuencia, el problema de investigación consiste en determinar si existen diferencias en la calidad física, el rendimiento y las variables económicas del café pergamino de *Coffea arabica* según tipo de compra y distrito en Cajamarca, Perú, así como identificar los factores que explican la variabilidad comercial observada. La importancia del estudio radica en su aporte potencial al fortalecimiento de los procesos de evaluación, clasificación y comercialización del café pergamino en territorios productores. Como hipótesis general, se plantea que existen diferencias significativas en las variables físico productivas y económicas del café pergamino según tipo de compra y distrito, y que la interacción entre dichas variables explica la variabilidad observada en las transacciones comerciales.

MATERIALES Y MÉTODOS

1. Diseño de investigación y enfoque

El estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, con diseño no experimental, de tipo observacional, retrospectivo y transversal. La investigación tuvo un alcance descriptivo, comparativo y correlacional, debido a que se analizaron registros de transacciones comerciales de café pergamino sin manipulación de las variables de estudio. El propósito fue evaluar la relación entre variables físico-productivas y económicas del café pergamino, así como identificar diferencias según tipo de compra y distrito de procedencia(Setia, 2016).

2. Área de estudio

El estudio se realizó en distritos productores de café de la provincia de Jaén, departamento de Cajamarca, Perú. Esta zona se caracteriza por su importancia en la producción de *Coffea arabica* (Rubiaceae), bajo condiciones agroecológicas favorables para la caficultura, tales como altitudes intermedias y altas, clima tropical de montaña y sistemas de producción orientados tanto al mercado convencional como al mercado diferenciado.

3. Población y muestra

La población es el conjunto total de unidades de interés y que la muestra es el subconjunto efectivamente analizado, en ese sentido la población estuvo conformada por los registros de transacciones comerciales de café pergamino procedentes de asociaciones y cooperativas cafetaleras de la zona de estudio. La muestra estuvo constituida por 3681 registros, seleccionados a partir de la disponibilidad y consistencia de la base de datos. La unidad de análisis correspondió a cada registro de transacción comercial de café pergamino(Whitley & Ball, 2002).

4. Muestreo

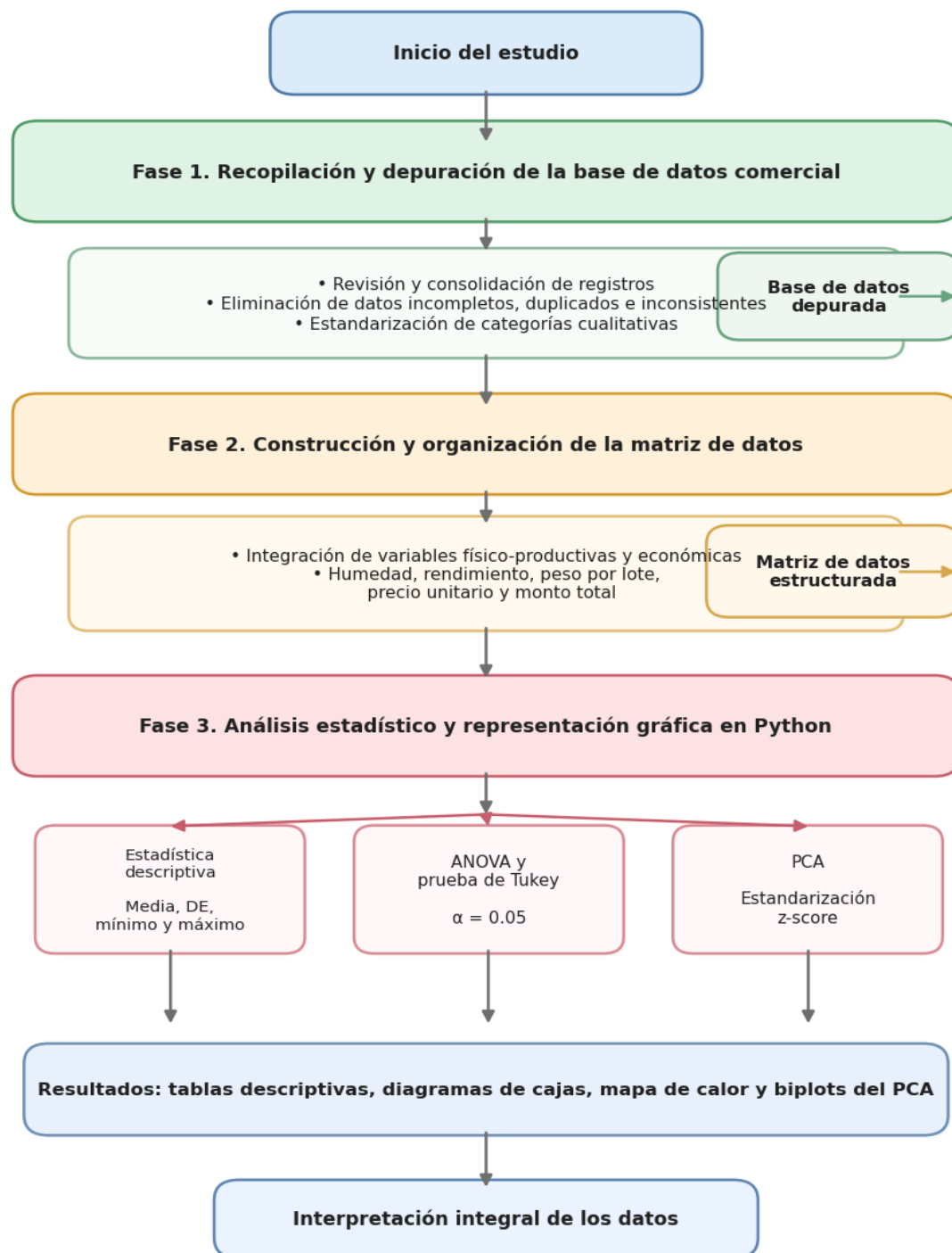
Se empleó un muestreo no probabilístico por conveniencia, entendido como un método basado en la accesibilidad y disponibilidad de la población de estudio. Esta estrategia fue pertinente, ya que la investigación se desarrolló a partir de una base de datos secundaria proporcionada por organizaciones cafetaleras que contaban con información técnica y comercial previamente registrada.(Setia, 2016).

5. Procedimiento

El estudio se ejecutó en tres fases metodológicas. En la primera, se recopiló la base de datos comercial del café pergamino y se realizó su depuración mediante la identificación y eliminación de registros incompletos, duplicados e inconsistentes. Además, se estandarizaron las categorías de las variables cualitativas, especialmente las relacionadas con el tipo de compra y la procedencia geográfica, con el fin de asegurar uniformidad en la codificación y confiabilidad en el procesamiento posterior. En la segunda fase, se construyó la matriz de datos para el análisis estadístico, integrando variables físico-productivas y económicas, entre ellas humedad, rendimiento, peso por lote, precio unitario y monto total. Los valores de humedad fueron obtenidos mediante un equipo medidor de humedad, mientras que el rendimiento se calculó con base en la relación entre el peso del café pergamino y el peso del café obtenido, siguiendo los procedimientos de control de calidad empleados por las organizaciones cafetaleras. En la tercera fase, se efectuó el análisis estadístico mediante Python, empleando librerías especializadas para manipulación, análisis y visualización de datos. Inicialmente, se aplicó estadística descriptiva para caracterizar las variables a través de la media, desviación estándar, valores mínimos y máximos. Posteriormente, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para evaluar diferencias significativas entre distritos y tipos de compra, y cuando estas se identificaron, se aplicó la prueba de comparaciones múltiples de Tukey con un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$. Adicionalmente, se desarrolló un análisis de componentes principales (PCA) para explorar la estructura multivariada de los datos y sintetizar la variabilidad conjunta de las variables físico-productivas y económicas. Previamente, las variables cuantitativas fueron estandarizadas mediante el método z-score para eliminar el efecto de las diferencias de escala y garantizar su comparabilidad. Finalmente, los resultados se presentaron mediante tablas y figuras estadísticas, incluyendo diagramas de cajas, mapas de calor de correlaciones y biplots del PCA.

Figura 1

Diagrama de procesos de la investigación.



Fuente: Elaboración propia

RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados del análisis descriptivo, comparativo y multivariado de las variables físico-productivas y económicas del café pergamino de *Coffea arabica* (Rubiaceae), según tipo de compra y distrito de procedencia. En primer lugar, se muestran los estadísticos descriptivos y las diferencias entre categorías evaluadas; posteriormente, se presentan los resultados del análisis de componentes principales, con el fin de sintetizar la variabilidad conjunta de las variables estudiadas.

1. Estadística descriptiva de las variables evaluadas.

Tabla 1

Medias, desviación estándar y grupos de Tukey de la variable MONTO según tipo de compra del café pergamino.

Factor	Categoría	Variable	Media \pm DE	Grupo Tukey
Tipo de compra	Húmedo	MONTO	5351.63 \pm 13791.30	a
Tipo de compra	Seco	MONTO	4490.15 \pm 11855.08	a

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2

Medias, desviación estándar y grupos de Tukey de las variables R y H según distrito del café pergamino en Cajamarca.

Factor	Categoría(distrito)	Variable	Media \pm DE	Grupo Tukey
Distrito	Ocaylli	R	61.00 \pm 0.00	a
Distrito	La Copia	R	66.92 \pm 5.25	a
Distrito	Colasay	R	70.77 \pm 4.76	a
Distrito	Ortiga	R	69.50 \pm 2.12	a
Distrito	San José del Alto	H	13.00 \pm 1.00	a
Distrito	Huabal	H	14.80 \pm 3.02	a
Distrito	Cutervo	H	15.05 \pm 2.59	a

En la Tabla 1 se presentan las medias, desviación estándar y los grupos de Tukey para la variable económica MONTO según tipo de compra del café pergamino. Descriptivamente, el tipo de compra húmedo registró un mayor valor promedio (5351.63 \pm 13791.30) en comparación con el tipo seco (4490.15 \pm 11855.08). Sin embargo, ambos tratamientos fueron clasificados dentro del mismo grupo de Tukey (a), lo que indica que no se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre los tipos de compra evaluados.

En la Tabla 2 se muestran las medias, desviación estándar y los grupos de Tukey para las variables R y H según distrito del café pergamino en Cajamarca. Para la variable R, los promedios observados fueron 61.00 \pm 0.00 en Ocaylli, 66.92 \pm 5.25 en La Copia, 70.77 \pm 4.76

en Colasay y 69.50 ± 2.12 en Ortiga. En todos los casos, los distritos fueron asignados al mismo grupo de Tukey (a), evidenciando ausencia de diferencias significativas entre ellos. De manera similar, para la variable H, los promedios fueron 13.00 ± 1.00 en San José del Alto, 14.80 ± 3.02 en Huabal y 15.05 ± 2.59 en Cutervo; asimismo, todos pertenecieron al mismo grupo de Tukey (a), por lo que tampoco se encontraron diferencias significativas entre distritos para esta variable.

En conjunto, los resultados muestran que, aunque existen variaciones numéricas en los valores promedio de MONTO, R y H, dichas diferencias no alcanzaron significancia estadística de acuerdo con la prueba de Tukey.

2. Análisis de componentes principales (PCA).

Tabla 3

Autovalores y porcentaje de varianza explicada por los componentes principales

Componente	Autovalor	Varianza (%)	Varianza acumulada (%)
PC1	1.08	21.63	21.63
PC2	1.01	20.22	41.85
PC3	0.99	19.94	61.79
PC4	0.98	19.66	81.45
PC5	0.93	18.54	100.00

Nota: Los dos primeros componentes explican el 41.85 % de la varianza total.

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 3 presenta los autovalores y el porcentaje de varianza explicada por los componentes principales obtenidos a partir de las variables evaluadas. El PC1 explicó el 21.63 % de la varianza total, mientras que el PC2 explicó el 20.22 %. En conjunto, los dos primeros componentes acumularon el 41.85 % de la varianza total. Asimismo, el PC3, PC4 y PC5 explicaron el 19.94 %, 19.66 % y 18.54 %, respectivamente.

Tabla 4

Cargas factoriales de las variables en los componentes principales

Variable	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
Humedad (H)	0.33	-0.52	0.29	0.70	0.21
Rendimiento (R)	-0.63	-0.29	-0.01	0.29	-0.66
Peso lote (PESOKG)	-0.32	-0.42	0.64	-0.50	0.25
Precio unitario (PRECIUPROD)	-0.01	0.65	0.69	0.26	-0.18
Monto total (MONTO)	-0.63	0.21	-0.17	0.33	0.65

Nota: Se resaltan cargas factoriales $\geq |0.40|$.

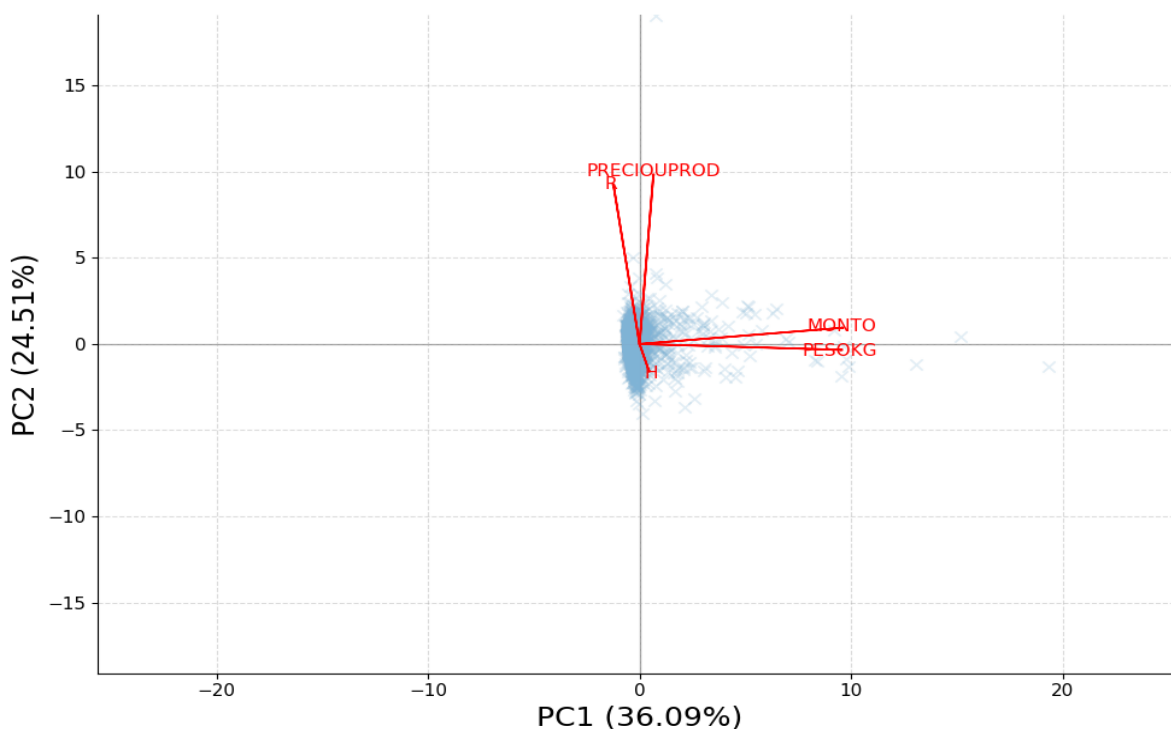
Fuente: Elaboración propia

La Tabla 4 indica que las mayores cargas factoriales en el PC1 correspondieron a R (-0.63) y MONTO (-0.63); en el PC2, a PRECIOUPROD (0.65) y H (-0.52); en el PC3, a PRECIOUPROD (0.69) y PESOKG (0.64); en el PC4, a H (0.70) y PESOKG (-0.50); y en el PC5, a MONTO (0.65) y R (-0.66). Estos resultados indican que la estructura multivariada de los datos quedó representada, en los dos primeros componentes, por una dimensión vinculada principalmente con rendimiento y monto total, y una segunda dimensión asociada con precio unitario, humedad y peso por lote.

3. Representación gráfica del PCA

Figura 2

Biplot del análisis de componentes principales (PCA) de las variables evaluadas en café pergamino.



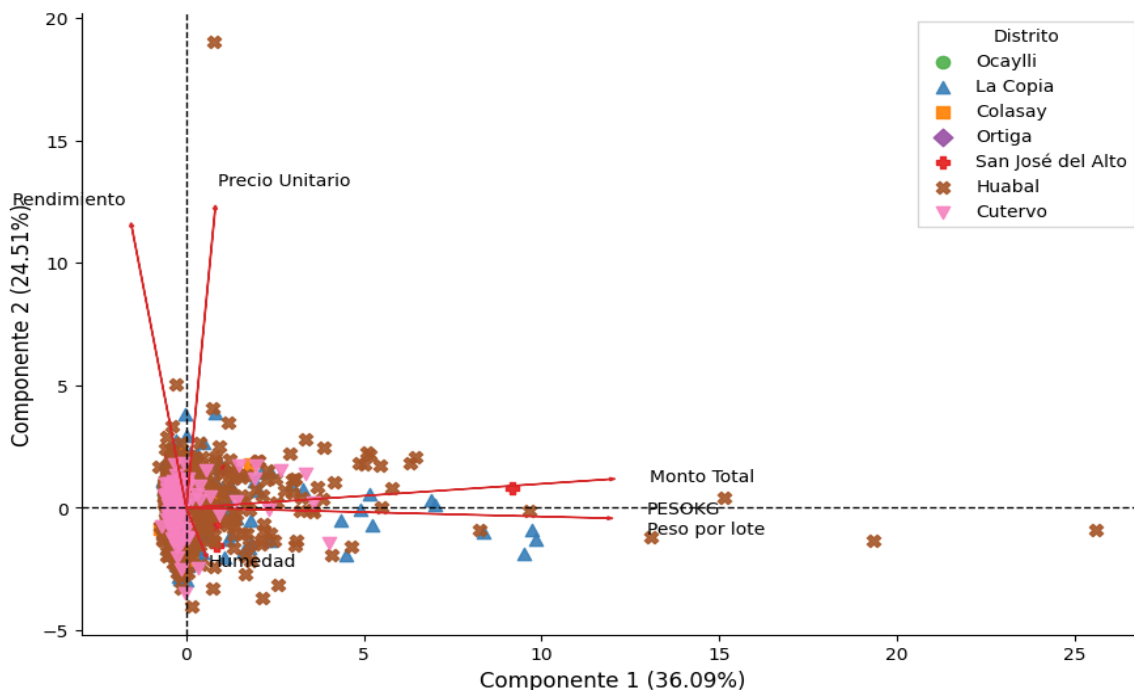
Fuente: Elaboración propia

La figura 2 muestra los resultados donde el PC1 y el PC2 representaron el 36.09 % y 24.51 % de la varianza total, respectivamente. Las variables MONTO y PESOKG se asociaron principalmente con el PC1, mientras que PRECIOUPROD y R lo hicieron con el PC2. En

contraste, H presentó una proyección en sentido opuesto sobre este último componente. La mayor dispersión de las observaciones se registró a lo largo del PC1.

Figura 3

Biplot del análisis de componentes principales (PCA) de las variables físico-productivas y económicas según distrito del café pergamino en Cajamarca



Fuente: Elaboración propia

La figura 3 muestra la distribución de las observaciones según distrito en el plano definido por los dos primeros componentes principales. El componente 1 representó el 36.09 % de la varianza total y el componente 2 el 24.51 %. Las variables Monto Total y Peso por lote (PESOKG) se orientaron principalmente sobre el componente 1, mientras que Precio Unitario y Rendimiento lo hicieron sobre el componente 2. En sentido opuesto, Humedad presentó una proyección negativa sobre este plano. En la distribución de los puntos se observó una mayor dispersión a lo largo del componente 1, con agrupamientos diferenciados entre distritos y algunos valores alejados del centro de la nube de datos.

4. Mapa de calor de correlaciones entre variables.

Tabla 5

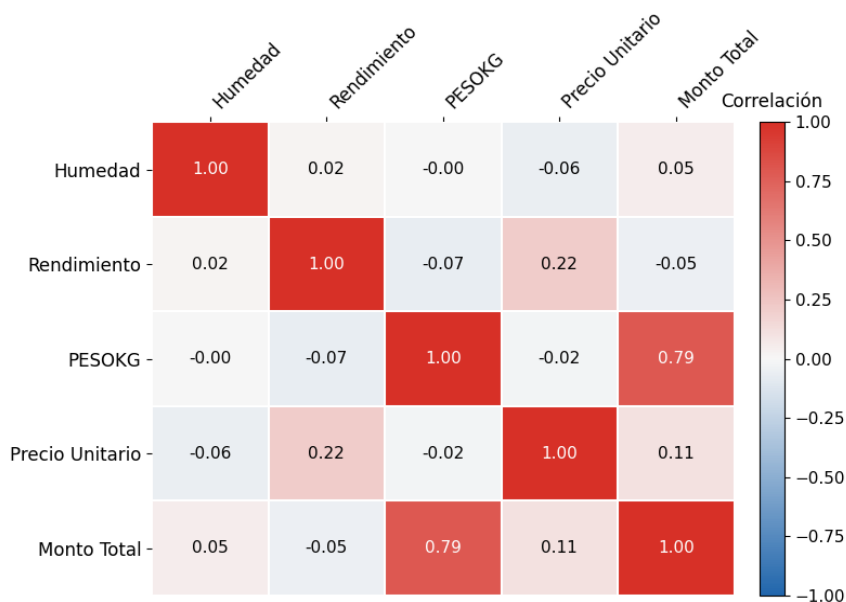
Matriz de correlación entre las variables físico-productivas y económicas del café pergamino.

Variable	Humedad	Rendimiento	PESOKG	Precio Unitario	Monto Total
Humedad	1.00	0.02	-0.00	-0.06	0.05
Rendimiento	0.02	1.00	-0.07	0.22	-0.05
PESOKG	-0.00	-0.07	1.00	-0.02	0.79
Precio Unitario	-0.06	0.22	-0.02	1.00	0.11
Monto Total	0.05	-0.05	0.79	0.11	1.00

La Tabla 5 presenta la matriz de correlación entre las variables físico-productivas y económicas evaluadas en el café pergamino. La relación positiva de mayor magnitud se observó entre PESOKG y Monto Total ($r = 0.79$), indicando que, a mayores valores de peso por lote, mayores fueron los valores de monto total. En contraste, las demás correlaciones fueron bajas o cercanas a cero.

Figura 4

Mapa de calor de las correlaciones entre las variables físico-productivas y económicas del café pergamino.



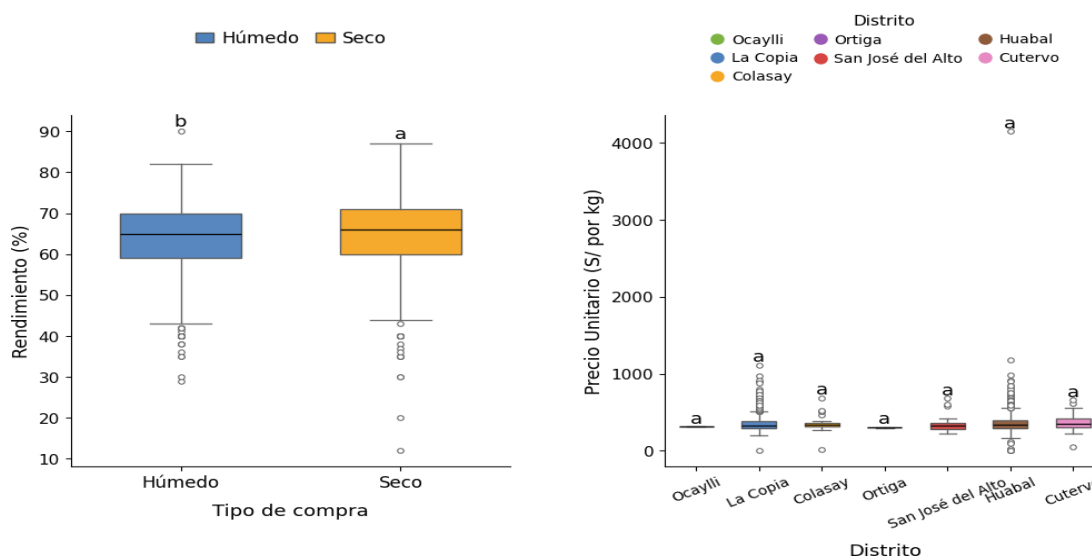
Fuente: Elaboración propia

La Figura 4 presenta la matriz de correlación entre las variables físico-productivas y económicas evaluadas. La correlación positiva de mayor magnitud se registró entre PESOKG y Monto Total ($r = 0.79$). Por otro lado, las demás asociaciones fueron débiles, con valores próximos a cero, sobresaliendo únicamente la relación positiva baja entre Rendimiento y Precio Unitario ($r = 0.22$).

5. Gráfico de cajas y bigotes (boxplot).

Figura 5

Comparación del rendimiento (%) según tipo de compra y del precio unitario (S/ por kg) según distrito del café pergamino



Fuente: Elaboración propia

La figura 5 presenta, en el panel izquierdo, la distribución del rendimiento (%) según tipo de compra, y en el panel derecho, la distribución del precio unitario (S/ por kg) según distrito. En el caso del rendimiento, los tipos de compra húmedo y seco mostraron distribuciones relativamente similares, aunque fueron asignados a grupos distintos en la prueba de Tukey (b para húmedo y a para seco).

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos evidencian que, en términos descriptivos, el café pergamino adquirido en condición húmeda presentó un mayor monto promedio que el adquirido en seco; sin embargo, esta diferencia no alcanzó significancia estadística en la prueba de Tukey. Del mismo modo, las variables rendimiento y humedad no mostraron diferencias significativas entre los distritos evaluados, pese a la existencia de variaciones numéricas entre medias. En conjunto, estos hallazgos sugieren que, para la base de datos analizada, la variabilidad interna de las transacciones fue suficientemente alta como para atenuar la diferenciación estadística entre categorías, particularmente en las variables comerciales. Este patrón es coherente con la naturaleza heterogénea de los sistemas cafetaleros, donde los resultados comerciales no dependen de un único factor, sino de la interacción entre calidad física, volumen comercializado, prácticas poscosecha y condiciones territoriales. La ausencia de diferencias significativas en

humedad y rendimiento entre distritos no implica necesariamente homogeneidad productiva absoluta, sino que puede reflejar que los rangos observados responden a sistemas de manejo relativamente convergentes o a mecanismos de control de calidad similares entre organizaciones cafetaleras. En este sentido, DaMatta et al. (2007) y Tolessa et al. (2017) señalan que la calidad y el comportamiento fisiológico del café están influenciados por factores agroecológicos como altitud, temperatura y condiciones de crecimiento, aunque su expresión final también depende del manejo agronómico y del procesamiento poscosecha. Por ello, aunque los distritos analizados pertenecen a una zona cafetalera con heterogeneidad territorial, es posible que las prácticas de acopio y clasificación hayan reducido parte de esa variabilidad en los registros comerciales. En relación con el tipo de compra, la diferencia observada en la distribución del rendimiento según el boxplot sugiere que la modalidad de adquisición puede estar asociada con cambios en la estabilidad física del lote. Este resultado guarda relación con lo reportado por Morales-Reyes et al. (2024) y Freitas et al. (2024), quienes sostienen que las prácticas poscosecha y las modalidades de acondicionamiento del café influyen en la clasificación comercial, en la conservación de la calidad y en el valor final del producto. En la misma línea, Santos-Rivera et al. (2025) destacan que los procesos poscosecha afectan la trazabilidad y la diferenciación comercial del café, por lo que la distinción entre compra en húmedo y compra en seco constituye una dimensión pertinente para interpretar el comportamiento de las variables evaluadas. La matriz de correlación mostró que la asociación más alta se presentó entre peso por lote y monto total, lo que indica que el volumen comercializado constituye el principal determinante inmediato del valor monetario de la transacción. Esta relación era esperable desde el punto de vista comercial, ya que un mayor peso vendido incrementa directamente el monto total, aun cuando el precio unitario no varíe en la misma proporción. En contraste, las demás correlaciones fueron bajas, incluyendo la relación entre rendimiento y precio unitario. Este resultado sugiere que, en la base analizada, la valorización económica del café pergamino no depende exclusivamente de la calidad física medida por rendimiento o humedad, sino también de factores de mercado, escala del lote y condiciones de negociación. Tal interpretación coincide con De Felice et al. (2025), Jacobi et al. (2024) y Jones et al. (2024), quienes sostienen que la formación del valor en la cadena del café depende simultáneamente de calidad, trazabilidad, diferenciación comercial y articulación con mercados especializados. El análisis de componentes principales permitió profundizar en la estructura conjunta de los datos. Aunque

los dos primeros componentes de la tabla de autovalores acumularon 41.85 % de la varianza total, la representación gráfica del PCA mostró que el plano PC1–PC2 concentró la mayor diferenciación visual entre observaciones, con una estructura donde el monto total y el peso por lote se orientaron principalmente sobre el primer componente, mientras que el precio unitario y el rendimiento lo hicieron sobre el segundo, y la humedad se proyectó en sentido opuesto. Este patrón revela que la variabilidad del sistema comercial del café pergamino se organiza alrededor de dos dimensiones principales: una asociada al tamaño económico de la transacción y otra vinculada con atributos de calidad física y valorización unitaria. La utilidad del PCA para sintetizar este tipo de relaciones multivariadas ha sido destacada por de Melo et al. (2025), quienes señalan que esta herramienta permite identificar variables con mayor capacidad explicativa y diferenciar sistemas productivos complejos. En términos aplicados, los resultados indican que el comportamiento comercial del café pergamino no puede interpretarse únicamente a partir de promedios por distrito o por tipo de compra, sino desde una perspectiva integrada que considere simultáneamente la calidad física, el peso del lote y la valorización económica. Esto resulta particularmente relevante en territorios cafetaleros como Cajamarca, donde la competitividad depende no solo de la producción, sino también de la capacidad de las organizaciones para clasificar, estandarizar y orientar sus decisiones de compra según las condiciones territoriales y comerciales.

CONCLUSIONES

El monto total del café pergamino fue descriptivamente mayor en la compra en húmedo que en la compra en seco; sin embargo, esta diferencia no alcanzó significancia estadística en la prueba de Tukey.

Las variables rendimiento y humedad no presentaron diferencias significativas entre los distritos evaluados, a pesar de las variaciones numéricas observadas en sus medias.

La correlación de mayor magnitud se registró entre el peso por lote y el monto total, lo que evidencia que el volumen comercializado fue el factor más estrechamente asociado al valor económico de la transacción.

El análisis de componentes principales mostró que la estructura multivariada del conjunto de datos estuvo determinada principalmente por una dimensión asociada con monto total y peso por lote, y por otra vinculada con precio unitario, rendimiento y humedad.

En conjunto, los resultados indican que la variabilidad del café pergamino en la base analizada respondió a la interacción entre variables físico-productivas y económicas, más que a diferencias estadísticas marcadas entre distritos o tipos de compra.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Campos Trigoso, J. A., Rituay, P., Aldea, C., Bustos Chavez, M. del P., García, L., & Ramos-Sandoval, R. (2025). Sensitivity and Adaptive Capacity to Climate Change in Organised Coffee Growers in Amazonas, Peru. *Sustainability*, *17*(23), 10666. <https://doi.org/10.3390/su172310666>
- DaMatta, F. M., Ronchi, C. P., Maestri, M., & Barros, R. S. (2007). Ecophysiology of coffee growth and production. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, *19*, 485-510. <https://doi.org/https://doi.org/10.1590/S1677-04202007000400014>
- De Felice, F., Rehman, M., Petrillo, A., & Baffo, I. (2025). Decoding the coffee supply chain: A systematic review of stakeholders, sustainability opportunities, and challenges. *Sustainable Futures*, *10*, 101105. <https://doi.org/10.1016/j.sfr.2025.101105>
- de Melo, G. A., de Castro Júnior, L. G., Peixoto, M. G. M., Barbosa, S. B., da Costa, J. S., Mendonça, M. C. A., Serrano, A. L. M., Ferreira, L. O. G., & Gonçalves, M. C. (2025). Performance Analysis of the Main Coffee-Producing Regions in Brazil: A Methodological Triangulation Based on Principal Component Analysis and Data Envelopment Analysis. *Sustainability*, *17*(23), 10688. <https://doi.org/10.3390/su172310688>
- Freitas, V. V., Borges, L. L. R., Vidigal, M. C. T. R., dos Santos, M. H., & Stringheta, P. C. (2024). Coffee: A comprehensive overview of origin, market, and the quality process. *Trends in Food Science & Technology*, *146*, 104411. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104411>
- ICO. (2023). *International Coffee Organization*. <https://ico.org/>

- Isquierdo, E. P., Borem, F. M., Andrade, E. T. de, Correa, J. L. G., Oliveira, P. D. de [UNESP, & Alves, G. E. (2013). *Drying kinetics and quality of natural coffee*. <https://doi.org/10.13031/trans.56.9794>
- Jacobi, J., Lara, D., Opitz, S., de Castelberg, S., Urioste, S., Irazoque, A., Castro, D., Wildisen, E., Gutierrez, N., & Yeretizian, C. (2024). Making specialty coffee and coffee-cherry value chains work for family farmers' livelihoods: A participatory action research approach. *World Development Perspectives*, 33, 100551. <https://doi.org/10.1016/j.wdp.2023.100551>
- Jones, K., Njeru, E. M., Garnett, K., & Girkin, N. (2024). Assessing the Impact of Voluntary Certification Schemes on Future Sustainable Coffee Production. *Sustainability*, 16(13), 5669. <https://doi.org/10.3390/su16135669>
- MIDAGRI. (2022). *Observatorio de commodities Café*. <http://repositorio.midagri.gob.pe:80/jspui/handle/20.500.13036/1291>
- Morales-Reyes, E. I., Bolaños-González, M. A., Escamilla-Prado, E., & Libert-Amico, A. (2024). POST-HARVEST PRACTICES FOR THE PRODUCTION OF SPECIALTY COFFEES IN CHIAPAS, MEXICO. *Agrociencia*, 1-14. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v58i5.2880>
- Phitakwinai, S., Thepa, S., & Nilnont, W. (2019). Thin-layer drying of parchment *Arabica coffee* by controlling temperature and relative humidity. *Food Science & Nutrition*, 7(9), 2921-2931. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1144>
- Santos-Rivera, M., Viswanathan, L., & Sheibani, F. (2025). Enhancing Coffee Quality and Traceability: Chemometric Modeling for Post-Harvest Processing Classification Using Near-Infrared Spectroscopy. *Spectroscopy Journal*, 3(2), 20. <https://doi.org/10.3390/spectroscj3020020>

Setia, M. S. (2016). Methodology Series Module 3: Cross-sectional Studies. *Indian Journal of Dermatology*, 61(3), 261-264. <https://doi.org/10.4103/0019-5154.182410>

Tolessa, K., D'heer, J., Duchateau, L., & Boeckx, P. (2017). Influence of growing altitude, shade and harvest period on quality and biochemical composition of Ethiopian specialty coffee. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(9), 2849-2857. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8114>

Whitley, E., & Ball, J. (2002). Statistics review 2: Samples and populations. *Critical Care*, 6(2), 143. <https://doi.org/10.1186/cc1473>

ARTÍCULO ORIGINAL

Portación nasal y susceptibilidad antimicrobiana de *Staphylococcus aureus* en adolescentes de instituciones educativas de San Juan de Cutervo, Perú

Nasal carriage and antimicrobial susceptibility of *Staphylococcus aureus* in adolescents from educational institutions in San Juan de Cutervo, Perú

Christian Rivera ¹ , Sarai Paysig ² , Anyela Ramírez ³ , Yan Díaz ⁴ , Lennin Regalado ⁵  y Yuidip Reyes ⁶ 

RESUMEN

Este estudio tuvo como objetivo evaluar la frecuencia y la susceptibilidad antimicrobiana de *Staphylococcus aureus* en adolescentes de dos instituciones educativas en el distrito de San Juan de Cutervo-2025. El estudio fue observacional, descriptivo y transversal. Se recolectaron 100 muestras nasales, las cuales fueron transportadas en Medio de Transporte Stuart-Amies para asegurar la fiabilidad de la muestra. Para el aislamiento se utilizó Agar manitol salado y su identificación bioquímica se realizó con la prueba catalasa y coagulasa. Asimismo, para el antibiograma se utilizó el método de disco difusión de Kirby-Bauer, conforme a los estándares del Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI), empleando discos de ampicilina, ciprofloxacino, vancomicina, clindamicina y amoxicilina-ácido clavulánico. Se identificó frecuencia del 24% de *S. aureus* en hisopados nasales de adolescentes de dos I.E. de San Juan de Cutervo, predominando en la Institución Educativa 2 (58,3%). Las 24 cepas mostraron resistencia a ampicilina (91,7%), una sensibilidad a vancomicina del (100%), y susceptibilidad intermedia a ciprofloxacino (83,3% S), clindamicina (66,7% S) y amoxicilina-ácido clavulánico (66,7% S). Las conclusiones sugieren la implementación de programas educativos sobre el uso racional de antibióticos y la vigilancia microbiológica.

Palabras clave: Antibióticos, portador nasal, adolescente, vigilancia epidemiológica

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the frequency and antimicrobial susceptibility of *Staphylococcus aureus* in adolescents from two educational institutions in the district of San Juan de Cutervo-2025. The study was observational, descriptive, and cross-sectional. One hundred nasal samples were collected and transported in Stuart-Amies transport medium to ensure sample reliability. Salted mannitol agar was used for isolation, and biochemical identification was performed using the catalase and coagulase tests. Likewise, the Kirby-Bauer disc diffusion method was used for the antibiogram, in accordance with CLSI M100 standards, using ampicillin, ciprofloxacin, vancomycin, clindamycin, and amoxicillin-clavulanic acid discs. A frequency of 24% of *S. aureus* was identified in nasal swabs from adolescents from two educational institutions in San Juan de Cutervo-2025, with a predominance in the 2 educational institution (58.3%). The 24 strains showed resistance to ampicillin (91.7%), sensitivity to vancomycin (100%), and intermediate profiles to ciprofloxacin (83.3% S), clindamycin (66.7% S), and amoxicillin-clavulanic acid (66.7% S). The conclusions suggest the implementation of educational programs on the rational use of antibiotics and microbiological surveillance.

Keywords: Antibiotics, nasal carriage, adolescent, epidemiological surveillance

* Autor para correspondencia

¹Universidad Nacional de Jaén, Perú. Email: christian.rivera@unj.edu.pe, anyela.paysig@est.unj.edu.pe, ramirez@est.unj.edu.pe, yan.diaz@est.unj.edu.pe, regaladopalacioslennin@gmail.com, yuidip.reyes@est.unj.edu.pe

INTRODUCCIÓN

Staphylococcus aureus es una bacteria grampositiva en forma de cocos, coloniza fosas nasales y axilas en 25-35% de la población, causando infecciones comunitarias y nosocomiales en piel, tejidos blandos, sistemas cardiovascular, renal y respiratorio, asociadas a síndrome de choque tóxico y sepsis (Abdullahi et al., 2025; Rasheed & Hussein, 2020).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) clasifica a *S. aureus* como patógeno prioritario por su resistencia a betalactámicos, vancomicina, daptomicina y linezolid en respuesta al uso excesivo de antibióticos, perteneciente al grupo ESKAPE (*Enterococcus faecium*, *Staphylococcus aureus*, *Klebsiella pneumoniae*, *Acinetobacter baumannii*, *Pseudomona aeruginosa* y *Enterobacter species*) de máxima prioridad global (Barrios et al., 2025; WHO Bacterial Priority Pathogens List, 2024).

Asimismo, *S. aureus* presenta una incidencia de 20-50 casos/100,000 habitantes-año, mortalidad 10-30%, 20,000 muertes por bacteriemia en EE.UU. (2017) y 37,500 globales (2019), siendo el principal causante de celulitis/fascitis necrotizante en UCI (Guo et al., 2020; Izco Tormo & Cía Urriaga, 2023; Linz et al., 2023; Herrero et al., 2024). En el contexto latinoamericano, se ha alertado sobre la presencia de *S. aureus* en niños y adolescentes sanos, donde la portación nasal actúa como el principal reservorio para la diseminación de cepas con resistencia a la metilicina en la comunidad (García et al., 2021).

En el Perú, esta situación es crítica en poblaciones jóvenes; investigaciones en el norte y centro del país han reportado que aproximadamente uno de cada cinco estudiantes es portador nasal de esta bacteria, presentando perfiles de multiresistencia que complican el tratamiento de infecciones comunes (Alvarado-Palacios et al., 2021; Horna et al., 2020). La prevalencia nasal de *Staphylococcus aureus* metilicina resistente (MRSA) alcanza 28% en estudiantes de medicina (33% fase clínica vs. 25% preclínica), pero escasean estudios en escolares con índices de resistencia antimicrobiana múltiple (MAR) (Abdoli et al., 2021; Abdullahi et al., 2025).

En el distrito de San Juan de Cutervo (Cajamarca, 2070 msnm; 6°10'27"S 78°35'55"O), no existen estudios locales sobre portación nasal de *Staphylococcus aureus* en adolescentes como reservorios comunitarios.

En base a lo descrito el objetivo del estudio fue determinar la frecuencia de portación nasal y el perfil de susceptibilidad antimicrobiana de *Staphylococcus aureus* en adolescentes de dos instituciones educativas del distrito de San Juan de Cutervo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño de estudio

Se realizó un estudio observacional, descriptivo y transversal en adolescentes de dos instituciones educativas del distrito de San Juan de Cutervo.

Consideraciones éticas

Se obtuvo el consentimiento informado escrito de padres/tutores y asentimiento verbal de adolescentes. Además, se garantizó la confidencialidad de datos y riesgos mínimos según Código Niños y Adolescentes (Ley 27337). Por otro lado, para preservar la confidencialidad institucional, las instituciones educativas fueron codificadas como **IE-1** e **IE-2**

Población y muestra

La población estuvo constituida por estudiantes adolescentes de dos instituciones educativas del distrito de San Juan de Cutervo, Provincia de Cutervo, departamento de Cajamarca. La muestra estuvo conformada por 100 estudiantes, de los cuales 50 pertenecían a la institución educativa 1 y 50 a la institución educativa 2. El muestreo fue no probabilístico intencional de tipo exploratorio debido a la accesibilidad de la población estudiantil y a las consideraciones logísticas propias del trabajo de campo en instituciones educativas rurales, se seleccionó a los estudiantes que aceptaron participar voluntariamente y contaban con el consentimiento informado correspondiente. Se excluyeron aquellos estudiantes que habían recibido tratamiento antibiótico en las dos semanas previas a la toma de muestra.

Los resultados deben interpretarse como representativos de la población estudiada, sin generalización directa a toda la población del distrito

Recolección de muestras

Las muestras fueron extraídas mediante hisopado nasal con el Medio de Transporte Stuart-Amies para asegurar la fiabilidad de la muestra. Las muestras fueron almacenadas en un cooler y transportadas al laboratorio de Microbiología de la Universidad.

Aislamiento e identificación

Las muestras fueron previamente rotuladas y sembradas mediante estriado simple en agar Manitol Salado. Posterior a ello fueron incubadas a 37° durante 24 horas (Forbes et al., 2007; Duran et al.,2004).

A partir de la cepa se elaboró un extendido sobre un portaobjetos, que posteriormente fue sometido al procedimiento de tinción de Gram, revelando cocos grampositivos en disposición de racimos. Para la prueba de catalasa, se procedió a esterilizar el asa bacteriológica, tomar una colonia aislada de cada placa y depositarla en la lámina portaobjetos en la cual se añadió una gota de H₂O₂ al 3%. La formación de burbujas fue interpretada como resultado positivo característica del género *Staphylococcus* (Murray et al., 2021).

En la prueba de coagulasa, se utilizó plasma que se obtuvo de sangre centrifugada a 3,500 rpm durante cinco minutos y tratada con anticoagulante. Con un asa bacteriológica se dispuso tres a cuatro colonias de cultivo puro en un tubo estéril y 0,5 ml del plasma resultante se usó para mezclarlas. Se confirmó la presencia de *Staphylococcus aureus* coagulasa positiva después de incubar durante cuatro horas a 36.5 °C y comprobar que se habían formado coágulos (Vásquez et al., 2025; Koneman et al.,2008).

Preparación del inóculo

Una suspensión de *Staphylococcus aureus* fue elaborada, con un asa bacteriológica se tomó de 2 a 3 colonias y se transfirieron a un tubo estéril con 3ml a 5ml con solución salina de NaCl al 0,9% que se estandarizó con el tubo Número 0.5 del Nefelómetro de Mc Farland ($1,5 \times 10^8$ UFC/mL) (Vásquez et al., 2025).

Susceptibilidad antimicrobiana

Para la evaluación de la susceptibilidad antimicrobiana se utilizó el método de difusión (Kirby-Bauer) según la normativa CLSI M100, 35^a ed. 2025 (Clinical and Laboratory Standards Institute.; 2025; Pardo, 2022; Cavalieri et al.,2005). El inóculo se distribuyó sobre placas de agar Mueller–Hinton de 4mm de espesor mediante un hisopo estéril, con el fin de obtener una superficie uniforme de crecimiento. Posteriormente, se colocaron los discos de ampicilina (10 ug), ciprofloxacino (5 ug), vancomicina (30 ug), clindamicina (2ug) y amoxicilina + ácido clavulánico (20 µg amoxicilina + 10 µg ácido clavulánico), a una distancia de 24 mm de centro

a centro entre discos. Tras el periodo de 24 horas de incubación, se procedió a la medición de los halos de inhibición formados alrededor de cada disco.

Finalmente, los diámetros de los halos de inhibición fueron medidos en milímetros y clasificados como sensibles (S), intermedios (I) o resistentes (R) de acuerdo con los puntos de corte establecidos por el Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI M100, 35ª ed., 2025). Los criterios interpretativos utilizados fueron: ampicilina (S \geq 29 mm; R \leq 28 mm), ciprofloxacino (S \geq 21 mm; I = 16–20 mm; R \leq 15 mm), clindamicina (S \geq 21 mm; I = 15–20 mm; R \leq 14 mm) y amoxicilina/ácido clavulánico (S \geq 20 mm; I = 17–19 mm; R \leq 16 mm).

Análisis estadístico utilizado

Se calcularon frecuencias y proporciones para las variables categóricas. La prevalencia de *Staphylococcus aureus* se estimó con su correspondiente **intervalo de confianza del 95% (IC95%)**, utilizando el método binomial de Wilson. El análisis estadístico se realizó con el software SPSS versión 27.

RESULTADOS

Frecuencia de *Staphylococcus aureus*

Se analizaron 100 muestras de hisopado nasal, 50 de la I.E 1 y 50 de la I.E 2. Un total de 24 cepas fueron aisladas e identificadas como *Staphylococcus aureus* (**IC95%: 16.7–33.2**). Las mayores frecuencias correspondieron a al I.E. 2(58,33%).

Tabla 1

Distribución de la portación nasal de Staphylococcus aureus en estudiantes según institución educativa

Institución educativa	n	%	IC95%
I.E 2	14	58,33	38,0-76,9
I.E 1	10	41,67	23,1-62,0
Total	24	100	16,7-33,2

Fuente: Datos del estudio. Nota: Muestras positivas confirmadas por pruebas bioquímicas (catalasa, coagulasa).

Susceptibilidad de *Staphylococcus aureus* frente a ampicilina, ciprofloxacino, vancomicina, clindamicina, amoxicilina +ácido clavulánico.

En la evaluación del perfil de susceptibilidad, la vancomicina destacó como el fármaco con mayor eficacia, al no registrarse cepas resistentes. En contraste, la Ampicilina presentó la tasa de resistencia más elevada (91,67%) entre todos los fármacos evaluados.

En relación con los agentes no penicilínicos, el ciprofloxacino mostró una alta sensibilidad (83,33%), mientras que la clindamicina y la amoxicilina con ácido clavulánico exhibieron niveles moderados de resistencia y sensibilidad intermedia (66,67%) (Tabla 2).

Tabla 2

Susceptibilidad de Staphylococcus aureus a los Antimicrobianos

Susceptibilidad Antibiótica de <i>S. aureus</i>								
Antibióticos	R		I		S		Total	
	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%
Ampicilina (10 ug)	22	91,67	0	0	2	8,33	24	100
Ciprofloxacino(5ug)	1	4,17	3	12,50	20	83,33	24	100
Vancomicina (30 ug)	0	0	0	0	24	100	24	100
Clindamicina(2ug)	6	25	2	8,33	16	66,67	24	100
Amoxicilina+Ac.Clavulánico (20/10 µg)	4	16,67	4	16,67	16	66,67	24	100

DISCUSIÓN

Respecto a la susceptibilidad antimicrobiana, se encontró resistencia a ampicilina de 91,67% (IC95%: 80.0-100%), lo que es concordante con lo reportado por Gómez (2016), quienes, en un hospital de Maracaibo, Venezuela, documentaron >90% de resistencia a penicilinas simples en cepas MDR de *Staphylococcus aureus*, lo que podría estar asociada a la producción de β -lactamasas que hidrolizan el anillo β -lactámico, como describe la revisión de Baptista (2025), aunque este mecanismo no fue evaluado en el presente estudio.

Por el contrario, *S. aureus* frente a la vancomicina mostró sensibilidad del 100% (IC95%: 85.8-100%), resultado idéntico al observado por Castellano-González (2018) en pacientes ingresados en las Unidades de Cuidados Intensivos del Servicio Autónomo Hospital Universitario de Maracaibo durante el período enero 2011-diciembre 2015. La sensibilidad de *Staphylococcus*

aureus se debería a su inhibición intacta de la síntesis de pared celular por unión al precursor D-Ala-D-Ala, mecanismo preservado según Li (2025).

En cambio, frente a ciprofloxacino mostró sensibilidad de 83.3% (IC95%: 66.4-95.3%) y resistencia de 4.17%, patrón similar al descrito por Zerpa (2016) en Venezuela, probablemente asociado a preservación del ADN girasa y topoisomerasa IV por baja presión selectiva, como reporta Villalobos (2024).

La resistencia a clindamicina (25%; IC95%: 10.7-43.7%) y amoxicilina/ácido clavulánico (16.67%; IC95%: 5.8-34.7%) es comparable con Gómez et al. (2016) (23,6% clindamicina) y Castro et al. (2018) (~15-20% combinaciones β -lactamasas). Esta resistencia podría explicarse por metilación ribosómica inducible por genes *erm* en clindamicina según Díaz (2024), y β -lactamasas de espectro extendido parcialmente inhibidas por clavulánico en combinaciones betalactámicas como detalla Silva (2025).

Estos resultados sugieren limitar penicilinas simples en infecciones comunitarias por *S. aureus* en escolares, priorizando pruebas de susceptibilidad o fluoroquinolonas en casos leves. La vancomicina se reserva para infecciones graves.

La frecuencia de portadores (24%; IC95%: 16.0-34.6%) no mostró diferencias significativas entre instituciones ($\chi^2=1.33$, $p=0.248$), posicionando a estudiantes como reservorios potenciales, facilitando la transmisión intrafamiliar e intrahospitalaria.

Limitaciones del estudio, muestra no probabilística (n=100), diseño transversal, ausencia tipificación molecular MRSA y variables sociodemográficas.

Se sugiere vigilancia prospectiva anual con hisopado nasal y faríngeo, junto con programas educativos sobre higiene de manos y uso racional de antibióticos adaptados al perfil local. Estos hallazgos subrayan la necesidad de políticas locales de administración de antimicrobianos en entornos escolares para mitigar la diseminación de *Staphylococcus aureus* resistente en el distrito de San Juan de Cutervo.

CONCLUSIONES

Se demostró que *Staphylococcus aureus* colonizo nasalmente al 24% de adolescentes secundarios en dos instituciones educativas del distrito de San Juan de Cutervo. La mayor frecuencia de aislamientos se registró en la I.E. 2 Cutervo comparada con la I.E.1.

Asimismo, la susceptibilidad antimicrobiana de *Staphylococcus aureus*, exhiben resistencia extrema a ampicilina, sensibilidad absoluta a vancomicina y perfiles intermedios ante ciprofloxacino, clindamicina y amoxicilina-ácido clavulánico. Este patrón confirma variabilidad en la respuesta antimicrobiana de reservorios comunitarios escolares.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdoli Oskouie Y, Abbasi-Asl M, Taghavi Zonouz A, Pashazadeh F, Abdoli Oskouie S, et al. Prevalence of *Staphylococcus aureus* Nasal Carriage and Methicillin-resistant *S. aureus* Among Medical Students: A Systematic Review and Meta-analysis. *Jundishapur J Microbiol.* 2021;13(11):e111125. <https://doi.org/10.5812/jjm.111125>.
- Abdullahi, S., Abdullahi, I. N., Adekola, H. A., Baamlong, N., Dangana, A., Usman, Y., Ahmad, A. E., Salisu, S., & Abdulaziz, M. M. (2025). Nasal carriage rate and multiple antimicrobial resistance indices of *Staphylococcus aureus* among healthcare students at the Ahmadu Bello University, Nigeria. *African journal of laboratory medicine*, 14(1), 2667. <https://doi.org/10.4102/ajlm.v14i1.2667>
- Alvarado-Palacios, R. J., Díaz-Peralta, J. J., & Quiñones-García, J. E. (2021). Frecuencia y susceptibilidad antimicrobiana de *Staphylococcus aureus* en portadores nasales de una comunidad universitaria. *Revista del Cuerpo Médico Hospital Nacional Almanzor Aguinaga Asenjo*, 14(3), 323-328. <https://doi.org/10.35434/rcmhnaaa.2021.143.1251>
- Baptista Faria, L. P., Horn da Cruz, M., & Teixeira, R. da S. (2025). Perfil de resistência de *Staphylococcus Aureus* aos antimicrobianos beta-lactâmicos: uma revisão bibliográfica. *Tudo é Ciência: Congresso Brasileiro De Ciências E Saberes Multidisciplinares*, (3), 1–6. <https://doi.org/10.47385/tudoeciencia.1948.2024>

- Barrios Leiva, J. C., Samudio Acevedo, M., Guillén Fretes, R. M., Fariña, N., Vega, A., Pereira Fariña, A., & Rodríguez Acosta, F. (2025). Patrones y tendencias de resistencia antimicrobiana de *Staphylococcus aureus* aislados en un laboratorio privado de Paraguay entre 2020 y 2024. *Medicina Clínica y Social*, 9(1), Article e598. <https://doi.org/10.52379/mcs.v9.598>
- Castellano-González, M. J., Franquis-Rodríguez, R. M., Perozo-Mena, A. J., & Sandoval-Castellano, I. V. (2020). Susceptibilidad a meticilina y vancomicina en *Staphylococcus aureus* aislados de hemocultivos. *Kasmera*, 48(1), Article e48128122019. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3712378>
- Castro Orozco, R., Villafañe Ferrer, L., Rocha Jiménez, J. ., y Alvis Guzmán, N. . (2018). Resistencia antimicrobiana en *staphylococcus aureus* y *staphylococcus epidermidis* : tendencia temporal (2010-2016) y fenotipos de multirresistencia, Cartagena (Colombia). *Biosalud*, 17(2), 25–36. <https://doi.org/10.17151/biosa.2018.17.2.2>
- Cavaliere, S. J., Harbeck, R. J., McCarter, Y. S., Ortez, J. H., Rankin, I. D., Sautter, R. L., Sharp, S. E., y Spiegel, C. A. (2005). *Manual de Pruebas de Susceptibilidad Antimicrobiana* (M. B. Coyle, Ed.). American Society for Microbiology
- Clinical and Laboratory Standards Institute. (2025). *Performance Standards for Antimicrobial Susceptibility Testing* (35.^a ed., Suplemento CLSI M100).
- Díaz-Peralta, J. J., Alvarado-Palacios, R. J., & Quiñones-García, J. E. (2021). Frecuencia y susceptibilidad antimicrobiana de *Staphylococcus aureus* en portadores nasales de una comunidad universitaria. *Revista del Cuerpo Médico Hospital Nacional Almanzor Aguinaga Asenjo*, 14(3), 323-328.
- Durán Vila, A., Zhurbenko, R., & Viera Oramas, D. R. (2004). Propuesta de una modificación en la formulación del medio agar manitol salado utilizado en el aislamiento de

estafilococos de importancia clínica. *Revista Cubana de Medicina Tropical*, 56(3), 172-177.

Forbes, B. A., Sahm, D. F., & Weissfeld, A. S. (2007). *Bailey & Scott's diagnostic microbiology* (12th ed.). Elsevier Mosby.

García, C., Pérez, G., & Pardo, L. (2021). Portación nasal de *Staphylococcus aureus* en población pediátrica sana: prevalencia y perfil de resistencia. *Archivos de Pediatría del Uruguay*, 92(1), e204.
http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1688-12492021000101204

Gómez-Gamboa, L., Núñez-Chacín, D., Perozo-Mena, A., Bermúdez-González, J., & Marín, M. (2016). *Staphylococcus aureus* con resistencia múltiple a los antibióticos (MDR) en un Hospital de Maracaibo-Venezuela. *Kasmera*, 44(1), 53-65.

Guo, Y., Song, G., Sun, M., Wang, J., & Wang, Y. (2020). Prevalence and therapies of antibiotic-resistance in *Staphylococcus aureus*. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 10, Article 107. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2020.00107>

Herrero Díaz, A., López Berrio, S., Rodríguez Villavicencio, K., Paz Treto, J. L., & Cárdenas López, L. (2024). Resistencia antimicrobiana de *Staphylococcus aureus* aislado en cultivos del laboratorio de Microbiología, Hospital Mártires del 9 de abril. *Columna Médica*, 3, Article e165.

Horna, G. J., Silva, M., Vizcarra, J., & Jacobs, J. (2020). Colonización nasal por *Staphylococcus aureus* resistente a meticilina en estudiantes de una facultad de salud en Lima, Perú. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 37(1), 112-117. <https://doi.org/10.17843/rpmesp.2020.371.4727>

- Izco Tormo, I., & Cía Urtiaga, A. (2023). Prevalencia de *Staphylococcus aureus* resistentes a meticilina en estudiantes de la Escuela Sanitaria Técnico profesional de Navarra. *Analíticos*, 5, 103–109. <https://ainves.org/an52023103109>
- Koneman, E. W., Allen, S. D., Janda, W. M., Procop, G. W., Schreckenberger, P. C., & Woods, G. L. (2008). *Diagnóstico microbiológico: Texto y atlas* (6th ed.). Editorial Médica Panamericana.
- Li, J., Cheng, F., Wei, X., Bai, Y., Wang, Q., Li, B., Zhou, Y., Zhai, B., Zhou, X., Wang, W., & Zhang, J. (2025). *Staphylococcus aureus* resistente a la meticilina (SARM): Resistencia, prevalencia y estrategias de afrontamiento. *Antibióticos*, 14(8), Article 771. <https://doi.org/10.3390/antibiotics14080771>
- Linz, M. S., Mattappallil, A., Finkel, D., & Parker, D. (2023). Clinical impact of *Staphylococcus aureus* skin and soft tissue infections. *Antibiotics*, 12(3), Article 557. <https://doi.org/10.3390/antibiotics12030557>
- Murray, P. R., Rosenthal, K. S., & Pfaller, M. A. (2021). *Medical microbiology* (9th ed.). Elsevier.
- Pardo, L, Telechea, H, Martínez, Z, Perdomo, R, Pereira, B, Perini, A, Pica, M, Pires, A, Puschnegg, L, Giachetto, G y Varela, G. (2022.). *Portación nasal de Staphylococcus aureus en el personal de salud de áreas críticas de un Hospital Pediátrico durante julio-setiembre 2018*. EN: Anales de la Facultad de Medicina. 2022;9(1). 5 p. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/32264>
- Rasheed, N. A., & Hussein, N. R. (2020). Prevalence of nasal carriage rate and antimicrobial susceptibility testing of *Staphylococcus aureus* strains isolated from Syrian students in Kurdistan, Iraq. *Middle East Journal of Rehabilitation and Health Studies*, 7(3), Article e103394. <https://doi.org/10.5812/mejrh.103394>



- Silva-Caso, W., Aguilar-Luis, M. A., Mazulis, F., Sandoval, I., del Valle-Mendoza, J., & Etchecondo, I. (2020). *Staphylococcus aureus* resistant to methicillin (MRSA) in Lima, Peru: Prevalence and molecular genetic characterization. *PLOS ONE*, *15*(7), e0236377. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0236377>
- Vásquez Requejo, J. J., Quiroz Zárata, F. A., Sánchez Mego, D. A., Pesantes Corcuera, P. E., Julca Alarcón, K. A., & Rivera Salazar, C. A. (2025). Susceptibilidad antibiótica de *Staphylococcus aureus* procedentes de quesos artesanales expendidos en mercados de Jaén. *Revista Científica Dékamu Agropec*, *6*(1), 01–06. <https://doi.org/10.55996/dekamuagropec.v6i1.259>
- Villalobos, A., et al. (2024). Nueve años de tendencia en la resistencia a ciprofloxacina en *Staphylococcus aureus*. *Cadernos de Saúde Pública*, *40*(7), Article e00031723. <https://www.scielosp.org/article/csp/2024.v40n7/e00031723/>
- World Health Organization. (2024). *WHO bacterial priority pathogens list, 2024: Bacterial pathogens of public health importance, to guide research, development, and strategies to prevent and control antimicrobial resistance* (1st ed.).
- Zerpa, R., Briceño, A., García, J., & Rodríguez, L. (2016). *Staphylococcus aureus* con resistencia múltiple a los antibióticos en un hospital venezolano. *Revista Científica*, *26*(1), 8-16.

ARTÍCULO DE REVISIÓN

Comportamiento sísmico de edificaciones mediante el análisis estático y dinámico: Una revisión literaria

Seismic behavior of buildings by static and dynamic analysis: A literature review

Heistin Tenorio ¹ , Billy Cayatopa ² , May Venegas ³ , Elena Campos ⁴ , Emely Marrufo ⁵ , José Piedra ⁶ *

Juan Coronel ⁷  y Freddi Rodriguez ⁸ 

RESUMEN

El comportamiento sísmico de edificios de concreto armado es un tema central en ingeniería. Estudios experimentales han buscado caracterizar la respuesta real de estas estructuras para comparar métodos de análisis estático y dinámico frente a sismos intensos. Por tal motivo, la presente investigación tiene por objetivo comparar los resultados obtenidos a partir de análisis estático y dinámico con énfasis en datos cuantitativos como derivas, desplazamientos y aceleraciones. Se planteó criterios normativos y observaciones experimentales, y se empleó búsqueda sistemática en Scopus, Web of Science, SciELO y Google Acad., con inclusión de ensayos dinámicos de edificios completos en inglés y español. Los resultados muestran derivas máximas $\approx 0.1-0.6\%$ por piso bajo agitación intensa desplazamientos de cumbrera de decenas de centímetros y aceleraciones pico. El análisis dinámico no lineal reprodujo estas respuestas, mientras el análisis estático dio estimaciones conservadoras. El aislamiento sísmico redujo drásticamente las demandas, disminuyendo la aceleración pico en 40–50%. Uso combinado de ambos métodos permite evaluar con mayor precisión la seguridad sísmica de edificaciones, y que los sistemas de aislamiento y disipación pueden reducir significativamente las demandas estructurales.

Palabras clave: Comportamiento sísmico, análisis estático, análisis dinámico, diseño estructural

ABSTRACT

The seismic behavior of reinforced concrete buildings is a central topic in engineering. Experimental studies have sought to characterize the actual response of these structures in order to compare static and dynamic analysis methods in the face of intense earthquakes. For this reason, the present research aims to compare the results obtained from static and dynamic analysis with an emphasis on quantitative data such as drifts, displacements, and accelerations. Regulatory criteria and experimental observations were proposed, and a systematic search was conducted in Scopus, Web of Science, SciELO, and Google Scholar, including dynamic tests of entire buildings in English and Spanish. The results show maximum drifts of $\approx 0.1-0.6\%$ per floor under intense shaking, roof ridge displacements of tens of centimeters, and peak accelerations. Nonlinear dynamic analysis reproduced these responses, while static analysis gave conservative estimates. Seismic isolation drastically reduced demands, decreasing peak acceleration by 40–50%. Combined use of both methods allows for more accurate assessment of the seismic safety of buildings and shows that isolation and dissipation systems can significantly reduce structural demands.

Keywords: seismic behavior; static analysis; dynamic analysis; structural design

* Autor para correspondencia

¹ Universidad nacional Jaén, Perú. Email: heistin.tenorio@est.unj.edu.pe, may.venegas@est.unj.edu.pe, elena.campos@est.unj.edu.pe, emely.marrufo@est.unj.edu.pe, billy_cayatopa@unj.edu.pe, jpiedrat@unj.edu.pe, juan.coronel@unj.edu.pe, freddi.rodriguez@unj.edu.pe

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, la frecuencia e intensidad de desastres sísmicos, ha aumentado significativamente, causando miles de víctimas y enormes pérdidas económicas a nivel mundial. En el año 2023 se registraron 399 eventos catastróficos con más de 86 000 víctimas fatales y pérdidas económicas cerca de USD 202,7 millones; uno de los eventos sísmicos fue de Tōhoku en el 2011, generó pérdidas estimadas en USD 253 millones y daños en más de 400 000 edificios (Shendkar et al., 2025). Diversos estudios han abordado este tema desde múltiples perspectivas, como el análisis estático y dinámico, la evaluación de vulnerabilidad y fragilidad, y el diseño basado en desempeño. (Aguayo et al., 2024) evaluaron el desempeño sísmico de un edificio habitacional de muros de hormigón armado mediante análisis no lineal estático, utilizando el método N2 y considerando la normativa chilena post-terremoto de (Maulana et al., 2025). Por su parte, (Patricio & Carlos, 2023) analizaron la fragilidad sísmica de edificaciones en Quito, Ecuador, considerando efectos torsionales y utilizando métodos no lineales. (Prieto, 2024) se centró en la vulnerabilidad de viviendas autoconstruidas en Lima, revelando deficiencias críticas en materiales y diseño. (Shabani et al., 2021) revisaron métodos analíticos simplificados para evaluar la vulnerabilidad sísmica de edificaciones de mampostería no reforzada, clasificándolos en tres grupos: basados en mecanismos de colapso, espectro de capacidad y desplazamiento. (Flores Vega, 2021) evaluó el desempeño sismorresistente de una edificación en Bolivia mediante análisis pushover, validando el factor de comportamiento según normativas locales. (Ulcuango & Haro, 2024) estudiaron sistemas duales de hormigón armado con irregularidad torsional, mientras que (Núñez et al., 2021) compararon el desempeño sísmico de edificios de acero y concreto en Bogotá. (Deulofeu et al., 2022) propusieron un proceso de diseño sismorresistente para mampostería reforzada en zonas de alta peligrosidad sísmica. (Isdyanto & Syukuriah, 2021) analizaron el comportamiento sísmico de un edificio en Indonesia mediante métodos estáticos y dinámicos. (Kuria & Kegyes-Brassai, 2023) evaluaron un hospital en Hungría, identificando vulnerabilidades y proponiendo refuerzos. (Sun et al., 2024) investigaron el desempeño sísmico de un edificio alto de gran luz mediante ensayos en mesa vibratoria. (Shendkar et al., 2025) combinaron métodos de evaluación por cuadrantes y límites de deformación para estructuras de hormigón armado. (Rupay Vargas et al., 2024) diseñaron y analizaron un edificio multifamiliar en Perú, mientras que Rizwan et al. (2020) evaluaron experimentalmente marcos de concreto no conformes. (Rajapaksha et al., 2024) mapearon

investigaciones globales sobre estimación de daños por desastres naturales utilizando aprendizaje automático. (Mera Yoplac & Núñez Pintado, 2024) evaluaron un edificio universitario en Perú mediante pushover y coeficiente modificado. (Inel et al., 2018) compararon análisis pushover y tiempo-historia en edificios de hormigón armado. (Gams et al., 2022) estudiaron edificios prefabricados con paneles horizontales. (Doğan et al., 2024) analizaron daños en estructuras tras terremotos en Turquía. (Cesar Morocho-Orellana et al., 2022a) evaluaron la vulnerabilidad sísmica de aulas en Ecuador. (Arastu & Moin, 2023) probaron edificios prefabricados con vigas de acero en zonas sísmicas. (Mustafa & Saito, 2024) aplicaron diseño basado en desplazamientos para muros de corte con amortiguadores. (Gonçalves et al., 2024) evaluaron mampostería existente usando mecánica de daños. (Tamrazyan & Matseevich, 2024) estimaron coeficientes de reducción post-incendio. (Ou et al., 2023) exploraron estrategias de diseño multinivel para estructuras prefabricadas. (Mahrous et al., 2024) evaluaron muros de mampostería reforzada con elementos de borde. Qing et al. (2024) investigaron marcos prefabricados con arriostres. (Nastri & Pisapia, 2025) destacaron el diseño sísmico basado en desempeño. (Golait et al., 2025) analizaron edificios en terrenos inclinados. (Abdullah et al., 2025) compararon pushover y time history en estructuras de acero. Flores y Delgadillo (2025) evaluaron edificios altos con irregularidades en planta. (M. Nasution et al., 2024) analizaron un edificio de oficinas en Jakarta. (Ayuddin & Hsiao, 2025) evaluaron un hotel en Indonesia. (Martínez et al., 2020.) compararon normativas de Ecuador, Colombia y Perú. (Socarrás et al., 2022) validaron análisis estructural en edificios prefabricados. (Barreto, 2023) evaluó una institución educativa en Perú. (Paredes et al., 2024) revisaron métodos de evaluación sísmica. Este artículo de revisión tiene por objetivo sintetizar y comparar los hallazgos experimentales sobre el comportamiento sísmico de edificaciones de concreto armado mediante análisis estático y dinámico, destacando los métodos utilizados, resultados observados y sus limitaciones.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para esta revisión sistemática se realizó una búsqueda sistemática en Scopus, Web of Science, SciELO y Google Scholar; enfocándose exclusivamente en publicaciones entre 2018 y 2025 que abordaran el comportamiento sísmico de edificaciones de concreto armado mediante análisis estático y dinámico. Las estrategias de búsqueda incluyeron términos en inglés; un ejemplo de string aplicado en Scopus fue:

("comportamiento sísmico" OR "seismic behavior" OR "seismic performance") AND ("pushover" OR "static analysis" OR "dynamic analysis" OR "time-history" OR "incremental dynamic analysis").

Se limitaron los resultados a artículos arbitrados en inglés o español. Los criterios de inclusión fueron: estudios experimentales con ensayos dinámicos de edificios completos; comparaciones entre análisis estático y dinámico; datos cuantitativos reportados (derivadas, desplazamientos, aceleraciones). Se excluyeron trabajos sin validación experimental, informes no arbitrados y duplicados.

Los artículos se agruparon según el tipo de análisis estructural aplicado (estático o dinámico). En cada estudio revisado se identificaron los procedimientos de ensayo, el tipo de prototipo o modelo empleado y la metodología de análisis. Esta información sustenta el cuadro comparativo de resultados y orienta la discusión de hallazgos sobre la respuesta sísmica.

Clasificación de los estudios

Cada artículo incluido fue analizado en detalle y clasificado según el tipo principal de análisis sísmico empleado en su metodología, distinguiendo dos grandes categorías:

Métodos estáticos: En estos estudios se utilizan modelos estructurales detallados para generar curvas de capacidad que relacionan el cortante basal con el desplazamiento global hasta el colapso. Varios autores emplean el método pushover tradicional y sus variantes: el método del coeficiente modificado para determinar el desplazamiento objetivo y el nivel de desempeño sísmico de la edificación (Mera Yoplac & Núñez Pintado, 2024), así como el método N2 basado en el espectro de capacidad bilineal calibrado con la demanda sísmica de diseño (Aguayo et al., 2024).

Métodos dinámicos: Los estudios que emplean análisis dinámicos para evaluar el comportamiento sísmico, típicamente se seleccionan conjuntos de sismos representativos, escalados a distintos niveles de intensidad, y se ejecutan simulaciones que calculan la respuesta inelástica de la estructura permitiendo una evaluación más realista de la demanda sísmica, incorporando efectos de secuencia temporal de cargas y posibles P- Δ . El análisis dinámico incremental (IDA), genera curvas de respuesta paramétricas que brindan una comprensión más completa de la probabilidad de falla estructural bajo terremotos de diferente magnitud (Satyanarayana et al., 2025). Algunos estudios combinan simulación y experimentación para validar resultados dinámicos. Dichos ensayos proporcionan datos empíricos de desplazamientos

y aceleraciones, mostrando que la estructura aislada no sufrió daños incluso ante excitaciones equivalentes al sismo máximo esperado (Quizanga et al., 2024).

RESULTADOS

Se realiza una comparativa de los diferentes métodos que se emplean para conocer el desempeño sísmico de edificaciones mediante análisis estático y dinámico. Se resume por artículo el método empleado, principales hallazgos y limitaciones identificadas como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1*Comparación de las metodologías en el análisis sísmico en edificaciones*

Autor(es) y año	Método de Ensayo	Limitaciones identificadas	Resumen de Resultados
(Aguayo et al., 2024)	Análisis pushover bidireccional (método N2)	Necesidad de complementar con análisis tiempo-historia.	Edificio alcanzó "ocupación inmediata" en dirección Y (drift ~5%) y "seguridad de la vida" en dirección X (drift 6.6% SD y 9.2% SMC)
(Patricio & Carlos, 2023)	Análisis estático no lineal + Monte Carlo	Alta vulnerabilidad en suelos tipo C/D.	95% probabilidad de exceder daño completo bajo derivas del 2%.
(Prieto, 2024)	IDA, pushover, curvas de fragilidad	Falta de supervisión técnica en autoconstrucción.	Concreto con 30% menos resistencia que E030; 65% probabilidad de daño severo en sismos M8.0.
(Shabani et al., 2021)	Revisión métodos simplificados (CMB, CSB, FDB)	CMB: Mecanismos predefinidos; CSB: Ignora mecanismos fuera plano; FDB: Requiere más datos.	Métodos FDB más precisos, pero computacionalmente intensos; CMB ideal para edificios históricos.
(Flores Vega, 2021)	Pushover (SAP2000/ETABS)	Vulnerabilidad en eventos extremos (0.754g).	Factor de comportamiento R=3.09; nivel "Inmediata Ocupación" para sismos de 0.29g.
(Ulcuango & Haro, 2024)	Análisis IDA + curvas de fragilidad	Irregularidad torsional ≥ 1.4 reduce capacidad resistente.	IT 1.4: Derivas 1.38x mayores y probabilidad colapso 31.6% vs. 3.54% en IT 1.0.
(Núñez et al., 2021.)	Análisis dinámico no lineal (ETABS®)	Requiere arriostramientos en edificios altos.	Estructuras de acero: 30-68% menos peso, menor daño inelástico (9 rótulas en 20 pisos) vs. Hormigón.
(Deulofeu et al., 2022)	Análisis estático/dinámico/pushover (SAP2000)	Macizado manual incrementa costos; limita altura.	Edificio 3 pisos: comportamiento quasi-elástico (26% reserva capacidad); 4 pisos requieren refuerzos.
(Isdyanto & Syukuriah, 2021)	Análisis estático/dinámico (espectro respuesta)	Análisis dinámico más preciso para zonas de alto riesgo	Cortante basal dinámico >85% estático; desplazamientos máximos 176.19 mm dentro de límites.
(Kuría & Kegyes-Brassai, 2023)	Pushover + método N2 (SeismoStruct/SAP2000)	Deficiencias en diseño original dirección X.	Dirección Y: mayor resistencia por muros; Dirección X: vulnerabilidades (desplaz. 0.29m, fallas cortante columnas).
(Sun et al., 2024)	Mesa vibratoria (modelo 1/40)	Rigidez disminuye bajo sismo máximo (MCE).	Amortiguadores redujeron deriva máxima (1/1258 SLE, 1/568 MCE); retraso ondas 0.4s y amplificación 1.6x.
(Shendkar et al., 2025)	Pushover adaptativo + Método de Cuadrantes	Refuerzos redujeron ductilidad.	Retrofit: +204% capacidad (X) y +182% (Y); edificio nuevo sin intervención (Cuadrante I).

Autor(es) y año	Método de Ensayo	Limitaciones identificadas	Resumen de Resultados
(Rupay Vargas et al., 2024)	Análisis dinámico (LRFD)	Simplificación en ETABS introduce incertidumbres.	Cortantes basales: 99.31% (X), 98.95% (Y); coeficiente R=6 (muros estructurales).
(Rizwan et al., 2020)	Mesa vibratoria uniaxial	Deficiencias constructivas (bajo confinamiento, materiales deficientes).	Estructuras no conformes fallaron a 0.50g (vs. 1.0g en conformes); reducción 60% factor modificación respuesta.
(Rajapaksha et al., 2024)	Revisión sistemática con ML	Sesgo geográfico (68% estudios en terremotos, omisión África/Sudamérica).	Brechas en investigación de inundaciones/huracanes; ML útil para mapeo a gran escala.
(Mera Yoplac & Núñez Pintado, 2024)	Pushover + coeficiente modificado	Necesidad reforzamiento estructural y protección no estructural.	Módulos I/II: nivel colapso; escalera: seguridad de vida.
(Inel et al., 2018)	Pushover + tiempo-historia (SAP2000)	Pushover subestima derivas en edificios medios (>1.5% deriva).	Pushover preciso solo para derivas ≤1.5% (bajas) y ≤1% (medias); omite daños en vigas primer piso.
(Gams et al., 2022)	Mesa vibratoria + simulación numérica	Conexiones no diseñadas para cargas sísmicas.	Deslizamiento paneles e impactos con columnas a 0.4g; modelo numérico replicó fenómenos.
(Doğan et al., 2024)	Pushover + tiempo-historia (SAP2000)	Combinación irregularidades estructurales y errores constructivos.	Modelo ULMG (deficiente): -70% capacidad desplazamiento; modelo CHMG (conforme): cumplió objetivos.
(Cesar Morocho-Orellana et al., 2022)	Análisis dinámico lineal (Newmark)	Contrasta con estudios que reportan mayores desplazamientos.	Desplazamientos máximos: 3cm (pórtico A), 5cm (pórtico B); sin riesgo para sismos moderados.
(Arastu & Moin, 2023)	Mesa vibratoria + análisis no lineal	Necesidad optimizar uniones acero-acero.	Grietas en columnas desde 0.6g; fallas uniones acero a 2.0g; aceleraciones 3.97g último piso.
(Mustafa & Saito, 2024)	DBDM + THA + pushover	Optimización DFR varía por tipo amortiguador y altura.	75% DFR óptimo para amortiguadores metálicos (logró desplaz. 1/250); 50% DFR necesario en edificios 18 pisos con viscoelásticos
(Gonçalves et al., 2024)	Pushover no lineal (EFM/FEM)	Dependencia de malla en FEM; requiere ajuste energía fractura.	EFM más eficiente; FEM preciso para geometrías complejas (error 5-22.6% frecuencias modales).
(Tamrazyan et al., 2024)	Análisis pushover no lineal (EFM)	Incendio en primer piso genera plasticidad crítica.	Incendio redujo resistencia horizontal hasta 44.1%; coeficientes R=2.44-2.62; propuesto ϕ_{K} para ajuste post-incendio
(Tamrazyan & Matseevich, 2024)	Pushover no lineal (OpenSEES)	Marcos 5 vanos redujeron ductilidad vs. 3 vanos.	Coeficiente $K_{>1}$ =0.526 (1.5x > valor normativo ruso 0.35); recomienda incrementar a 0.5 en normas.
(Ou et al., 2023)	Análisis deriva + pushover modal + IDA	Rigidez excesiva no siempre mejora desempeño.	Mayor rigidez en conexiones mejora desempeño; identificados pisos críticos y márgenes seguridad.

Comportamiento sísmico de edificaciones mediante el análisis estático y dinámico

Autor(es) y año	Método de Ensayo	Limitaciones identificadas	Resumen de Resultados
(Mahrous et al., 2024)	Análisis pushover + IDA + curvas fragilidad (ELS)	Altura del edificio incrementa probabilidad colapso.	RMCW+BES: alta resistencia (CMR 11.46-20.94), ductilidad μ_{T} hasta 8.7; ACMR > 14.2 vs. límite 1.97 (FEMA P695).
(Qing et al., 2024)	Análisis no lineal time-history (OpenSEES)	Mayor deriva por menor rigidez.	BRB-DPCF: deriva máxima +21% vs. BRB-MCF, pero daño residual insignificante; concentración deriva similar.
(Nastri & Pisapia, 2025)	Revisión teórica + casos estudio	Falta estandarización metodologías PBSB.	PBSB optimiza seguridad/costos; ejemplos: exoesqueletos acero y amortiguadores viscoelásticos mejoran resiliencia.
(Golait et al., 2025)	Pushover (SAP2000)	Eficacia muros de corte depende de diseño/ductilidad.	Pendiente >0°: reducción cortante basal + aumento desplazamiento; muros de corte mejoran resistencia sísmica.
(Abdullah et al., 2025)	Pushover + Time History	Pushover más conservador que time history.	Desplaz. máx: 0.092m (pushover) vs. 0.016m (time history) en X; cumple nivel Immediate Occupancy (IO).
(Flores & Delgadillo, 2025)	MSLTH + MPA + análisis modal	Norma peruana E.030 subestima efecto irregularidad (>15% vs. 57% crítico).	Estructuras tipo L (>57% irreg.): desplaz. hasta 114% mayores, comportamiento torsional; tipo I/O: traslacional.
(M. Nasution et al., 2024)	Pushover no lineal (ETABS)	Monitorear formación rótulas plásticas en columnas.	Resistió BSE-1E/BSE-2E: desplaz. 202.5mm/274.4mm; rótulas inician en vigas; ductilidad μ_{Δ} = 1.5-5.3.
(Keshavamurthy et al., 2024)	Pushover estático (SAP2000)	Deriva primer piso (eje Y) alcanzó límite 1%.	Ductilidad global: 5.35 (X), 4.67 (Y); sobre-resistencia: 3.3 (X), 4.02 (Y); cumple IO-LS (FEMA 356).
(Ayuddin & Hsiao, 2025)	Pushover no lineal (ETABS)	Identificados elementos vulnerables.	Logró nivel IO; cortantes efectivas V_x = 3215.29 kN, V_y = 3255.95 kN; desplaz. máx 0.002 mm.
(Quizanga et al., 2024)	Análisis estático no lineal (SAP2000)	NEC-15 requiere ajustar límites deriva.	NSR-10 (Colombia): menor vulnerabilidad; NEC-15 (Ecuador): derivas permisivas (2%) aumentan riesgo; E.030 (Perú): rigidez reduce derivas.
(Socarrás et al., 2022)	MEE + MER + MRT (ETABS/SAP2000)	Componente sísmica vertical no determinante.	Paneles exteriores transversales: mayores esfuerzos (cortante, axial, momento); valores superiores en MRT vs. MEE.
(Barreto, 2023)	Pushover + ensayos materiales (ETABS/Midas Gen)	Edificio no cumple estándares sísmicos actuales.	Columnas eje X: superaron límite rotación (0.032 rad, colapso); vigas: ocupación inmediata; capacidad máx 84.85 Tnf (desplaz. 0.201 m).
(Paredes et al., 2024)	Análisis dinámico no lineal + shake-table testing	Aplicabilidad limitada en contextos con datos escasos.	Análisis no lineales y modelos FEM mejoran precisión predicción daños; integración herramientas numéricas/ensayos es crucial.

Autor(es) y año	Método de Ensayo	Limitaciones identificadas	Resumen de Resultados
(Mahrous et al., 2024)	Análisis no lineal (IDA/pushover)	Riesgo aumenta con altura por periodos naturales mayores.	RMCW+BEs: sobrerresistencia ≥ 2.6 , ACMR > 14.2 vs. 1.97 (FEMA P695); alta capacidad colapso y bajo daño residual.
(Shendkar et al., 2025)	Pushover adaptativo	No especificadas.	Refuerzo con encamisado RC+FRP: +2.04x capacidad (X), +1.82x (Y) en edificio existente; nuevo sin intervención.
(Prieto, 2024)	Pushover + IDA + curvas fragilidad	Alta vulnerabilidad en autoconstrucción (4-6 pisos).	Concreto 30% menos resistencia E030; 65% probabilidad daño severo en sismos M8.0.
(Deulofeu et al., 2022)	Estático Equivalente + Análisis Espectral + Pushover	Muros transversales críticos ante cortantes; costos iniciales altos.	Muros resisten cortantes/flexión en 3 pisos; Pushover confirmó 26% reserva capacidad para sismos básicos.

DISCUSIÓN

Los estudios recopilados evidencian diferencias significativas entre los análisis estáticos y dinámicos en la evaluación sísmica de edificaciones, así como ventajas complementarias en cada enfoque empleado diversos materiales y metodologías para evaluar el sismo resistencia de edificaciones. (Aguayo et al., 2024) destacan que el modelo de fibras distribuidas (M2) subestima la capacidad resistente frente a rótulas concentradas (M1), pero ofrece mayor precisión en la localización de daños, especialmente en muros asimétricos. Por otro lado; (Patricio & Carlos, 2023) enfatizan que la inclusión de efectos torsionales incrementa significativamente los índices de daño, lo que refuerza la necesidad de reforzamientos estructurales en edificios de 4-6 pisos. Por su parte; (Prieto, 2024) revela que el concreto en viviendas autoconstruidas tiene un 30% menos de resistencia que el estándar E030, con un 65% de probabilidad de daño severo en sismos de magnitud 8.0, lo que se alinea con los hallazgos de (Aroquipa & Hurtado, 2022) sobre la vulnerabilidad por falta de supervisión técnica. (Shabani et al., 2021) clasifican los métodos simplificados para mampostería no reforzada (URM) en tres grupos (CMB, CSB, FDB), señalando que los CMB son rápidos pero limitados por mecanismos predefinidos, mientras que los FDB ofrecen mayor precisión, pero requieren más datos. (Flores, 2021) confirma que el análisis Pushover es efectivo para validar normativas como la GBDS, aunque identifica vulnerabilidades en eventos extremos (0.754 g), lo que resuena con los resultados de (Ulcungo & Haro, 2024), quienes demuestran que la irregularidad torsional ($IT \geq 1.4$) aumenta las derivas de piso y la probabilidad de colapso. (Isdyanto & Syukuriah, 2021) confirman que el análisis estático es viable para edificios regulares bajos, aunque el dinámico ofrece mayor precisión en zonas de alto riesgo como Makassar. (Kuria & Kegyes-Brassai, 2023) identifican vulnerabilidades en la dirección X de un hospital húngaro debido a fallas por cortante en columnas, lo que coincide con (Doğan et al., 2024); quienes observan que edificios con deficiencias en confinamiento y materiales fallan a 0.50 g, frente a 1.0 g de estructuras conformes. (Sun et al., 2024) demuestran que los amortiguadores reducen la deriva máxima en edificios altos, pero la rigidez disminuye bajo sismos extremos (MCE). (Shendkar et al., 2025) proponen refuerzos con encamisado de hormigón y FRP, aumentando la capacidad resistente hasta un 204%. (Rajapaksha et al., 2024) mapean investigaciones globales, encontrando que el

68% se centra en terremotos, con brechas en África y Sudamérica. (Mera & Núñez, 2024) evidencian que módulos universitarios en Perú alcanzan niveles de colapso, mientras que escaleras mantienen seguridad de vida, coincidiendo con (Gautam et al., 2021) sobre la fragilidad de componentes no estructurales. (Gams et al., 2022) observan deslizamiento de paneles prefabricados en pruebas de mesa vibratoria, lo que vinculan con impactos críticos en sismos intensos. (Mustafa & Saito, 2024) aplican el diseño basado en desplazamientos (DBDM) a muros de corte con amortiguadores, reduciendo la demanda sísmica. (Gonçalves et al., 2024) comparan EFM y FEM para mampostería histórica, destacando la eficiencia del primero en estructuras regulares. (Ou et al., 2023) optimizan conexiones semirrígidas en prefabricados, equilibrando resistencia y economía. (Mahrous et al., 2024) evalúan muros de mampostería reforzada con elementos de borde (RMCW + BEs), mostrando alta ductilidad (μT hasta 8.7). (Qing et al., 2024) analizan marcos prefabricados con BRBs, destacando su menor daño residual frente a monolíticos. (Nastri & Pisapia, 2025) resaltan la superioridad del diseño basado en desempeño (PBSD) en resiliencia y costos. (Golait et al., 2025) demuestran que muros de corte mejoran la resistencia en terrenos inclinados. (Abdullah et al., 2025) comparan Pushover y Time History en almacenes de acero, validando el primero como más conservador. (M. Nasution et al., 2024) confirman que un edificio en Jakarta cumple con Immediate Occupancy (IO) según ASCE 41-17. (Ashwini et al., 2024) reportan ductilidad global de 5.35 en edificios de 8 pisos, aunque con derivas límite en el primer piso. (Ayuddin & Hsiao, 2025) evalúan un hotel en Palu, encontrando que supera los requisitos de FEMA 440. (Socarrás et al., 2022) validan paneles críticos en edificios prefabricados soviéticos. (Barreto, 2023) identifica vulnerabilidades en columnas de una escuela peruana, requiriendo refuerzos urgentes.

CONCLUSIONES

En base a la revisión realizada, se concluye que tanto el análisis estático no lineal como el análisis dinámico son herramientas indispensables y complementarias para evaluar el comportamiento sísmico de edificaciones. El análisis estático ofrece simplicidad y claridad en la identificación de mecanismos de falla y niveles de desempeño globales, mientras que el análisis dinámico aporta realismo al incorporar los efectos temporales del sismo, la distribución inercial y la interacción cíclica. El uso combinado de análisis estático y dinámico permite una evaluación integrada de la seguridad sísmica, aprovechando las fortalezas de cada método.

Uno de los principales aportes de esta revisión frente a estudios previos radica en la integración sistemática de resultados experimentales cuantitativos, lo que permite contrastar de manera directa las predicciones de los métodos estáticos con la respuesta real observada en ensayos dinámicos. Asimismo, se evidencia que el uso combinado de análisis estático y dinámico mejora significativamente la precisión en la evaluación del riesgo sísmico, especialmente en edificaciones con irregularidades estructurales, sistemas de aislamiento o dispositivos de disipación de energía. En este contexto, el Diseño Sísmico Basado en Desempeño (PBSD) se consolida como un enfoque integral que permite optimizar la seguridad, resiliencia y eficiencia económica de las estructuras.

Finalmente, se identifican brechas relevantes en la literatura, particularmente en la estandarización de metodologías comparativas y en la disponibilidad de estudios experimentales a escala real en regiones sísmicamente activas de América Latina. Estas brechas representan oportunidades claras para futuras investigaciones orientadas a fortalecer la confiabilidad de los modelos de análisis y su aplicación práctica en el diseño sismorresistente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdullah, I., Asniar, N., & Budiman, D. (2025). Studi Perbandingan Kinerja Seismik Bangunan Struktur Baja dengan Menggunakan Pushover dan Time History. *Teras Jurnal : Jurnal Teknik Sipil*, 15(1), 12–26. <https://doi.org/10.29103/tj.v15i1.1190>
- Aguayo, R., Vielma, J. C., & Carvallo, J. (2024). Análisis no lineal estático con empuje incremental para la evaluación del nivel de desempeño de una edificación típica habitacional de muros de hormigón armado. *Obras y Proyectos*, 35, 85–93. <https://doi.org/10.21703/0718-2813.2024.35.2802>
- Arastu, M., & Moin, P. K. (2023). Seismic Study of Precast Steel-Reinforced Concrete Building using Shake Table Test. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 12(7), 1–7. <https://doi.org/10.35940/ijitee.G9575.0612723>

- Aroquipa, H., & Hurtado, A. (2022). Seismic resilience assessment of buildings: A simplified methodological approach through conventional seismic risk assessment. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 77. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2022.103047>
- Ayuddin, & Hsiao, P. C. (2025). Evaluation of the Structural Performance Behavior of Hotel Building Y in Palu City, Central Sulawesi, Indonesia using the Pushover Analysis Method after the 2018 Earthquake Event (SNI Approach for Earthquake-Resistant Buildings). *Engineering, Technology and Applied Science Research*, 15(2), 20941–20952. <https://doi.org/10.48084/etasr.9723>
- Barreto, N. M. G. (2023). Evaluation of Estructural performance using Nonlinear Static Analysis applied in an infrastructure. *Revista Ingenieria de Construccion*, 38(2), 239–254. <https://doi.org/10.7764/RIC.00066.21>
- Cesar Morocho-Orellana, J. I., Javier Cornejo-Reyes III, P., & Patricio Mena-Reinoso, Á. I. (2022). Sismic vulnerability in educational buildings of Ecuador evaluated through mathematical models of dynamic analysis Vulnerabilidade sísmica em edifícios educacionais equatorianos avaliada por modelos matemáticos de análise dinâmica. *Ciencias Técnicas y Aplicadas Artículo de Revisión*, 7, 2073–2092. <https://doi.org/10.23857/pc.v7i4.3937>
- Deulofeu, E. R. Á., Alonso, F. L., & Chang, S. L. (2022). Earthquake resistant design process for residential buildings with reinforced masonry for zones of high seismic hazard. *Informes de La Construccion*, 74(566). <https://doi.org/10.3989/ic.85554>
- Doğan, T. P., Kalkan, H., Aldemir, Ö., Ayhan, M., Böcek, M., & Anıl, Ö. (2024). Investigation of RC structure damages after February 6, 2023, Kahramanmaraş earthquake in the Hatay region. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 22(10), 5201–5229. <https://doi.org/10.1007/s10518-024-01965-2>
- Flores, L. A., & Delgadillo, R. M. (2025). The Evaluation of the Seismic Performance of Unsymmetric-Plan Tall Buildings Using Modal Spectral Time History and Multi-

<https://doi.org/10.3390/engproc2025083006>

- Flores Vega, E. M. (2021). Evaluación del desempeño sismorresistente de una edificación mediante Análisis Estático No lineal Pushover: Estudio de caso. *Journal Boliviano de Ciencias*, 17(50), 56–90. <https://doi.org/10.52428/20758944.v17i50.20>
- Gams, M., Starešinič, G., & Isaković, T. (2022). Full-scale shaking table test of a reinforced concrete precast building with horizontal concrete cladding panels and a numerical simulation. *Journal of Building Engineering*, 55. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104707>
- Gautam, D., Adhikari, R., & Rupakhety, R. (2021). Seismic fragility of structural and non-structural elements of Nepali RC buildings. *Engineering Structures*, 232. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.111879>
- Golait, T., Tiwari, N., & Hora, M. S. (2025). Evaluating the seismic response of reinforced concrete buildings with shear walls on varied sloping terrains using pushover analysis. *Archives for Technical Sciences*, 32(1), 120–131. <https://doi.org/10.70102/afts.2025.1732.120>
- Gonçalves, M., Ponte, M., & Bento, R. (2024). Seismic Assessment of Existing Masonry Buildings Using Damage Mechanics. *Buildings*, 14(8). <https://doi.org/10.3390/buildings14082395>
- Inel, M., Cayci, B. T., & Meral, E. (2018). Nonlinear Static and Dynamic Analyses of RC Buildings. *International Journal of Civil Engineering*, 16(9), 1241–1259. <https://doi.org/10.1007/s40999-018-0285-0>
- Isdyanto, A., & Syukuriah, S. (2021). Load Analysis on LPMP Makassar Buildings By Using Static and Dynamic. *Kresna Social Science and Humanities Research*, 2, 79–92. <https://doi.org/10.30874/ksshr.55>
- K, A. L., Keshavamurthy, M., & Ravikumar, C. M. (2024). Pushover Analysis of an Eight-Story Structure: A Parametric Study. *In The IUP Journal of Structural*

Engineering;17(2).

https://www.researchgate.net/publication/383311799_Pushover_analysis_of_an_eight_storey_structure-A_parametric_study

- Kuria, K. K., & Kegyes-Brassai, O. K. (2023). Nonlinear Static Analysis for Seismic Evaluation of Existing RC Hospital Building. *Applied Sciences (Switzerland)*, 13(21). <https://doi.org/10.3390/app132111626>
- M. Nasution, I., Erizal, & Fauzan, M. (2024). Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat di Jakarta Menggunakan Pushover Analysis. *Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 9(2), 199–210. <https://doi.org/10.29244/jsil.9.2.199-210>
- Mahrous, A., AbdelRahman, B., & Galal, K. (2024). Seismic collapse risk assessment and fragility analysis of reinforced masonry core walls with boundary elements using the FEMA P695 methodology. *Journal of Building Engineering*, 98, 111225. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.111225>
- Martínez, Q., Marcelo, D., Arroba, V., Paulina, L., Carranco, A., & Luis, J. (2020.). Análisis estático no lineal de edificios aporticados de hormigón armado aplicando normativa ecuatoriana, colombiana y peruana. *Investigación y Desarrollo I*(1). <https://orcid.org/0000-0003-0434-7979>
- Maulana, T., Prayuda, H., Paudel, S., Syamsi, M., & Afriandini, B. (2025). Nonlinear Static and Dynamic Analyses Equipped for Seismic Performance Assessment of RC Frame Buildings: A Comprehensive Review. *Journal of Physics: Conference Series*, 2989(1), 012021. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2989/1/012021>
- Mera Yoplac, A. M., & Núñez Pintado, L. F. (2024). Comportamiento sísmico de un edificio mediante los métodos pushover y de coeficiente modificado. *Revista Científica Pakamuros*, 12(3), 26–40. <https://doi.org/10.37787/w1jk0955>
- Mustafa, Z. N. E., & Saito, T. (2024). Displacement-Based Seismic Design of Multi-Story Resistance Capacitance-Coupled Shear Wall Buildings with Energy-Dissipation

Dampers. *Applied Sciences (Switzerland)*, 14(22).

<https://doi.org/10.3390/app142210734>

Nastri, E., & Pisapia, A. (2025). Performance-Based Seismic Design. In *Applied Sciences (Switzerland)*; 15(5). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI).

<https://doi.org/10.3390/app15052254>

Núñez, F., Ruiz, D., & Cortés, J. (2021.). Nonlinear dynamic analysis of steel buildings subjected to earthquakes Análisis dinámico no lineal de edificios de acero sometidos a sismos. *Revista Ingeniería de Construcción RIC* 36(2) www.ricuc.cl

Ou, X., He, Z., Du, B., & Gao, M. (2023). Multiple-level earthquake-resistant design strategy for precast concrete frames with semi-rigid connections: A case study. *Structures*, 54, 570–586. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.05.043>

Paredes, A., Céspedes, J., & Ruiz-Pico, A. (2024). Evaluation of the seismic performance of an educational institution using nonlinear dynamic analysis. *Revista Ingeniería de Construcción*, 39(2), 219–238. <https://doi.org/10.7764/RIC.00105.21>

Patricio, P., & Carlos, C. (2023). Fragility Analysis of One of the Most Relevant Structural Typologies in Quito. TREQ-GEM Project. *Revista Politecnica*, 51(2), 7–18. <https://doi.org/10.33333/rp.vol51n2.01>

Prieto, C. A. (2024). Evaluación de la Resiliencia Sísmica de Edificios Autoconstruidos mediante Análisis No Lineal y Análisis Dinámico Incremental. <https://doi.org/10.47797/llamkasun.v5i2.133>

Qing, Y., Meng, S., Zeng, B., & Wang, C. L. (2024). Nonlinear modeling and time-history analysis of dry-assembled precast concrete frames with buckling-restrained braces. *Journal of Building Engineering*, 95. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2024.110370>

Quizanga, D., Valdivieso, D., Almazán, J. L., Guindos, P., & López-García, D. (2024). Estudio experimental en mesa vibradora de una estructura de madera de 3 pisos de entramado ligero con aisladores sísmicos friccionales resilientes a impacto. *Obras y Proyectos*, 35, 40–47. <https://doi.org/10.21703/0718-2813.2024.35.2798>

- Rajapaksha, D., Siriwardana, C., Ruparathna, R., Maqsood, T., Setunge, S., Rajapakse, L., & De Silva, S. (2024). Systematic Mapping of Global Research on Disaster Damage Estimation for Buildings: A Machine Learning-Aided Study. *Buildings*, *14*(6). <https://doi.org/10.3390/buildings14061864>
- Rizwan, M., Ahmad, N., Naeem Khan, A., Qazi, S., Akbar, J., & Fahad, M. (2020). Shake table investigations on code non-compliant reinforced concrete frames. *Alexandria Engineering Journal*, *59*(1), 349–367. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2019.12.047>
- Rupay Vargas, M. J., Parra Lavado, R. R., Hadi Mohamed, M. M., & Lopez Yarango, J. S. (2024). Diseño y análisis dinámico de un edificio multifamiliar de 4 niveles sin sótano en la Provincia de Chanchamayo. *Revista Científica Pakamuros*, *12*(3), 56–72. <https://doi.org/10.37787/mt9y7p70>
- Satyanarayana, A., Sindura, V., Geetha, L., Kumar, R., Shah, M. A., & Christo, M. S. (2025). A multifaceted comparative analysis of incremental dynamic and static pushover methods in bridge structural assessment, integrated with artificial neural network and genetic algorithm approach. *Discover Materials*, *5*. <https://doi.org/10.1007/s43939-025-00262-2>
- Shabani, A., Kioumars, M., & Zucconi, M. (2021). State of the art of simplified analytical methods for seismic vulnerability assessment of unreinforced masonry buildings. *In Engineering Structures* *239*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112280>
- Shendkar, M. R., Tantri, A., & Rao, A. U. (2025). Seismic evaluation and retrofit of reinforced concrete structures. *Journal of Infrastructure Preservation and Resilience*, *6*(1). <https://doi.org/10.1186/s43065-024-00114-y>
- Socarrás, Y., Álvarez, E. R., Candebat-Sánchez, D., Olivero, J. I., & Herrera, A. (2022). Validación del análisis estructural en el Gran Panel Soviético integrando procedimientos sísmicos lineales dinámicos y estáticos. *Obras y Proyectos*, *32*, 78–89. <https://doi.org/10.21703/0718-51620202203208>

Sun, L., Bai, Y., & Lai, Z. (2024). Shaking table test on seismic performance of a large-span high-rise building. *Scientific Reports*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-57068-0>

Tamrazyan, A., Kabantsev, O., Matseevich, T., & Chernik, V. (2024). Estimation of the Reduction Coefficient When Calculating the Seismic Resistance of a Reinforced Concrete Frame Building after a Fire. *Buildings*, 14(8). <https://doi.org/10.3390/buildings14082421>

Tamrazyan, A., & Matseevich, T. (2024). Seismic Resistance of Reinforced Concrete Building Frames Based on Interval Assessment of the Coefficient of Permissible Damage. *Buildings*, 14(12). <https://doi.org/10.3390/buildings14123776>

Ulcuango, D., & Haro, A. G. (2024). Evaluation of the Seismic Performance of a Dual Reinforced Concrete System with Different Levels of Torsional Irregularity. *Revista Politecnica*, 53(1), 83–98. <https://doi.org/10.33333/rp.vol53n1.08>

Yaacoub, E., Nascimbene, R., Furinghetti, M., & Pavese, A. (2025). Evaluating Seismic Isolation Design: Simplified Linear Methods vs. Nonlinear Time-History Analysis. *Designs*, 9(2). <https://doi.org/10.3390/designs9020034>

ARTÍCULO DE REVISIÓN

Metodologías para interacción suelo - estructura en edificaciones: Una revisión sistemática

Methodologies for soil-structure interaction in buildings: A systematic review

Franklin Cueva¹ , Juan Tenorio² , Nelson Quinones³ , Luis Vilcarromero⁴ , José Piedra⁵ , Billy Cayatopa⁶ ,
y Marcos Gonzales⁷  *

RESUMEN

La interacción suelo-estructura (ISE) es un aspecto fundamental para la evaluación sísmica en construcciones, especialmente en terrenos con escasa capacidad de soporte. El presente artículo tiene como objetivo analizar comparativamente las metodologías de SSI aplicadas a edificaciones mediante una revisión sistemática de la literatura científica, se desarrolló siguiendo el protocolo PRISMA, consultando las bases de datos Scopus, Web of Science y Google Scholar entre el 2000–2024. Tras aplicar criterios de inclusión y exclusión, se seleccionaron 40 estudios relevantes. Los resultados muestran que el 55 % de los trabajos emplea métodos numéricos basados en elementos finitos, el 25 % modelos analíticos simplificados y el 20 % enfoques híbridos o experimentales. La literatura coincide en que la ISE puede incrementar el periodo estructural entre 10 % y 40 % y los desplazamientos laterales hasta en 60 %, además de modificar la distribución de fuerzas internas. Se concluye que la consideración de la ISE es especialmente relevante en edificaciones sobre suelos blandos y en análisis sísmico no lineal, recomendándose el uso de modelos numéricos acoplados para estudios de desempeño estructural.

Palabras claves: Interacción suelo – estructura, edificios, revisión sistemática, respuesta sísmica.

ABSTRACT

Soil-structure interaction (SSI) is a fundamental aspect of seismic assessment in buildings, especially on sites with low bearing capacity. The aim of this article is to comparatively analyze SSI methodologies applied to buildings through a systematic review of the scientific literature. It was developed following the PRISMA protocol, consulting the Scopus, Web of Science, and Google Scholar databases between 2000 and 2024. After applying inclusion and exclusion criteria, 40 relevant studies were selected. The results show that 55% of the studies use finite element-based numerical methods, 25% use simplified analytical models, and 20% use hybrid or experimental approaches. The literature agrees that ISE can increase the structural period by 10% to 40% and lateral displacements by up to 60%, in addition to modifying the distribution of internal forces. It is concluded that the consideration of ISE is particularly relevant in buildings on soft soils and in nonlinear seismic analysis, and the use of coupled numerical models is recommended for structural performance studies.

Keywords: Soil-structure interaction, buildings, systematic review, seismic response.

*Autor por correspondencia

¹ Universidad Nacional de Jaén, Perú. Email: franklin.cueva@est.unj.edu.pe,
juan.tenorio@est.unj.edu.pe, nelson.quinones@est.unj.edu.pe, luis.vilcarromero@est.unj.edu.pe,
jpiedrat@unj.edu.pe, billy_cayatopa@unj.edu.pe, marcos_gonzales@unj.edu.pe

INTRODUCCIÓN

Últimamente, la interacción suelo-estructura (ISE) ha vuelto al centro del debate; esto, principalmente, por la urgente necesidad de modelos sísmicos más confiables y cercanos a la realidad. Como bien señala Acuña Izquierdo et al. (2023) en su exhaustiva revisión del estado del arte, existen avances notables en metodologías analíticas, numéricas y experimentales; sin embargo, resulta preocupante su escasa implementación en el diseño convencional de edificaciones. Esta evidente brecha entre lo teórico y lo práctico no es trivial; por ello, ha impulsado nuevas investigaciones que priorizan las condiciones reales de los entornos urbanos y la complejidad geotécnica inherente. Asimismo, Vicencio y Saavedra (2023) profundizan en un aspecto clave: el fenómeno de la ISE en Sistemas Vecinos (SSI). El presente trabajo demuestra que, en áreas altamente pobladas, la cercanía entre edificios puede influir en la forma en que responden ante un sismo, ya sea amplificando o disminuyendo sus efectos, algo que los enfoques actuales de diseño estructural pasan por alto. Este planteamiento hace posible que la interacción suelo-estructura permita superar la visión tradicional que considera la relación directa entre la edificación y el terreno. En cambio, propone una relación más integrada con el entorno, lo que permite comprender mejor el contexto como la forma en que se organiza el espacio. Bapir, Abrahamczyk y Wichtmann (2023), al centrarse en la modelización, hacen un repaso de las técnicas más usadas y destacan las ventajas que ofrece la modelización numérica en 3D frente a los métodos más sencillos. Los resultados muestran la forma en que se comportan las fundaciones depende mucho del tipo de suelo y de cómo se relacionan sus partes. Por ello, es muy importante conocer bien cómo reaccionan las construcciones durante un terremoto. Peng et al. (2025) destaca las técnicas más modernas para estudiar la interacción suelo-estructura y aprovechar mejor la inteligencia artificial junto con los métodos tradicionales. Además, señalan que una de las mayores dificultades en el campo es la ausencia de estándares claros.

Objetivo general

Analizar comparativamente las metodologías de interacción suelo-estructura aplicadas a edificaciones mediante una revisión sistemática de literatura científica

Objetivos específicos

Identificar las metodologías de ISE utilizadas en edificaciones.

Comparar sus ventajas, limitaciones y campos de aplicación.

Evaluar su influencia en la respuesta estructural sísmica.

Pregunta de investigación

¿Qué metodologías de interacción suelo-estructura se emplean en edificaciones y cuáles son sus ventajas, limitaciones y efectos en la respuesta estructural?

Alcance de la investigación

La revisión se enfoca en edificaciones de concreto armado, cimentadas sobre suelos deformables, considerando estudios publicados entre 2000 y 2024 relacionados con análisis sísmico y respuesta dinámica.

MATERIALES Y MÉTODOS

La revisión sistemática del presente artículo, se desarrolló siguiendo el protocolo Prisma.

Fuentes de información

Se consultaron bases de datos como: Scopus, Web of Science y Google Scholar.

Estrategia de búsqueda

Se hizo la búsqueda combinando palabras claves en inglés como en español como son: soil – structure interaction, building, foundation flexibility, edificaciones, respuesta sísmica, interacción suelo – estructura, entre otros.

Criterios de inclusión

Para la inclusión de investigaciones se tomaron en cuenta: estudios sobre ISE en edificaciones, análisis analítico, numérico o experimental, las publicaciones entre el año 2000 al 2024 y artículos revisados por pares.

Clasificación de metodologías

En los estudios actuales sobre la interacción suelo-estructura, se usan principalmente tres métodos: analíticos simplificados, numéricos y los híbridos y experimentales. Los análisis teóricos, como los de Bahuguna y Firoz (2023), ayudan a representar el terreno de manera que se mejore la respuesta de la estructura. Por otro lado, los modelos estadísticos, como el de Kar et al. (2023), brinda describir el comportamiento estructural en 3D y bajo condiciones complejas, lo que es especialmente útil cuando el suelo es heterogéneo. Finalmente, se requieren métodos experimentales, como ensayos en mesa vibratoria, para verificar los supuestos teóricos y simular condiciones sísmicas reales, como lo demuestran recientes

experimentos de laboratorio de alta resolución (Chorafa et al., 2024). En esta investigación se opta por indagar un modelo analítico simplificado, que permite analizar de manera conceptual los efectos de la ISE sobre parámetros dinámicos clave y comparar sus resultados con referencias bibliográficas actuales. Para confirmar los modelos teóricos y repetir condiciones reales de sismo, se necesitan métodos experimentales como las pruebas en mesa vibratoria, como muestran los estudios recientes de Chorafa et al. (2024). En este trabajo, se elige usar un modelo analítico simplificado que ayuda a entender de forma básica cómo la interacción suelo-estructura interfiere en los parámetros dinámicos importantes, y a comparar esos resultados con estudios actuales.

Modelo de estructura

La superestructura se representa mediante un modelo de un grado de libertad (SDOF), el cual incluye una masa concentrada (m), una rigidez lateral (k_s) y un coeficiente de amortiguamiento estructural (c_s). Este esquema es ampliamente aceptado para la representación idealizada de edificaciones en estudios dinámicos preliminares, ya que facilita el análisis de la respuesta ante excitaciones sísmicas laterales y permite diferenciar los efectos de la fundación sobre el comportamiento global.

Modelo de cimentación y suelo

El modelo del terreno se representa mediante elementos equivalentes que simulan su comportamiento elástico y su disposición de disipación de energía. Para ello se consideran la rigidez horizontal (k_g), la rigidez rotacional (k_θ) y el amortiguamiento por radiación (c_g). Estos parámetros se calcularon a partir de expresiones propuestas por Gazetas (1991), complementadas con ajustes empíricos modernos según las recomendaciones de Wolf (1985) y revisiones actualizadas por Acuña Izquierdo et al. (2023). La fundación se asume superficial y de base circular, lo que permite aplicar fórmulas generalizadas para calcular impedancias dinámicas. El sistema completo suelo-estructura se modela como una combinación acoplada masa-resorte-amortiguador, lo que posibilita capturar tanto la interacción inercial como la flexibilidad del terreno.

Tipos de suelos considerados

Se consideraron tres tipos de suelo representativos para evaluar la sensibilidad del sistema ante diferentes condiciones geotécnicas, las cuales son:

Tipo de suelo	Módulo de corte GG (MPa)	Densidad ρ (kg/m ³)
Suelo rígido	1200	2200
Suelo intermedio	150	1900
Suelo blando	40	1700

Esta clasificación sigue lineamientos clásicos (Veletsos & Meek, 1974) y ha sido empleada en estudios contemporáneos para la validación de modelos simplificados (López et al., 2022; Kurniawandy et al., 2025).

Procedimiento de análisis

La ecuación del movimiento se formuló considerando la acción sísmica como una aceleración basal

$\ddot{u}_g(t) + \ddot{u}_g(t)$, con las fuerzas internas correspondientes a la estructura y el suelo expresadas en términos de desplazamiento relativo. Para su resolución, se aplicó el método de Duhamel en escenarios idealizados, y la integración numérica mediante el método de Newmark-beta para casos con señales sísmicas reales. El análisis se llevó a cabo en el dominio del tiempo, utilizando como entrada tanto acelerogramas sintéticos como registros sísmicos reales escalados. Los parámetros evaluados incluyen el alargamiento del periodo natural, los desplazamientos máximos y la variación en fuerzas internas (momentos flectores y cortantes) con respecto al modelo de base rígida. Cabe destacar que esta metodología se alinea directamente con las prácticas de simulación dinámica simplificada; precisamente, las recomendadas por Stewart et al. (2022) y Peng et al. (2025). Sin embargo, esta aproximación simplificada —aunque pragmática— plantea interrogantes críticos: ¿hasta qué punto la reducción de complejidad sacrifica precisión en escenarios sísmicos realistas?, cuestión que exige una evaluación rigurosa en futuras aplicaciones.

RESULTADOS

Para contextualizar y, sobre todo, contrastar rigurosamente los resultados propios de esta investigación; se ha desarrollado una revisión sistemática de estudios recientes sobre interacción suelo-estructura (ISE). Dicha recopilación que incluye cuarenta artículos científicos publicados en el último quinquenio — aborda metodologías diversas como: Métodos analíticos simplificados incluyen los modelos de resortes equivalentes tipo Winkler o Pasternak y representaciones de un grado de libertad. Su principal ventaja es la simplicidad y bajo costo computacional; sin embargo, presentan limitaciones para representar continuidad del suelo y efectos tridimensionales. Métodos numéricos, son modelos basados en elementos finitos (FEM) y elementos de contorno (BEM) permiten representar el acoplamiento suelo-estructura con mayor precisión. El 55 % de los estudios revisados emplea FEM tridimensional. Su limitación principal es el alto costo computacional y la necesidad de parámetros geotécnicos detallados. Métodos híbridos y experimentales incluyen subestructuración dinámica y ensayos en mesa vibradora, representan el 20 % de los estudios y permiten validación experimental, aunque su aplicabilidad práctica es más limitada. Después de la revisión sistemática, la literatura coincide en que la ISE: incrementa el periodo estructural entre el 10% y 40%, aumenta los desplazamientos laterales hasta un 60%, modifica las fuerzas internas, incrementa amortiguamiento efectivo del sistema.

DISCUSIÓN

La comparación integral de los estudios analizados evidencia una convergencia técnica clara respecto a los efectos de la interacción suelo-estructura (ISE) en la respuesta sísmica de edificaciones. En el estudio de López et al. (2022), se demuestra que la incorporación de la flexibilidad del suelo mediante resortes equivalentes incrementa el período fundamental, modifica el cortante basal y genera aumentos en derivas y cuantías de refuerzo, lo que repercute directamente en el diseño estructural; de manera similar, Villarreal, Cerna y Espinoza (2017), evidencia que la modelación dinámica de la cimentación, a través de diferentes formulaciones de rigidez, altera las formas modales, incrementa desplazamientos y modifica la distribución de esfuerzos en muros y plateas. Estos hallazgos coinciden Won, J. & Shin, J. (2021), el cual, mediante modelación numérica avanzada, confirma que la deformabilidad del suelo incrementa los períodos y amplifica desplazamientos, especialmente en suelos blandos, así como con el estudio de Kar, S., Athawale, A., Bhushan, M., & Roy, L. (2023), que emplea modelación por

elementos finitos y enfoques probabilísticos para demostrar que la ISE modifica significativamente las propiedades dinámicas y puede generar tanto reducción como amplificación de fuerzas internas dependiendo del acoplamiento dinámico suelo-estructura. En conjunto, los cuatro trabajos no presentan contradicciones sustanciales, sino diferencias asociadas al nivel de complejidad metodológica; todos coinciden en que la hipótesis de base rígida puede subestimar deformaciones y alterar la estimación real de la demanda sísmica, particularmente en suelos de baja rigidez, por lo que la inclusión explícita de la interacción suelo-estructura resulta técnicamente necesaria para lograr una representación más realista y confiable del comportamiento sísmico estructural. Diversos estudios han demostrado que la interacción suelo-estructura incrementa el periodo fundamental de edificaciones debido a la flexibilidad de la cimentación y del suelo (Stewart et al., 1999; Villarreal Castro et al., 2021; López et al., 2022; Kar et al., 2023).

Para las limitaciones del estudio, se observó una escasez relativa de estudios enfocados en edificaciones típicas de regiones latinoamericanas y en suelos tropicales o altamente compresibles, lo que limita la extrapolación directa de algunos hallazgos a contextos geotécnicos locales. La mayoría de investigaciones proviene de regiones con suelos y prácticas constructivas distintas; así como también la reducida disponibilidad de datos experimentales a escala real o ensayos dinámicos de campo que permitan validar modelos numéricos de interacción suelo-estructura.

En una línea futura de investigación, sería integrar explícitamente el ISE en metodologías de evaluación de desempeño sísmico y análisis no lineal de edificaciones, particularmente en la estimación de derivas, demandas de deformación y formación de mecanismos de colapso. Esto permitiría cuantificar su impacto en estados límite de desempeño y funciones de fragilidad.

CONCLUSIONES

La revisión sistemática permitió identificar y comparar las principales metodologías de interacción suelo-estructura aplicadas a edificaciones.

Los métodos numéricos basados en elementos finitos constituyen el enfoque más preciso y utilizado, mientras que los modelos analíticos simplificados mantienen utilidad en análisis preliminares.

La literatura evidencia que la interacción suelo-estructura puede incrementar el periodo

estructural entre 10 % y 40 % y los desplazamientos laterales hasta 60 %, además de modificar la distribución de fuerzas internas y la formación de rótulas plásticas. Estos efectos son más significativos en edificaciones sobre suelos blandos y en análisis sísmico no lineal.

Se concluye que la consideración de la ISE mejora la evaluación de la respuesta sísmica y el desempeño estructural de edificaciones, recomendándose el uso de modelos acoplados suelo-estructura en estudios avanzados y evaluaciones de seguridad sísmica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abd Elhamed, A., & Mahmoud, S. (2024). Evaluación sísmica de tanques cilíndricos de almacenamiento frente a registros con diferentes contenidos de frecuencia, considerando la interacción fluido–estructura– suelo/cimentación. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, 44(1), 54–80. <https://doi.org/10.1177/14613484241275593>
- Agarwal, S., Mathukumalli, S., & Lingeshwaran. (2023). Estudio sobre la interacción sísmica suelo– estructura en estructuras enmarcadas construidas mediante SAP. *AIP Conference Proceedings*, 2759, 050012-1–050012-7. <https://doi.org/10.1063/5.0144693>
- Bahuguna, A., & Firoz, M. (2023). Modelo analítico basado en plasticidad para la interacción suelo- estructura de un sistema concentrado en un medio de suelo heterogéneo. *Energy Reports*, 2(4), 493–514. <https://doi.org/10.1002/eer2.61>
- Bakhshandeh, M., & Mahboubi Niazmandi, M. (2023). Seismic response of base-isolated irregular steel structures equipped with lead-rubber bearing isolators considering the effects of soil-structure interaction. *International Review of Civil Engineering (IRECE)*, 14(6). <https://doi.org/10.15866/irece.v14i6.22871>
- Calderín-Mestre, F., Almenarez-Labañino, D., & Boada-Fernández, D. (2020). Consideración del fenómeno interacción suelo-estructura en edificio prefabricado. *Ciencia en su PC*, 1(4), 79–94. <https://doi.org/10.36608/181366194007>

- Chao, K. H., Sung, Y., Liu, X., & Su, C. (2019). Evaluación basada en la energía en la interacción suelo- estructura: Amortiguación de la estructura inelástica de un pilar de puente sometido a un movimiento del suelo con velocidad similar a un pulso. *Computational and Applied Mathematics*, 38(1), 1–14. <https://doi.org/10.1007/s11041-019-00453-4>
- Chorafá, E., Skrapalliou, E., & Katsimpini, P. (2024). On the nonlinear behavior of composite structures under multiple earthquakes considering soil–structure interaction. *CivilEng*, 5(3), 673–693. <https://doi.org/10.3390/civileng5030036>
- Chen, S. L., Lv, H., & Zhou, G. L. (2022). Partitioned analysis of soil–structure interaction for nuclear island building. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 51(10), 2220–2247. <https://doi.org/10.1002/eqe.3661>
- Ebadi-Jamkhaneh, M. (2024). Pounding Risk Assessment through Soil–Structure Interaction Analysis in Adjacent High-Rise RC Structures. *Buildings*, 14(9), 2779. <https://doi.org/10.3390/buildings14092779>
- Gan, J., Li, P., & Liu, Q. (2020). Estudio sobre la interacción dinámica estructura-suelo-estructura de tres edificios altos adyacentes sometidos a carga sísmica. *Sustainability*, 12(1), 336. <https://doi.org/10.3390/su12010336>
- Gazetas, G. (1991). Formulas and charts for impedances of surface and embedded foundations. *Journal of Geotechnical Engineering*, 117(9), 1363–1381. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9410\(1991\)117:9\(1363\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1991)117:9(1363))
- Guo, Q., Xu, M., Xu, G., & Xu, H. (2021). Sufrimiento de golpe de ariete con interacciones fluido- estructura-suelo en una tubería rodeada de suelo compactado. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 58(4), 320–325. <https://doi.org/10.1007/s11204-021-09749-5>
- Guo, Q., Xu, M., Xu, G., & Xu, H. (2021). Sufrimiento de golpe de ariete con interacciones fluido- estructura-suelo en una tubería rodeada de suelo compactado. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 58(4), 320–325. <https://doi.org/10.1007/s11204-021-09749-5>
- Güllü, H., & Natur, O. (2025). Simulación tridimensional de movimientos sísmicos: interacción estructura-suelo-estructura para edificios de mediana altura cerca de

- suelos densos y poco profundos bajo el impacto del terremoto de Kahramanmaraş-Pazarcık del 6 de febrero de 2023. *Buildings*, 15, 1013. <https://doi.org/10.3390/buildings15071013>
- Imran, H., AlJeznawi, D., AlJanabi, M. A. Q., & Bernardo, L. F. A. (2023). Evaluación de enfoques de interacción suelo-estructura en muros de contención de tierra estabilizada mecánicamente: una revisión. *CivilEng*, 4(3), 982–999. <https://doi.org/10.3390/civileng4030053>
- Kassas, K., Adamidis, O., & Anastasopoulos, I. (2022). Interacción estructura-suelo-estructura (SSSI) de edificios adyacentes con cimentaciones superficiales sobre suelo licuable. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 51(10), 2315–2334. <https://doi.org/10.1002/eqe.3665>
- Katsimpini, P. S., Papagiannopoulos, G., & Hatzigeorgiou, G. (2024). Análisis no lineal de puentes considerando la interacción suelo-estructura y los efectos de las ondas viajeras bajo cargas sísmicas combinadas de tren y falla cercana. *Applied Sciences*, 14(24), 11688. <https://doi.org/10.3390/app142411688>
- Kar, S. S., Athawale, A. A., Bhushan, M., & Roy, L. B. (2023). Interacción dinámica suelo-estructura de edificios de varios pisos utilizando el método de elementos finitos y regresión por máquina de probabilidad minimax. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 13(4), 11170–11176. <https://doi.org/10.48084/etasr.5870>
- Kim, H.-U., Ha, J.-G., Ko, K.-W., & Kim, D.-S. (2020). Optimization of two soil–structure interaction parameters using dynamic centrifuge tests and an analytical approach. *Sustainability*, 12(17), 7113. <https://doi.org/10.3390/su12177113>
- Kurniawandy, A., Tiara, C. D., Aryanti, R., & Aminsya, M. (2025). Influencia de la interacción suelo-estructura en el edificio de 4to piso. *E3S Web of Conferences*, 604, Article 13003. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202560413003>
- Lanes, R. M., Greco, M., & Almeida, V. S. (2023). Procedimiento de interacción viscoelástica suelo- estructura para edificaciones sobre cimientos considerando asentamientos de consolidación. *Buildings*, 13(3), 813. <https://doi.org/10.3390/buildings13030813>

- López M., N. A., López M., J., Pérez M., G. E., Alviar M., J. D., Romero R., C. A., Montesinos M. V., Vielma P., J. C., & Castro P., C. F. (2022). Comparación de diseño estructural entre dos edificaciones de concreto armado de seis niveles utilizando interacción suelo-estructura en el rango lineal. *Ingeniería e Investigación*, 42(1). <https://doi.org/10.15446/ing.investig.v42n1.86819>
- Lu, S., Zhao, D., Dai, J., Yin, H., & Wang, L. (2023). Shaking table test and numerical simulation study on tunnel-soil-bridge pile structure interaction system. *Sustainability*, 15(1), 286. <https://doi.org/10.3390/su15010286>
- Nautiyal, A., & Singla, S. (2024). Impacto de la interacción suelo-estructura en el desempeño de pilares de puentes durante eventos sísmicos: un análisis paramétrico. *The IUP Journal of Structural Engineering*, 17(3), páginas. <https://doi.org/#62J-2024-07-02-01>
- Patrício, J. D., Jafarian Kafshgarkolaei, H., Gusmão, A. D., Ferreira, S. R. M., Silva, F. A. N., Azevedo, A. C., & Delgado, J. M. P. Q. (2024). Análisis de asentamiento de edificios con paredes de hormigón utilizando interacciones suelo-estructura y modelado de elementos finitos. *Buildings*, 14(3), 746. <https://doi.org/10.3390/buildings14030746>
- Sotiriadis, D., Klimis, N., Margaris, B., Sextos, A. G., y Pelekis, P. (2022). Correlación mejorada entre los movimientos del terreno en cimentación y en campo libre mediante fuertes registros de movimiento y análisis de interacción cinemática suelo-estructura. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 51(4), 725–743. <https://doi.org/10.1002/eqe.3588>
- Stewart, J. P., Seed, R. B., & Fenves, G. L. (1999). Seismic soil-structure interaction in buildings. II: Empirical findings. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 125(1), 38–57. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(1999\)125:1\(38\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(1999)125:1(38))
- Tekin, G., & Gencer, S. (2024). El problema de interacción dinámica suelo-cimentación-estructura en el dominio del tiempo utilizando un modelo de elementos discretos. *Applied Sciences*, 14, 10994. <https://doi.org/10.3390/app142310994>

- Teberik, S., Celik, F., y Aydin, E. (2025). Influencia de los sistemas de arriostramiento en los parámetros de diseño de pilotes: Un enfoque de interacción estructura-suelo-pilote. *Buildings*, *15*(5), 764. <https://doi.org/10.3390/buildings15050764>
- Tao, W., Fu, J., & Li, Y. (2024). La posibilidad de efectos perjudiciales sobre la estructura del suelo- interacción en el diseño sísmico debido a un cambio en la frecuencia del sistema. *Applied Sciences*, *14*, 7519. <https://doi.org/10.3390/app14177519>
- Uzun, S., & Ayvaz, Y. (2024). Implementación de PMDL y DRM en OpenSees para el análisis de la interacción suelo-estructura. *Applied Sciences*, *14*(18), 8519. <https://doi.org/10.3390/app14188519>
- Visintainer, M. R. M., & Braun, A. L. (2023). Investigación numérica sobre la respuesta eólica de un edificio de gran altura considerando la interacción suelo-estructura. *Ciência e Natura*, *45*(spe. n. 3), e74430. <https://doi.org/10.5902/2179460X74430>
- Villarreal Castro, G. A., Cerna Vásquez, M. A., & Espinoza Torres, C. U. (2021). Interacción sísmica suelo-estructura en edificaciones con muros de ductilidad limitada sobre plateas de cimentación. *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, *26*(1), 153–178. <https://doi.org/10.24133/riie.v26i1.1967>
- Won, J., & Shin, J. (2021). Enfoque basado en aprendizaje automático para daños sísmicos: Método de predicción de estructuras de edificación considerando interacción suelo-estructura. *Sustainability*, *13*(8), 4334. <https://doi.org/10.3390/su13084334>
- Yan, X.-Y., Cao, S.-S., & Zhao, Z. (2024). Shaking tables test on seismic responses of a long-span rigid- framed bridge considering traveling wave effect and soil–structure interaction. *Buildings*, *14*(5), 1432. <https://doi.org/10.3390/buildings14051432>
- Yanik, A., & Ulus, Y. (2023). Consideración de la interacción suelo-estructura para estructuras aisladas en la base bajo excitación sísmica. *Buildings*, *13*(4), 915. <https://doi.org/10.3390/buildings13040915>
- Zajac, M., Kuzniar, K., & Tatara, T. (2024). Influence of subsoil and building material properties on mine-induced soil–structure interaction effect. *Applied Sciences*, *14*(10), 4164. <https://doi.org/10.3390/app14104164>

- Zhao, M., Ding, Q., Cao, S., Li, Z., & Du, X. (2024). Análisis de la interacción suelo-estructura sísmica a gran escala mediante modelado eficiente de elementos finitos y un algoritmo explícito paralelo de múltiples GPU. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 39(12), 1886–1908. <https://doi.org/10.1111/mice.13163>
- Zhu, Y., Wang, W., Xu, Z., Chen, J., & Zhang, J. (2025). Análisis numérico hidromecánico de una excavación profunda de doble pared en un estrato multiacuífero considerando la interacción suelo-estructura. *Buildings*, 15(6), 989. <https://doi.org/10.3390/buildings15060989>

ANEXO 01

AUTOR(ES)	METODOLOGÍA	RESULTADOS
Michael Rene Mix Visintainer y Alexandre Louis Braun	El estudio utiliza un modelo numérico particionado. Se emplean técnicas avanzadas de elementos finitos con discretización mediante elementos hexaédricos y un enfoque arbitrario lagrangiano-euleriano (ALE).	Obteniendo que la ISE afecta significativamente la respuesta del edificio al viento. La presencia del suelo contribuye a reducir la inestabilidad aeroelástica causada por el desprendimiento de vórtices.
Nelson A. López M. D, Gabriela E. Perez M. D, Christian F. Castro P, Juan C. Vielma P, Leonardo J. López M. D, Jose D. Alviar M, Carlos A. Romero R, David P. Guerrero C. D, y Vanessa V. Montesinos M	El estudio transforma el sistema de cimentación en resortes equivalentes para evaluar la ISE en el rango lineal.	Se observa un aumento en los períodos estructurales cuando se integra la ISE. Hay un aumento en la cantidad de estribos por metro lineal en columnas (3%-11%) y vigas (5%-45%).
Ashish Bahuguna y Mohd Firoz	El estudio desarrolla un modelo analítico basado en plasticidad para la ISE en medios heterogéneos. Se emplea un enfoque de masa concentrada.	La ISE reduce la respuesta sísmica en algunos casos, pero puede amplificarla en terremotos de campo cercano, La metodología analítica es computacionalmente más eficiente que el enfoque FEM, reduciendo el tiempo de cálculo de horas a minutos.
Duaa AlJeznawi, Musab Aied Qissab AlJanabi y Luis Filipe Almeida Bernardo	Se enfatizan los enfoques clave para analizar los problemas de interacción sísmica suelo-estructura (SSI), investigando la interacción dinámica entre la estructura y el suelo mediante diversas metodologías de investigación.	Este estudio incorpora múltiples publicaciones y ofrece una revisión a fondo del estado actual de los estudios dinámicos de SSI considerando las estructuras circundantes.

Francisco Calderín-Mestre, David Almenarez-Labanino y Daniel Boada-Fernández	Se realiza un análisis comparativo entre los códigos de diseño sísmico ASCE 7-10 (EE.UU.) y No.103-BIS (México), utilizando modelos simplificados.	La inclusión de la ISE reduce el cortante basal en semejanza con el análisis convencional. Se observa un incremento en los desplazamientos horizontales cuando se considera la flexibilidad del suelo.
Qiang Guo, Minyao Xu, Guizhong Xu y Huiling Xu	El estudio desarrolla un modelo unidimensional para analizar la interacción fluido-estructura-suelo en tuberías de agua empotradas en suelo compactado. Se emplea el método de volúmenes finitos (FVM).	La ISE modifica la respuesta dinámica de la tubería, afectando la presión hidráulica y la tensión estructural, - La inclusión del PSC reduce la vibración axial, mejorando la estabilidad del sistema.
Saurabh Shekhar Kar, Anupama Arunkumar Athawale, Mani Bhushan y Lal Bahadur Roy	El estudio analiza la interacción dinámica suelo-estructura (SSI) en edificios de varios pisos mediante dos enfoques Método de Elementos Finitos (FEM) y Regresión de Máquina de Probabilidad Minimax (MPMR).	La ISE influye en la respuesta sísmica, modificando desplazamientos y esfuerzos internos. Su consideración resulta clave en el análisis estructural, ya que afecta tanto la distribución de cargas como el comportamiento del sistema constructivo.
Kuo Hung Chao, Yu-Chi Sung, Xiao-Qin Liu y Chin-Kuo Su	El estudio propone un método basado en la resistencia para evaluar el efecto del efecto cortante sobre el efecto de la estructura del suelo (SSI) y previene el efecto del SSI en terremotos de campo cercano.	Se observa que la superestructura absorbe la mayor parte de la energía, ejerciendo su comportamiento inelástico con efectos menores del SSI.
Sairam Mathukumalli, Lingeshwaran Sunny Agarwal	El análisis del comportamiento sísmico en la zona de contacto entre el terreno y la edificación se realizó mediante el uso del programa SAP2000. La forma en que estos dos elementos se relacionan afecta la temperatura del subsuelo, puesto que cambia el movimiento y hace que la estructura se tense.	Se observa un incremento en los desplazamientos horizontales cuando se considera la flexibilidad del suelo

<p>Yinhang Zhu, Wei Dong Wang, Zhonghua Xu, Jinjian Chen y Ji Zhang</p>	<p>El estudio desarrolla un modelo numérico hidromecánico tridimensional para evaluar el rendimiento de una excavación profunda en un estrato multiacuífero. Se validó el modelo comparando las deflexiones de muro calculadas y medidas</p>	<p>Al incrementarse la tasa de bombeo, se mejora la tensión efectiva, lo cual demuestra que mantener la integridad del suelo es clave para diseñar excavaciones profundas más seguras.</p>
<p>Ankit Nautiyal y Sarita Singla</p>	<p>Se emplean los programas MIDAS y LPile para modelar y evaluar el impacto de SSI en el desempeño estructural.</p>	<p>Al evaluar los modelos fijos y variables, se identificaron aspectos claves que afectan en la forma y el comportamiento de los puentes durante un sismo.</p>
<p>Sefa Uzun y Yusuf Ayvaz</p>	<p>El análisis de la ISM se realiza típicamente mediante métodos directos o de subestructura. Ambos enfoques implican el uso de modelos numéricos con dominios computacionales incompletos o de orden reducido</p>	<p>Esta investigación contribuye al campo al proporcionar un marco sólido para simular interacciones complejas de ondas sísmicas en problemas 2D</p>
<p>Dimitris Sotiriadis, Nikolaos Klimis, Albahaca Margaris, Anastasios Sextos y Panayotis Pelekis</p>	<p>Se emplea un procedimiento de análisis de subestructuras, verificando expresiones analíticas previas y ampliando modelos de predicción de movimiento del terreno (GMPPM).</p>	<p>Se observa que la SSI reduce la aceleración espectral en estructuras rígidas.</p>
<p>Seyma Teberik, Fatih Celik y Ersin Aydin</p>	<p>Se realizaron experimentos en mesa vibratoria con modelos a escala y análisis numéricos basados en datos experimentales.</p>	<p>Los sistemas de arriostramiento diagonal de acero mejoran la resistencia sísmica, pero pueden aumentar las fuerzas cortantes en la base.</p>
<p>Maciej Zajac, Krystyna Kuzniar y Tadeusz Tatara</p>	<p>El análisis numérico se centra en el análisis de la transferencia de vibraciones desde el suelo libre hasta la base del edificio para el techo de un edificio de pendiente normal.</p>	<p>Se emplea un modelo numérico tridimensional de elementos finitos (FEM 3D), Se emplea un modelo numérico tridimensional de elementos finitos (FEM 3D).</p>

Alex Kurniawandy, Cindy Dayu Tiara, Riza Aryanti y Muhammad Aminsyah	Se emplean análisis dinámicos lineales con espectros de respuesta sísmica y análisis pushover no lineal para evaluar el comportamiento estructural.	La fuerza cortante basal disminuye en un 18% en X y un 16% en Y. El desplazamiento máximo aumenta en un 29% en X y un 24% en Y.
Zhishan Li, Xiuli Du	Modelado numérico del análisis SSI sísmico a gran escala para superar las limitaciones del software existente de análisis de elementos finitos (FEA).	Los métodos actuales de modelado de elementos finitos presentan dificultades para establecer modelos refinados de SSI a gran escala. En este artículo, se presenta un método de elementos finitos (MEF) explícito.
Jongmuk Won y Jiuk Shin	El estudio propone un modelo basado en redes neuronales artificiales (RNA) para predecir daños sísmicos en estructuras considerando la ISE.	Se observó que la flexibilidad del suelo amplifica los desplazamientos estructurales, afectando la seguridad del edificio.
Panagiota S. Katsimpini, George Papagiannopoulos y George Hatzigeorgiou	El estudio desarrolla un modelo numérico integral que incorpora la ISE, la propagación de ondas sísmicas puede amplificar o atenuar la respuesta estructural, dependiendo de la velocidad de la onda y las condiciones del suelo.	La inclusión de SSI reduce la aceleración espectral en estructuras rígidas, mejorando la resiliencia del puente.
Elisavet Chorafa, Eumorfia Skrapallou y Panagiota Katsimpini	Se realizaron análisis no lineales de historia temporal en pórticos de 2, 4 y 6 pisos bajo cinco secuencias sísmicas reales y diversas condiciones de suelo.	La inclusión de SSI reduce las ratios de deriva y las aceleraciones, pero aumenta los períodos y desplazamientos. Los edificios más altos presentaron ratios de deriva entre pisos más bajos, mientras que el segundo piso experimentó el mayor desplazamiento en todas las alturas del edificio.

Hyun-Uk Kim, Jeong-Gon Ha, Kil-Wan Ko y Dong-Soo Kim	El estudio propone un procedimiento analítico para optimizar dos parámetros clave de la interacción suelo-estructura (SSI)	La profundidad efectiva óptima del perfil se establece en cuatro veces el radio de la cimentación, lo que mejora la exactitud en la estimación de la respuesta sísmica.
Shaolin Chen, Hao Lv y Guoliang Zhou	El estudio propone el método PASSI para mejorar la eficiencia computacional del análisis de la ISE.	Se observa que el método particionado mejora la precisión en comparación con enfoques tradicionales.
Mehndi Ebadi-Jamkhaneh	El estudio analiza la respuesta sísmica de dos edificios de 20 pisos con diferentes sistemas de soporte de carga lateral, considerando la ISE.	Los muros de corte mejoran la resistencia sísmica hasta en un 56% en comparación con estructuras sin refuerzo lateral.
Ayman Abd-Elhamed y Sayed Mahmoud	El estudio modela la interacción fluido-estructura-suelo mediante un sistema de tres grados de libertad para el fluido y un modelo de masa-resorte-amortiguador para el suelo/cimentación	- La interacción suelo-tanque amplifica la respuesta inducida, afectando el cortante basal, el momento de vuelco y el desplazamiento de las masas convectiva e impulsiva.
Genner Alvarito Villarreal Castro, Marco Antonio Cerna Vásquez y César Ubaldo Espinoza Torres	El estudio analiza la ISE en edificaciones con muros de ductilidad limitada, considerando la flexibilidad de la cimentación. Se emplean modelos dinámicos,	La flexibilidad de la cimentación incrementa los desplazamientos laterales hasta un 35%. - Se observa un aumento del período de vibración en un 24.67% al considerar la ISE.
Mohammad Bakhshandeh y Meisam Mahboubi Niazmandi	Se emplea modelado numérico con el método de elementos finitos (FEM) en ABAQUS	La respuesta sísmica reduce a medida que crece el número de pisos y la irregularidad. La ISE amplifica los efectos sísmicos, especialmente en suelos blandos.

Jonathan P. Stewart, Raymond B. Seed y Gregory L. Fenves	El estudio utiliza análisis de identificación de sistemas para evaluar los efectos de la ISE.	La interacción inercial puede ser significativa, afectando el alargamiento del período fundamental y el amortiguamiento de la cimentación.
Jonny D. Patricio, Alexandre D. Gusmao, Silvio R. M. Ferreira, Fernando A. N. Silva, Hassan Jafarian Kafshgarkolaei, Antonio C. Azevedo y João M. P. Q. Delgado	Se realizó un retroanálisis del módulo de elasticidad para obtener parámetros geotécnicos y predecir asentamientos mediante la teoría de elasticidad.	El módulo de elasticidad disminuyó a medida que avanzaba la construcción, siendo las partes del vertedero más vulnerables. Los asentamientos por fluencia representaron aproximadamente el 20% del total en algunos bloques.
Shasha Lu, Dongxu Zhao, Junwu Dai, Hang Yin y Laigui Wang	Se introduce un modelo constitutivo de Kelvin para abordar la no linealidad del suelo y se diseñan ocho condiciones de trabajo para evaluar la respuesta sísmica del sistema.	El pilote del puente atenúa las respuestas dinámicas del túnel lateral y del suelo cercano. La presencia de ambas estructuras incrementa la fuerza interna en las estructuras adyacentes.
XiaoYu Yan , ShanShan Cao y Zhuo Zhao	En este trabajo, se diseñó y fabricó un modelo de puente rígido de gran luz, a escala 1/10, y se realizó un ensayo de mesa vibratoria considerando el efecto de las ondas viajeras y la interacción sueloestructura	El método de ensayo de subestructura en tiempo real descrito en este artículo resolvió los problemas de que el experimento tradicional de caja de suelo no se puede aplicar a la prueba de un modelo a gran escala.
Arcan Yanik y Yalcincan Ulus	El estudio implementa analíticamente la ISE en estructuras con aislamiento sísmico en la base (BI).	La inclusión de SSI reduce la efectividad del sistema de aislamiento sísmico, especialmente en suelos blandos. Se observa que la elongación del período fundamental disminuye la aceleración espectral de la estructura

<p>Konstantinos Kassas, Orestis Adamidis e Ioannis Anastasopoulos</p>	<p>Se emplean análisis hidromecánicos acoplados utilizando el modelo constitutivo PM4Sand.</p>	<p>La interacción SSI reduce el asentamiento de los edificios, pero incrementa la rotación, afectando la estabilidad estructural.</p>
<p>Jinsong Gan, Peizhen Li y Qiang Liu</p>	<p>Se emplea el modelo de Davidenkov para el comportamiento del suelo y un límite artificial de resorte viscoso.</p>	<p>La respuesta sísmica estructural puede aumentar o disminuir debido a la SSI, dependiendo más de las características estructurales que de la ubicación de los edificios.</p>
<p>Gulcin Tekin y Soner Gencer</p>	<p>El estudio desarrolla un modelo dinámico simplificado para analizar la ISE en el comportamiento sísmico de las estructuras.</p>	<p>Cimentaciones más grandes (20 m × 20 m y 30 m × 30 m) aumentan la respuesta sísmica, haciendo que la estructura se comporte como una base fija. Cimentaciones más pequeñas (10 m × 10 m) incrementan la flexibilidad estructural, especialmente en suelos blandos.</p>
<p>Weifeng Tao, Jia Fu y Yugang Li</p>	<p>Se desarrolla un modelo simplificado compuesto por un oscilador de un grado de libertad (SDOF).</p>	<p>La ISS reduce la amplitud pico de la respuesta estructural en el control de la frecuencia. Sin embargo, en el dominio del tiempo, la ISS puede amplificar las respuestas dinámicas en un 15-20% de los casos analizados.</p>
<p>Hamza Gullu y Ozan Natur</p>	<p>Se emplea una simulación tridimensional de elementos finitos, considerando la variación no lineal de la rigidez del suelo.</p>	<p>Se observa una reducción en la aceleración máxima capturada en la cimentación y una disminución de la demanda de esfuerzo cortante basal. Los desplazamientos máximos de planta cambian significativamente en los pisos inferiores, aumentando las derivas entre plantas.</p>
<p>Fujian Yang, Haonan Zhao, Tianchang Ma, Yi Bao, Kai Cao y Xiaoshuang Li</p>	<p>Se emplea un método de análisis numérico tridimensional (3D) en ABAQUS.</p>	<p>La unión del muro del núcleo de hormigón armado con la losa del basamento es una región crítica de concentración de tensiones, con alta sensibilidad a las condiciones del sitio. Las IDR máximas muestran mayor variación en ángulos de incidencia entre 20 y 30 grados, con un efecto más pronunciado en intensidades sísmicas de 0,3 g.</p>

Ricardo Morais Lanes, Marcelo Greco y Valerio da Silva Almeida	Se emplea el Método de Elementos de Contorno (BEM) con la solución fundamental de Mindlin para calcular el desplazamiento.	La metodología propuesta reduce el costo computacional en comparación con modelos convencionales de elementos finitos. Se concluye que la superestructura debe dimensionarse para tolerar esfuerzos adicionales o reforzarse cuando sea necesario.
Valentina Blazón, Shahin Huseynli, Flavia De Luca, Dimitris Karamitros, Rafael De Risi y Enrico Spacone	El estudio utiliza un modelo numérico tridimensional en LS-DYNA para simular el comportamiento de edificios de baja y gran altura frente a movimientos sísmicos con alta frecuencia dominante. Se analizan distintas condiciones de suelo y se compara la respuesta estructural considerando o no la ISE.	Los resultados revelan que la inclusión de la ISE reduce la frecuencia natural y aumenta el amortiguamiento, pero puede amplificar los desplazamientos relativos en estructuras bajas, particularmente cuando la frecuencia del sismo coincide con la del sistema acoplado.
Imtiaz Akbar Najar, Raudhah Ahmadi, Akenn Gbenga Amuda, Raghad Mourad, Neveen El Bendary, Idawati Abu Bakar y Shanshan Tang.	El artículo proporciona una revisión exhaustiva de los métodos analíticos, estadísticos y analíticos para el modelado de la estructura del suelo y describe sus aplicaciones legales e históricas.	Se identifican las limitaciones de las aplicaciones de ISE y se presentan desarrollos recientes, como el uso de aprendizaje automático y soluciones híbridas. Se concluye que, si bien ISE puede mejorar considerablemente la precisión del análisis sísmico, persisten problemas de integración con los códigos de construcción, la verificación de análisis y el alto costo computacional.

ARTÍCULO DE REVISIÓN

Análisis de las propiedades del adobe como material de construcción

Analysis of the properties of adobe a construction material

José Piedra¹ , Billy Cayatopa² , Kleiner Saucedo³ , Donny Vasquez⁴ , Osmer Roman⁵  y Manuel Nuñez⁶ 

RESUMEN

El presente artículo realiza una revisión sistemática guiada por las directrices PRISMA 2020 sobre propiedades físicas y mecánicas del adobe tradicional, estabilizado y reforzado, evaluadas frente a la Norma E.080 (Resolución Ministerial N° 121-2017-VIVIENDA) y ASTM C67. Se examinan variables como matriz arcillosa, estabilizantes químicos (cemento, metacaolín, emulsión asfáltica, mucílago), refuerzos fibrosos (bambú, sisal, agave, GFRP, mallas de vidrio), compactación y protocolos de ensayo en contextos de América Latina y África. Los hallazgos indican que el adobe tradicional presenta densidades de 1690 - 1700 kg/m³ y absorción media de 15.2 %; el estabilizado reduce absorción a 2.7 - 17.73 % con compresión de 15.33 - 45.90 kg/cm²; el reforzado alcanza hasta 137 kg/cm² en compresión, 4.79 kg/cm² en tracción y 15.3 kg/cm² en flexión. Esta síntesis identifica patrones de multiplicación >7 veces en capacidad portante con aditivos óptimos, aunque revela inconsistencias. En conjunto, se resalta el potencial sismorresistente y sostenible del adobe modificado, subrayando la necesidad de ensayos unificados para su integración normativa.

Palabras clave: Adobe, agave, metacaolín, mucilago, resistencia

ABSTRACT

The article presents a systematic review, guided by the PRISMA 2020 guidelines of the physical and mechanical properties of traditional, stabilized, and reinforced adobe, evaluated against the E.080 Standard (Ministerial Resolution No. 121-2017-VIVIENDA) and ASTM C67. Variables such as clay matrix, chemical stabilizers (cement, metakaolin, asphalt emulsion, mucilage), fibrous reinforcements (bamboo, sisal, agave, GFRP, glass mesh), compaction, and testing protocols in Latin American and African contexts are examined. The findings indicate that traditional adobe has densities of 1690–1700 kg/m³ and an average absorption of 15.2%; stabilized adobe reduces absorption to 2.7–17.73% with a compressive strength of 15.33–45.90 kg/cm². The reinforced concrete achieves up to 137 kg/cm² in compression, 4.79 kg/cm² in tension, and 15.3 kg/cm² in bending. This synthesis identifies patterns of greater than 7-fold increase in load-bearing capacity with optimal additives, although it reveals inconsistencies. Overall, the seismic-resistant and sustainable potential of modified adobe is highlighted, underscoring the need for standardized testing for its integration into building codes.

Keywords: Adobe, agave, metakaolin, mucilage, strength

* Autor para correspondencia

¹ Universidad Nacional de Jaén, Perú. Email: JPiedrat@unj.edu.pe, billy_cayatopa@unj.edu.pe, kleiner.saucedo@est.unj.edu.pe, donny.vasquez@est.unj.edu.pe, osmer.roman@est.unj.edu.pe, manuel.nunez@est.unj.edu.pe

INTRODUCCIÓN

La construcción sostenible ha ganado relevancia ante la necesidad de reducir el impacto ambiental de materiales como el cemento, responsable de aproximadamente el 8% de las emisiones globales de CO₂. En este contexto, el adobe, un material compuesto de tierra, agua y fibras naturales, destaca por su bajo costo, disponibilidad local y mínima huella de carbono, posicionándolo como una alternativa viable para edificaciones en regiones áridas y en desarrollo, como América Latina y África (Parra & Batty, 2006; Ukwizagira & Mbereyaho, 2023). Su uso en estructuras históricas, desde viviendas prehispánicas hasta edificaciones coloniales, subraya su valor cultural y su potencial para aplicaciones modernas (Illampas et al., 2009).

A pesar de sus beneficios, el adobe tradicional presenta limitaciones significativas baja resistencia a compresión de 10 kg/cm², alta absorción de agua de 15 al 50% y escasa ductilidad en zonas sísmicas (Revuelta et al., 2010; Li et al., 2022). Estas deficiencias han motivado investigaciones que buscan optimizar sus propiedades mediante estabilizantes químicos, como cemento, metacaolín o mucílago (Sanou et al., 2024; Aedo et al., 2025), y refuerzos estructurales, como fibras de bambú, sisal o mallas de fibra de vidrio (Cárdenas et al., 2021; Chuya et al., 2018). Estos avances han permitido alcanzar resistencias a compresión de hasta 137 kg/cm² y reducir la absorción de agua a un 2.7% en algunos casos, ampliando las aplicaciones del adobe en viviendas sociales, restauración patrimonial y estructuras sismorresistentes (Azalam et al., 2024a; Giamundo et al., 2014). Sin embargo, la variabilidad en los métodos de ensayo y la inconsistencia en los datos reportados dificultan la estandarización y adopción generalizada del material (Dobjani & Papa, 2022).

El objetivo principal de esta investigación es proporcionar una revisión sistemática del adobe como material de construcción, evaluando las propiedades físicas (densidad y absorción) y mecánicas (compresión, tracción, flexión y corte) de adobe tradicional, estabilizado y reforzado. El estudio examina los efectos de aditivos naturales (paja, bambú, agave) y sintéticos (GFRP, fibra de vidrio), así como los métodos de ensayo empleados, con el objetivo de identificar patrones que orienten el diseño de estructuras sostenibles. Aunque los datos reflejan avances significativos, las lagunas en propiedades reportadas y la falta de ensayos estandarizados

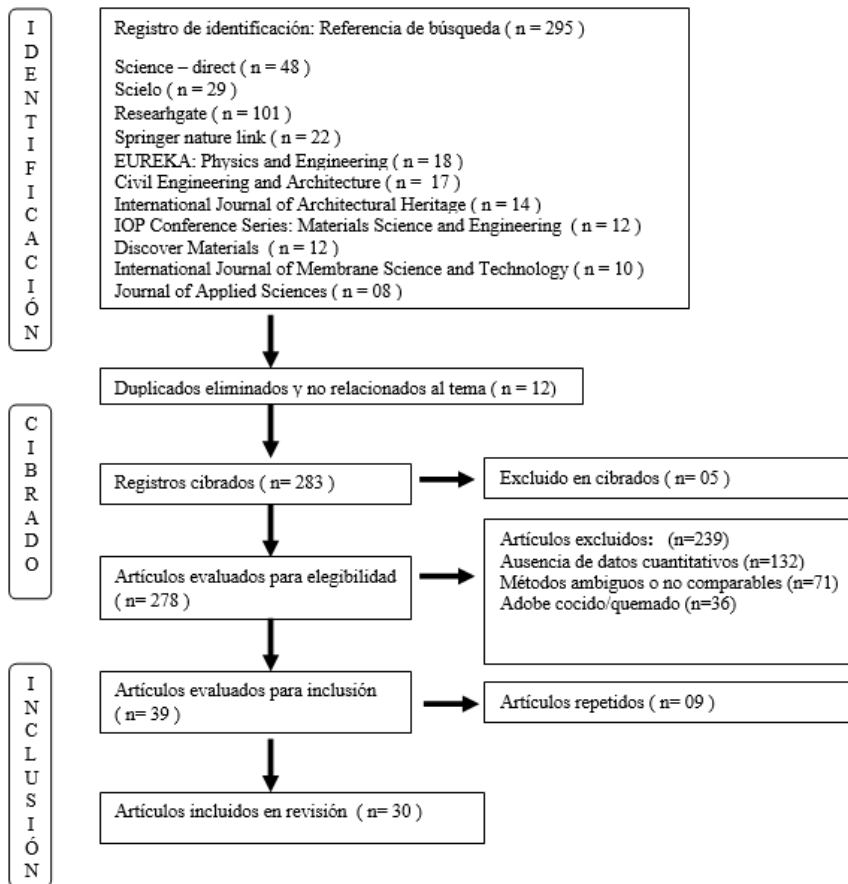
(ASTM C67) limitan comparaciones directas. Esta investigación busca contribuir al desarrollo de normativas para el adobe, promoviendo su integración en la arquitectura contemporánea y apoyando los objetivos de sostenibilidad global.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó una revisión sistemática por medio del enfoque sistemático PRISMA 2020 (Page et al., 2021), consultando bases como Science-direct, Scielo, Researchgate, Springer nature link, Physic and Engineering, Civil Engineering and Architecture, International Journal of Architectural Heritage, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Discover Materials, International Journal of Membrane Science and Technology y Journal of Applied Sciences, entre 2006 y 2025. Los términos de búsqueda incluyeron combinaciones como ("adobe" ó "adobe de tierra"), ("adobe en la construcción" ó "adobe estabilizado") y ("adobe tradicional" y "adobe reforzado") limitados a artículos en español, inglés ó portugués con datos numéricos. Orientado en evaluar las propiedades físicas y mecánicas del adobe como material de construcción, con énfasis en los efectos de aditivos y métodos de ensayo.

Figura 1

Selección de artículos por medio del diagrama de metodología de flujo PRISMA 2020.



Nota: El diagrama de flujo PRISMA se realizó en 3 fases: identificación inicial de registros, eliminación de duplicados, cribado por título y resumen, lectura completa y selección final de 30 estudios relevantes. con motivos de exclusión detallados.

El enfoque se realizó mediante un análisis cuantitativo de datos numéricos (densidad, absorción, resistencia a compresión, tracción, flexión y corte). Se incluyeron estudios experimentales que reportaran propiedades físicas (densidad kg/m^3 , absorción %) o mecánicas (compresión, tracción, flexión, corte en kg/cm^2) para adobe tradicional, estabilizado (aditivos químicos como cemento o NaOH) o reforzado (con fibras naturales y/o sintéticas en proporciones significativas o mallas). Se excluyeron revisiones narrativas sin datos primarios, trabajos pre-2006 o sin mediciones cuantitativas.

Para evaluar calidad y riesgo de sesgo, se aplicó una escala adaptada simple: bajo riesgo si el estudio usaba protocolos estandarizados (ASTM C67 o equivalente), n especímenes ≥ 10 y

controles claros; medio riesgo si faltaba alguno; alto riesgo si métodos eran ambiguos o sin replicabilidad. De los 30 estudios, aproximadamente 70 % se clasificaron en bajo o medio riesgo; los de alto riesgo se consideraron con menor peso en la síntesis cualitativa. Los datos se normalizaron a kg/cm^2 (nota: $1 \text{ kg/cm}^2 \approx 0.098 \text{ MPa}$ para comparación con normativas internacionales).

Se analizaron las propiedades físicas y mecánicas utilizando un enfoque comparativo. Para propiedades físicas, se calcularon rangos y promedios de densidad y según el tipo de adobe. Para propiedades mecánicas, se evaluaron resistencias a compresión ($5.39 - 137 \text{ kg/cm}^2$), tracción ($0.99 - 4.79 \text{ kg/cm}^2$), flexión ($0.99 - 15.30 \text{ kg/cm}^2$) y corte directo ($0.36 - 0.95 \text{ kg/cm}^2$). Los datos fueron procesados con el software estadístico R (versión 4.3.2) para generar estadísticas descriptivas y comparar el impacto de aditivos (paja, bambú; sintéticos: GFRP, fibra de vidrio). Así mismo se identificarán correlaciones entre aditivos y propiedades (Sanou et al., 2024; Cárdenas et al., 2021).

El análisis cualitativo examinó los contextos las características de los aditivos y se identificaron patrones en el uso de materiales locales como la chilligua en (Quispe et al., 2023), el agave en (Ruiz & Pérez, 2024) y su relación con la sostenibilidad en regiones específicas (América Latina, África). Los métodos de ensayo no estandarizados se analizaron para evaluar su impacto en la comparabilidad de resultados (Dobjani & Papa, 2022).

Los ensayos evaluaron la variabilidad de las propiedades, los adobes tradicionales tienen densidades consistentes (1695 kg/m^3), los adobes estabilizados poseen menor absorción con una media de 9.38% (Sanou et al., 2024) y los reforzados mejor resistencia a la compresión 137 kg/cm^2 (Kasie & Mogne, 2025) y tracción 4.79 kg/cm^2 (Li et al, 2022)

RESULTADOS

La revisión sistemática de 30 estudios (2006 - 2025) clasificó los datos en adobe de tipo tradicional, estabilizado y reforzado, expresando propiedades mecánicas (compresión, tracción, flexión y corte directo) en kg/cm^2 , densidad en kg/m^3 y absorción en %. Todos los resultados se evalúan frente a la Norma E.080 Diseño y Construcción con Tierra Reforzada (aprobada por Resolución Ministerial N° 121-2017-VIVIENDA), que sustituye a la NTP 331.201 y establece requisitos para edificaciones de tierra reforzada incluyendo adobe reforzado.

La Tabla 1 presenta los resultados organizados por tipo de adobe, con énfasis en la claridad y accesibilidad para la comunidad científica. Cada entrada incluye información verificada de las fuentes originales, con referencias explícitas a los métodos de ensayo y aplicaciones prácticas, garantizando la trazabilidad de los datos.

Tabla 1

Resumen de los materiales, aditivos y propiedades analizadas

Autor y año	Materiales y aditivos	Tipo de adobe	Propiedades físicas		Propiedades mecánicas			
			Densidad	Absorción	Compresión	Tracción	Flexión	Corte directo
Parra & Batty (2006)	Arcilla, arena; paja como aglutinante y agua	Tradicional	1700	15.20%	20.39 kg/cm ²			
Illampas et al. (2009)	Tierra , paja y agua				38.75 kg/cm ²			
Revuelta et al. (2010)	arcilla 40%, limo 40%, arena 20% , paja 0.5%, agua		1690	15.20%	26.51 kg/cm ²		6.63 kg/cm ²	
Jokhio et al. (2018)	Arcilla 30%, agua, arena 50%, aserrín 20%				24.78 kg/cm ²			
Rivera et al. (2021)	47% arena, 28% arcilla, 25% limo, agua , pasto, estiércol, cáscara de arroz				5.39 kg/cm ²			
Ukwizagira & Mbereyaho (2023)	50% suelo natural, 30% laterite , 15% arena fina , 5% pasto fibroso				21.69 kg/cm ²			
Autor y año	Materiales y aditivos	Tipo de Adobe	Propiedades físicas		Propiedades mecánicas			
			Densidad	Absorción	Compresión	Tracción	Flexión	Corte directo
Quispe et al., 2023	83% suelo arcilloso, 7.1% arena, 7.5% estiércol de	Tradicional			31.85 kg/cm ²			

	oveja, 2.4% chilligua.							
Hejazi et al. (2024)	Suelo arcilloso, agua equivalente al 25% del peso seco, y paja de trigo (0.5% del peso seco)		13.7%					
Brito et al. (2021)	Suelo, agua, fibra natural de caña en diferentes longitudes	Estabilizado			9.56 kg/cm ²		7.91 kg/cm ²	
Ramirez (2022)	arcilla, arena, grava, agua, 6% emulsión asfáltica		5.80%		15.34 kg/cm ²		3,36 kg/cm ²	
Félix et al. (2022)	Suelo caulinitico , NaOH (10M/12M alcalino), agua		15.2%		21.70 kg/cm ²			
Gomez & Guillen (2024)	Tierra arcillosa , CBCA al 5% , agua				32.768 kg/cm ²			
Sanou et al. (2024)	Suelo arcilloso, cemento 6%, metacaolín 4% (calcinado 680°C/2h), agua		8.50%		45.9 kg/cm ²		12.2 kg/cm ²	
Aedo et al. (2025)	arena arcillosa, fibra chilligua al 0.7% (long. 5 cm), mucílago olluco al 7.3%, agua				19.79 kg/cm ²	1.68 kg/cm ²		0.95 kg/cm ²
Mucambe (2025)	Morteros para suelos, aceite de motor al 5% quemado	Reforzado	2.7%					
Wang & Wang (2025)	Tierra, arena, cal, cemento, vetiver picado (proporción 5:3:1:1:4)		1 274 kg/m ³	17.73 %.				
Loannou et al. (2013)	arcilla, arena, agua, malla de fibra de vidrio				30.59 kg/cm ²			

	típica 100-300 g/m ²							
Autor y año	Materiales y aditivos	Tipo de Adobe	Propiedades físicas		Propiedades mecánicas			
			Densidad	Absorción	Compresión	Tracción	Flexión	Corte directo
Giamundo et al. (2014)	arcilla, arena, agua, malla de fibra de vidrio, malla 5x5 mm en juntas horizontales de mortero	Reforzado			84.64 kg/cm ²	0.99 kg/cm ²		0.36 kg/cm ²
Chuya et al. (2018)	70% arcilla/limo, 30% arena; humedad 10%, agua, varillas GFRP 12 mm diámetro, recubiertas de sílice negra				15.30 kg/cm ²			0.41 kg/cm ²
Moreno & Garcia (2019)	talpuja, tendal, arena zacate de arroz, fibras de bambú (1% vol., longitud 12 mm)				18.36 kg/cm ²			
Concha et al. (2020)	Suelo arcilloso, jute 0.5%, longitud 30 mm, agua				20.3 kg/cm ²		9.0 kg/cm ²	
Salih et al. (2020)	arcilla, arena, agua, fibras de bambú (0.5-2% vol., longitud 10-20 mm)			20%	40.79 kg/cm ²		6.12 kg/cm ²	
Cardenas et al. (2021)	Suelo arcilloso, talpuja, tendal, arena zacate de arroz, fibras de bambú (25% fibra)				15.62 kg/cm ²			
Dobjani & Papa (2022)	45% arcilla, fibras naturales (10%), agua potable			1800	20%	15.30 kg/cm ²	4.78 kg/cm ²	
Li et al. (2022)	30% arcilla, 7% de fibras de arroz, agua potable			1400		13.05 kg/cm ²	4.79 kg/cm ²	

Azalam et al. (2024a)	75%Arcilla, fibras alfalfa al 3%, agua 22%		1715.51	31.08	84.5 kg/cm ²		15.3 kg/cm ²	
Azalam et al. (2024b)	41.5% arcilla, fibras aserrín grandes al 1%, agua		1938.89		69.4 kg/cm ²		13.2 kg/cm ²	
Autor y año	Materiales y aditivos	Tipo de Adobe	Propiedades físicas		Propiedades mecánicas			
			Densidad	Absorción	Compresión	Tracción	Flexión	Corte directo
Rocco et al. (2024)	Suelo (arena 54.96%, grava 67.44%, limo y arcilla 2.48%), con altas concentraciones de SiO ₂ , CaO, Al ₂ O ₃ , K ₂ O, MgO	Reforzado	1933.71	9.22%	15.10 kg/cm ²			
Ruiz & Pérez (2024)	Tierra arcillosa, agua, bagazo de Agave angustifolia		1536	13.37%	44.473 kg/cm ²			
Kasie & Mogne (2025)	Suelo de Hawassa (arena 46%, limo 34%, arcilla 20%), agua (24% contenido óptimo), fibra de sisal 0.9% (longitud 30 mm)					137 kg/cm ²		0.99 kg/cm ²

Nota: Las celdas vacías no indican la falta de cumplimiento de las características, sino que reflejan la diversidad de enfoques experimentales presentes en los estudios seleccionados.

Adobe tradicional

Sin estabilizantes químicos ni refuerzos estructurales representa la base histórica del material, compuesto por arcilla, limo, arena, agua y fibras vegetales mínimas (paja, estiércol). Los resultados de la tabla muestran investigaciones con densidad estable 1690 - 1700 kg/m³, compatible con la norma E.080. La absorción promedio 15.2 % un indicativo de vulnerabilidad a humedad. La compresión entre 5.39 - 38.75 kg/cm² (Rivera et al., 2021; Illampas et al., 2009), el 70% de las investigaciones según la norma E. 080 cumple el mínimo último de murete de 6.12

kg/cm² en cuanto a la flexión las investigaciones se obtuvo una resistencia de 6.63 kg/cm² (Revuelta et al.,2010) el cuál cumple el mínimo último de 1.42 kg/cm² según la norma E.080.

Adobe estabilizado

Incorpora aditivos químicos (cemento, metacaolín, NaOH, emulsión asfáltica, mucílago, aceite quemado) para sellar poros y cohesionar la matriz, cumpliendo con la norma E.080 y ASTM C67 . La tabla muestra aditivos como aceite quemado y cemento que reducen drásticamente la absorción en rangos de 2.70 - 17.73 % (Mucambe, 2025; Wang & Wang ,2025), Densidad variable 1274 kg/m³ (; Wang & Wang ,2025), compatible con E.080; resistencia a la compresión oscila en rangos de 15.33 - 45.90 kg/cm (Ramirez, 2021; Sanou et al., 2024), resistencia a la tracción 1.68 kg/cm² (Aedo et al., 2025), superior a la norma E.080 para viviendas sociales y restauración en climas húmedos, alineado con el comportamiento sismorresistente.

Adobe reforzado

Integra fibras naturales (bambú, sisal, agave, alfalfa, yute) o sintéticas (GFRP, malla de fibra de vidrio) para puenteo de fisuras y distribución de cargas. Los datos tabulados indican densidad de 1400 – 1939.89 kg/m³ (Li et al.,2022; Azalam et al., 2024b), compatible con la norma E 080 y ASTM C67, la absorción alcanza rangos de 9.2 -31.1 % (Rocco et al., 2024; Azalam et al., 2024a). La resistencia a la compresión llegó a 13.1 - 137 kg/cm² (Li et al.,2022; Kasie & Mogne,2025) con picos extraordinarios, Tracción (1.0–4.8 kg/cm²) cumple en el 95 %, superando mínimos último material/mortero (fallos aislados en 1.0 kg/cm²); flexión con picos de15.3 kg/cm² (Azalam et al., 2024a) que triplican el mínimo último y corte directo 0.4 kg/cm² cumple marginalmente el mínimo derivado de 0.25 kg/cm² último, los refuerzos transforman el adobe en material de alto desempeño, cumpliendo la E.080 y la ASTM C67 en propiedades mecánicas y habilitándolo para reconstrucciones sísmicas y arquitectura sostenible.

DISCUSIÓN

Las investigaciones han demostrado que la incorporación estratégica de estabilizantes y refuerzos en matrices de adobe no solo satisface los umbrales de rotura establecidos en la Norma E.080 (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2017), sino que, en formulaciones avanzadas, se aproxima a los criterios de durabilidad y resistencia mecánica exigidos por ASTM

C67 (ASTM International, 2023). En el adobe tradicional, Parra y Batty (2006) alcanzan 20,4 kg/cm² en compresión mediante la adición de paja como aglutinante en una matriz arcillosa; este refuerzo orgánico incipiente genera un efecto de puenteo microfisural que, sin embargo, no compensa la elevada capilaridad del 15,2 % según (Revuelta et al., 2010), así mismo Illampas et al. (2009) duplica el valor a 38,8 kg/cm² al priorizar compactación manual de arcilla sin aditivos, evidenciando que la densificación mecánica supera el aporte estructural de la paja. Simultáneamente las investigaciones en el Adobe estabilizado, Ramirez (2022) reduce absorción a 5,8 % y eleva la tracción a 3,4 kg/cm² mediante emulsión asfáltica al 6 % del peso. Félix et al. (2022) incrementan compresión a 21,7 kg/cm² con activación alcalina (NaOH 10–12 M), donde la disolución parcial de sílice genera geo polímeros de baja cristalinidad. Gomez y Guillen (2024) alcanzan 32,8 kg/cm² con cal viva al 5 % del peso; la carbonatación progresiva produce carbonato cálcico micro cristalino que densifica la matriz. Sanou et al. (2024) obtienen el máximo del grupo con 45,9 kg/cm² combinando cemento Portland al 6 % y metacaolín calcinado a 680 °C al 4 %; la reacción puzolánica consume hidróxido cálcico y forma C-S-H adicional. Aedo et al. (2025) reportan corte directo de 0,95 kg·cm⁻² con adición de mucílago de olluco al 7,3 % del peso y fibra chillihua al 0,7 % con longitud de 5 cm; el polisacárido mucilaginoso actúa como ligante reológico, mientras la fibra controla la propagación de fisuras diagonales. Mucambe (2025) logra la absorción más baja alcanzando 2,7 % mediante aceite de motor quemado al 5 % del peso; la impregnación oleosa genera una barrera hidrofóbica persistente. Wang y Wang (2025) registran densidad mínima de 1274 kg/m³ con vetiver picado en proporción 4 a 1 respecto al cemento; la fibra lignocelulósica reduce peso específico, pero compromete homogeneidad. Paralelamente en el Adobe reforzado, Loannou et al. (2013) obtiene una resistencia a compresión de 30,6 kg/cm² con malla de fibra de vidrio de 100-300 g/m², la distribución bidimensional de filamentos de vidrio confiere confinamiento lateral; Giamundo et al. (2014) cuantifica la tracción 1,0 kg/cm² y el corte a 0,4 kg/cm² con malla 5×5 mm embebida en juntas horizontales, el anclaje mecánico en mortero arcilloso limita deslizamiento interfacial. Por su parte Chuya et al. (2018) elevan flexión a 15,3 kg/cm² mediante varillas GFRP de diámetro de 12 mm recubiertas de sílice negra, la adherencia química sílice y arcilla duplica la capacidad de momento flector respecto a los valores obtenidos por Giamundo et al. (2014); Moreno y Garcia (2019) alcanzaron 18,4 kg/cm² con bambú al 1 % del volumen con longitud 12 mm, la anisotropía de la fibra explica la variabilidad direccional ±20 %; Salih

et al. (2020) duplican compresión a 40,8 kg/cm² incrementando bambú a 2 % del volumen, el umbral crítico de volumen optimiza la transferencia de carga antes de la aglomeración; Dobjani y Papa (2022) alcanzó valores en tracción 4,8 kg/cm² con fibras naturales al 10 % del peso y la longitud efectiva >30 mm maximiza el anclaje; Li et al. (2022) mantiene idéntica tracción con 7 % fibras de arroz, pero densidad disminuye a 1400 kg/m³ por baja densidad aparente del residuo agrícola; Azalam et al. (2024b) elevan densidad a 1939 kg/m³ con aserrín grueso al 1 % del peso, la compactación inducida por partículas rígidas explica el salto; Rocco et al. (2024) minimiza la absorción a 9,2 % en suelo con alto SiO₂/CaO, los óxidos reactivos forman fases cementantes naturales; Kasie y Mogne (2025) alcanza a 137 kg/cm² de resistencia a compresión mediante sisal al 0,9 % del peso y longitud 30 mm, la relación aspecto óptima asegura transferencia de tensiones sin aglomeración. Los aditivos de mayor impacto estructural son metacaolín puzolánico (Sanou et al., 2024), GFRP continuo (Chuya et al., 2018) y sisal optimizado (Kasie y Mogne, 2025), que elevan compresión >700 % respecto al tradicional y cumplen simultáneamente con la norma E.080 y umbrales parciales de ASTM C67

CONCLUSIONES

La revisión sistemática establece que el adobe tradicional presenta densidades uniformes de 1690 a 1700 kg/m³ con absorción media de 15.2 %, cumpliendo en el 70 % de los casos el esfuerzo último en murete de 6.12 kg/cm² de la Norma E.080; el adobe estabilizado reduce la absorción a rangos de 2.7 a 17.73 % con media de 9.38 %, alcanzando compresión de 15.33 a 45.90 kg/cm² y tracción hasta 3.36 kg/cm², con cumplimiento total de los umbrales últimos de la E.080; el adobe reforzado desarrolla densidades de 1400 a 1939 kg/m³, absorción de 9.2 a 31.1 % y resistencias de 137 kg/cm² en compresión, 4.79 kg/cm² en tracción, 15.3 kg/cm² en flexión y 0.95 kg/cm² en corte, superando los requisitos de rotura de la E.080 y aproximándose parcialmente a ASTM C67 en configuraciones híbridas; la integración de estabilizantes puzolánicos y refuerzos fibrosos de relación aspecto optimizada multiplica por más de siete la capacidad portante respecto al adobe tradicional; si bien contenidos de fibras orgánicas superiores al 2 % en volumen elevan la permeabilidad; en síntesis, la integración sinérgica de estabilizantes puzolánicos y refuerzos fibrosos de relación aspecto optimizada multiplica por más de siete la capacidad portante respecto al adobe convencional, consolidándolo como solución constructiva ecológica, accesible y sismorresistente para edificaciones de 1–2 niveles

en contextos áridos y sísmicos de América Latina y África, siempre que se uniformicen ensayos en murete conforme a los anexos de la E.080 y se adapten mezclas a materiales autóctonos para asegurar reproducibilidad y transferencia tecnológica a escala real

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aedo, C. A. L., & Barrantes, M. L. A. J. (2025). Mejoramiento de las propiedades mecánicas del adobe utilizando fibra de chillihua y mucilago de olluco, puno, 2024. *Brazilian Journal of Development*, 11(5), 01-16. <https://doi.org/10.34117/bjdv11n5-063>
- Azalam, Y., Alioui, A., Armouzi, N. A., Benfars, M., Mabrouki, M., & Bendada, E. M. (2024). Physical and mechanical properties of adobe bricks reinforced by natural additives, a case study of alfalfa fibers. *EUREKA: Physics and Engineering*, 4, 144-159. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2024.003426>
- Azalam, Y., Benfars, M., Alioui, A., Mabrouki, M., & Bendada, E. M. (2024). Improving Adobe's Mechanical Properties through Sawdust Reinforcement: A Comparative Study of the effect of varying Sawdust Dimensions. *E3S Web of Conferences*, 582(02005), 1-9. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202458202005>
- Brito, del P. J. F., Santamaría, H. N. M., Macas, P. C. A., & Tasan, C. D. (2021). Elaboración de adobe sostenible. *DAYA. Diseño, Arte Y Arquitectura*, 11, 59-79. <https://doi.org/10.33324/daya.vi11.459>
- Cárdenas, G. J. C., Bosch, G. M., & Damiani, L. C. A. (2021). Evaluation of Reinforced Adobe Techniques for Sustainable Reconstruction in Andean Seismic Zones. *Sustainability*, 13(9), 4955. <https://doi.org/10.3390/su13094955>
- Chuya, E., Cárdenas, H. X., & Ayala, F. (2018). Comparación de la capacidad resistente de adobes y adobes reforzados con fibra de vidrio. *ResearchGate*, 1, 95-106. https://www.researchgate.net/publication/335985870_Comparación_de_la_capacidad_resistente_de_adobes_y_adobes_reforzados_con_fibra_de_vidrio
- Concha, R. J., Antico, C. F., & Araya, L. G. (2020). Mechanical and damage similarities of adobe blocks reinforced with natural and industrial fibres. *Matéria (Rio de Janeiro)*,

25(04), 1-11. <https://doi.org/10.1590/S1517-707620200004.1206>

Dobjani, E., & Papa, D. (2022). Adobe Constructions in Albania: Future Application of Earth as A Conventional Construction Civil Engineering and Architecture. *Civil Engineering and Architecture*, 10(7), 3015-3027. <https://doi.org/10.13189/cea.2022.100717>

Félix, A. da S., Neto, J. A. G., Medeiros, B. L. de A. V., Barbosa, N. P., Costa, L. F., & Medeiros, L. E. L. de. (2022). Estabilização alcalina de solos Cauliníticos para fabricação de Adobes / Alkaline stabilization of kaolinitic soils for adobe manufacturing. *Brazilian Journal of Development*, 8(6), 46839-46851. <https://doi.org/10.34117/bjdv8n6-273>

Giamundo, V., Lignola, G. P., Prota, A., & Manfredi, G. (2014). Nonlinear Analyses of Adobe Masonry Walls Reinforced with Fiberglass Mesh. *Polymers*, 6(4), 464-478. <https://doi.org/10.3390/polym6020464>

Gómez, T. J. L., & Guillén, S. T. E. (2024). Compressive Strength of Compacted Adobes with Added Sugarcane Bagasse Ash at 5%, 10% and 15%. *Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions*, 11, 1-10. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2024.1.1.1448>

Hejazi, B., Luz, C., Grüner, F., Frick, J., & Garrecht, H. (2024). Characterisation of Adobe and Mud-Straw for the Restoration and Rehabilitation of Persian Historical Adobe Buildings. *Materials*, 17(8), 1764. <https://doi.org/10.3390/ma17081764>

Illampas, R., Ioannou, I., & Charmpis, D. (2009). Adobe: An environmentally friendly construction material. *ResearchGate*, 120(1), 245-246. <https://doi.org/10.2495/SDP090241>

Ioannou, I., Illampas, R., & Charmpis, D. C. (2013). Overview of the Pathology, Repair and Strengthening of Adobe Structures. *International Journal of Architectural Heritage*, 7(2), 165-188. <https://doi.org/10.1080/15583058.2011.624254>

Jokhio, G., syed mohsin, sharifah maszura, & Gul, Y. (2018). Two-fold sustainability – Adobe with sawdust as partial sand replacement. *IOP Conference Series: Materials*

Science and Engineering, 342, 1-7. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/342/1/012069>

- Kasie, Y., & Mogne, A. (2025). Improvement of mechanical properties of adobe brick reinforced with sisal fiber. *Discover Materials*, 5(69), 1-16. <https://doi.org/10.1007/s43939-025-00245-3>
- Li, P. T., Weerheijm, J., & Sluys, L. J. (2022). Critical review on the material characterization of adobe elements. *Journal of Green Building*, 17, 203-226. <https://doi.org/10.3992/jgb.17.3.203>
- Moreno, P. L., & Moreno, T. J. (2019). Estabilización de adobes con fibras de bambú. *Revista Arquitectura +*, 4(8), 2-18. <https://doi.org/10.5377/arquitectura.v4i8.8981>
- Mucambe, G. (2025). Uso do óleo queimado de motor para o tratamento do reboco em construções adobe Use of Waste Motor Oil for Plaster Treatment in Adobe Constructions. *Revista Eletrônica de Investigação e Desenvolvimento*, 16(1), 1-9. <https://www.researchgate.net/publication/393395656>
- Page, M., Mckenzie, J., Bossuyt, P., Boutron, I., Hoffmann, T., Mulrow, C., Shamseer, L., Tetzlaff, J., Akl, E., Brennan, S., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J., Hróbjartsson, A., Lalu, M., Li, T., Loder, E., Mayo-Wilson, E., Mcdonald, S., & Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *International Journal of Surgery*, 88, 105906. <https://doi.org/10.1016/j.ijssu.2021.105906>
- Parra, S. M. L., & Batty, W. (2006). Thermal behaviour of adobe constructions. *Building and Environment*, 41(12), 1892-1904. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.07.021>
- Quispe, G. B.-, Mendoza, A. P. C.-, Ramos, E. H.-, Betancur, H. N. C.-, Ruelas, E. P. F.-, & Gutiérrez, Á. C.-. (2023). Mechanical Resistance and Thermal Conductivity of Adobes for the Walls of Rural Dwellings in Extreme Minimum Climatic Conditions. *International Journal of Membrane Science and Technology*, 10(2), 679-690. <https://doi.org/10.15379/ijmst.v10i2.1291>
- Ramírez, C. O. L. (2022). Mejoramiento de las propiedades físico -mecánicas del suelo con

- incorporación de asfalto para elaborar adobes. *Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería*, 5(1), 15-19. <http://dx.doi.org/10.25127/ucni.v4i3.802>
- Revuelta, A. J. D., Garcia, D., Soto, Z. G. M., & Rico, G. E. (2010). Adobe as a Sustainable Material: A Thermal Performance. *Journal of Applied Sciences*, 10(19), 2211-2216. <https://doi.org/10.3923/jas.2010.2211.2216>
- Rivera, S., Valderrama, A. O.-M., Daza, B. Á.-A., & Plazas, J. G.-S. (2021). Adobe como saber ancestral usado en construcciones autóctonas de Pore y Nunchía, Casanare (Colombia). *Revista de Arquitectura (Bogotá)*, 23(1), 74-85. <https://doi.org/10.14718/RevArq.2021.2762>
- Rocco, A., Vicente, R., Rodrigues, H., & Ferreira, V. (2024). Adobe Blocks Reinforced with Vegetal Fibres: Mechanical and Thermal Characterisation. *Buildings*, 14(8), 2582. <https://doi.org/10.3390/buildings14082582>
- Ruiz, S. M., & Pérez, J. J. (2023). Manufacture of adobe bricks with fibers of Agave angustifolia Haw. In Zumpahuacan, State of México. Strategy to promote sustainable local development. *ResearchGate*, 1, 44-55. <https://www.researchgate.net/publication/374384416>
- Salih, M. M., Osofero, A. I., & Imbabi, M. S. (2020). Critical review of recent development in fiber reinforced adobe bricks for sustainable construction. *Frontiers of Structural and Civil Engineering*, 14(4), 839-854. <https://doi.org/10.1007/s11709-020-0630-7>
- Sanou, I., Ouedraogo, M., Bamogo, H., Meité, N., Seynou, M., Aubert, J.-E., & Millogo, Y. (2024). Microstructural, physical, and mechanical characteristics of adobes amended with cement-metakaolin mixtures. *Emergent Materials*, 7(3), 1203-1217. <https://doi.org/10.1007/s42247-024-00638-9>
- Ukwizagira, G., & Mbereyaho, L. (2023). Strength Assessment of Improved Adobe Brick Using Natural Stabilizers. *Mediterranean Journal of Basic and Applied Sciences*, 07(01), 14-26. <https://doi.org/10.46382/MJBAS.2023.7102>
- Wang, W., & Wang, H. (2025). Evaluating the physical properties and thermal comfort of

vetiver adobe brick: A decade-long study on sustainable granary construction in Northeast Thailand. *Discover Civil Engineering*, 2(1), 157.

<https://doi.org/10.1007/s44290-025-00322-9>

ARTÍCULO DE REVISIÓN

Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de pavimentos rígidos con adición de fibras naturales: Una revisión sistemática

Evaluation of the physical and mechanical properties of rigid pavements with the addition of natural fibers: A systematic review

Evelyn Paico ¹ * y Manuel Laurencio ² 

RESUMEN

Este trabajo revisa el uso de fibras naturales como refuerzo en el concreto para pavimentos rígidos, con énfasis en el desempeño físico-mecánico y en los criterios de dosificación. Se realizó una revisión sistemática de 45 estudios publicados entre 2016 y 2025 en Scopus y SciELO, registrando tipo de fibra, tratamiento, longitud, porcentaje en mezcla, matriz y aplicación. Los resultados evidencian mejoras consistentes en resistencia a flexión y tracción, tenacidad y control de fisuras, especialmente con fibras cortas medias (20 – 50 mm) y dosificaciones bajas intermedias (0.3 – 1.5 % en volumen o 0.5 – 2.0 % en masa). El pretratamiento mediante procesos alcalinos o recubrimientos fortalece la adherencia fibra matriz, reduce la absorción y estabiliza la respuesta posfisura. Entre las fibras más destacadas se encuentran el plátano, yute, coco y sisal por su comportamiento estructural confiable; cáñamo, lino, piña, palma datilera y fibras amazónicas muestran viabilidad en sistemas de recubrimiento o matrices compatibles, siempre que se controle la trabajabilidad y la permeabilidad. En general, las fibras naturales ofrecen ventajas técnicas y ambientales, con potencial para optimizar el diseño de losas y reducir el impacto ambiental del concreto, aunque persisten retos de variabilidad y estandarización.

Palabras clave: Fibras naturales; pavimento rígido; concreto reforzado; Tracción; sostenibilidad.

ABSTRACT

This work reviews the use of natural fibers as reinforcement in concrete for rigid pavements, with emphasis on physical-mechanical performance and dosage criteria. A systematic review of 45 studies published between 2016 and 2025 in Scopus and SciELO was conducted, recording fiber type, treatment, length, dosage, matrix, and application. The results show consistent improvements in flexural and tensile strength, toughness and crack control, especially with medium short fibers (20 – 50 mm) and intermediate low dosages (0.3 – 1.5% by volume or 0.5 – 2.0% by mass). Pretreatments, such as alkaline processes or surface coatings, enhance fiber–matrix adhesion, reduce absorption, and stabilize postcracking behavior. Among the most effective fibers, banana, jute, coconut, and sisal stand out for their reliable structural behavior, while hemp, flax, pineapple, date palm, and Amazonian fibers are feasible in coating systems or compatible matrices, provided that workability and permeability are properly controlled. Overall, natural fibers represent a technical and environmental alternative for rigid pavements, with potential to optimize slab design and reduce the environmental footprint of concrete. However, challenges remain regarding variability and the lack of standardized methodologies.

Keywords: Natural fibers; rigid pavement; concrete reinforcements; toughness; sustainability.

* Autor para correspondencia

¹ Universidad Católica Sedes Sapientiae, Perú. Email: 2020102317@ucss.pe, mLaurencio@ucss.edu.pe

INTRODUCCIÓN

La infraestructura vial constituye un pilar esencial para el desarrollo económico y social de los países. Dentro de ella, los pavimentos rígidos desempeñan un rol fundamental en proyectos de gran escala como autopistas, aeropuertos y vías urbanas de alto tránsito, debido a su elevada resistencia estructural y durabilidad frente a cargas pesadas y condiciones climáticas adversas. Sin embargo, el concreto tradicional utilizado en pavimentos rígidos evidencia limitaciones importantes, sobre todo por su baja resistencia a tracción y la tendencia a la fisuración asociada a retracción, cargas dinámicas o impactos repetidos (Silva, Mobasher, & Toledo Filho, 2017). Para superar estas deficiencias y extender la vida útil de las estructuras, se han propuesto diversas estrategias de refuerzo. Entre ellas, una de las más destacadas es la incorporación de fibras naturales al concreto, que reemplazan parcialmente a fibras sintéticas y aditivos convencionales. Este recurso no solo busca mejorar las propiedades mecánicas del material, sino también mitigar el impacto ambiental de la construcción, ya que la producción de cemento constituye una de las principales fuentes de emisiones de CO₂ (Bahmani & Mostafaei, 2025). En esta línea, diferentes revisiones subrayan el potencial de las fibras vegetales como alternativa sostenible y describen métodos de tratamiento y aplicación (Amin, Ahmad, Khan, & Ahmad, 2022). Incluso se han evaluado indicadores de eficiencia eco-estructural que combinan desempeño mecánico y huella ambiental en concretos con yute (Khan, Khan, & Ali, 2023). Los resultados coinciden en que fibras como bambú, coco, lino, yute y sisal fortalecen propiedades críticas del concreto, como la resistencia a flexión y tracción, el desempeño frente al impacto y la durabilidad, al actuar como puentes de transferencia de esfuerzos que retrasan la propagación de microgrietas (Ahmad, Zaid, Farooq, & Ostrowski, 2022). En el caso de la fibra de coco, los ensayos muestran mejoras notables en absorción de energía e impacto cuando se optimizan contenido y longitud de fibra (Ahmad et al., 2022). Algo similar se observa con el cáñamo, cuyos resultados experimentales revelan incrementos en parámetros mecánicos clave para su uso en elementos tipo losa, confirmando su aplicabilidad en pavimentos rígidos (Zhou, Zheng, Li, & Bian, 2017). Además, compilaciones experimentales recientes corroboran el efecto de puenteo y la ganancia de tenacidad en matrices cementicias reforzadas con fibras vegetales (Joachim, Le, & Holschemacher, 2024). Un panorama comparativo con sisal, yute, bagazo y coco confirma que el contenido de fibra es un factor decisivo sobre el desempeño final del material (Jamshaid, Mishra, Hussain, & Hussain, 2022).

Desde el punto de vista técnico, la incorporación de fibras naturales también abre la posibilidad de reducir el espesor de las losas y optimizar el consumo de materiales sin comprometer la seguridad estructural, siempre que se respalden los cambios de diseño con modelos y criterios de verificación adecuados (Geremew et al., 2025). Estos beneficios se potencian mediante tratamientos físicos o químicos, en particular procesos alcalinos con NaOH que mejoran la adherencia fibra matriz y disminuyen problemas de absorción y degradación (Farias et al., 2024; Wang, Chang, Shi, & Wang, 2019).

A pesar de los avances experimentales, subsisten vacíos importantes para su aplicación práctica en pavimentos rígidos. La variabilidad propia de las fibras, marcada por el origen vegetal, las condiciones de cultivo y los métodos de tratamiento, continúa siendo un obstáculo para la estandarización y la reproducibilidad (Bahmani & Mostafaei, 2025). La ausencia de criterios uniformes también limita la transferencia de resultados a normativas de diseño y dificulta la comparación entre estudios (Hasan, Saidi, Jamil, Amalia, & Mubarak, 2022). En este contexto, el presente artículo tiene como objetivo realizar una revisión bibliográfica exhaustiva y crítica sobre los efectos de la incorporación de fibras naturales en el concreto destinado a pavimentos rígidos. Se recopilaron publicaciones académicas indexadas en Scopus, SciELO, y MDPI priorizando trabajos recientes de 2016 a 2025 que analizan propiedades físico mecánicas, tratamientos aplicados a las fibras, proporciones óptimas y experiencias prácticas en infraestructura vial.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación corresponde a una revisión sistemática documental con enfoque descriptivo analítico, orientada a evaluar los efectos físico-mecánicos del uso de fibras naturales en mezclas de concreto aplicadas a pavimentos rígidos. Se definieron a prioridad las preguntas de investigación, las variables de interés y los criterios de elegibilidad.

Fuentes y periodo de búsqueda. La recopilación de información se realizó entre abril y junio de 2025. Se consultaron prioritariamente las bases Scopus y SciELO ; de manera complementaria se verificó la disponibilidad de los textos completos en los portales de las revistas. Para garantizar la exhaustividad, se definieron cadenas de búsqueda exactas estructuradas con operadores booleanos. En Scopus se empleó la ecuación: ("natural fiber" OR "vegetable fiber" OR "coconut" OR "coir" OR "jute" OR "sisal" OR "hemp" OR "bamboo" OR "date palm fiber" OR "bagasse" OR "fique") AND ("concrete" OR "mortar" OR "geopolymer") AND ("rigid pavement" OR "mechanical properties" OR "slab"). En la base de datos SciELO se adaptó la

sintaxis al español e inglés: ("fibra natural" OR "fibra vegetal") AND ("concreto" OR "hormigón") AND ("pavimento rígido" OR "propiedades mecánicas").

Criterios de inclusión. (i) Publicaciones 2016–2025, con revisión por pares y texto completo disponible en abierto; (ii) estudios experimentales, estudios de caso aplicados o revisiones críticas con datos comparables sobre concreto, morteros o geopolímeros reforzados con fibras naturales (p. ej., yute, coco, sisal, cáñamo, lino, kenaf, bagazo, fique, bambú, palma datilera, piña); (iii) resultados cuantitativos de propiedades físico-mecánicas relevantes para diseño de losas/pavimentos (compresión, tracción, flexión, tenacidad/impacto, fisuración, durabilidad).

Criterios de exclusión. Documentos sin acceso completo; artículos centrados solo en fibras sintéticas o matrices poliméricas ajenas al concreto; estudios sin vínculo con elementos estructurales o aplicaciones en infraestructura vial.

Proceso de selección y extracción. Para asegurar la transparencia y reproducibilidad metodológica de esta revisión sistemática, la selección de estudios se documentó siguiendo las directrices del diagrama de flujo PRISMA (véase Figura 1). La búsqueda inicial en las bases de datos arrojó 75 registros. Tras aplicar los criterios de inclusión y exclusión, la muestra final se refinó a 45 fuentes pertinentes. Se extrajeron de cada estudio: país, tipo de fibra y tratamiento (físico, térmico, alcalino), longitud, dosificación, tipo de matriz (concreto/mortero/geopolímero), propiedad evaluada y la aplicación al concreto de pavimentos rígidos. La síntesis comparativa se organizó en tablas temáticas.

RESULTADOS

Los estudios seleccionados demuestran descriptivamente que la adición de fibras vegetales al concreto para pavimentos rígidos genera incrementos directos en el comportamiento a tracción y flexión, además de elevar la tenacidad del material. El análisis de los datos extraídos revela mejoras cuantitativas consistentes; por ejemplo, se reportan incrementos que oscilan entre el 15 % y el 30 % en la resistencia a flexión, dependiendo de la compatibilidad de la matriz y el tipo de fibra utilizada. En el concreto convencional y de alta resistencia, la fibra de coco destaca por su alta capacidad para elevar la absorción de energía frente a impactos. Paralelamente, los ensayos con sisal y con fibras de palma datilera documentan aumentos numéricos directos en los módulos de tracción indirecta y flexión.

En esta tabla se presenta la comparación de estudios según tipo de fibra natural y propiedades físico-mecánicas mejoradas en concreto para pavimento rígido.

Figura 1

Diagrama de flujo PRISMA del proceso de selección de estudios.

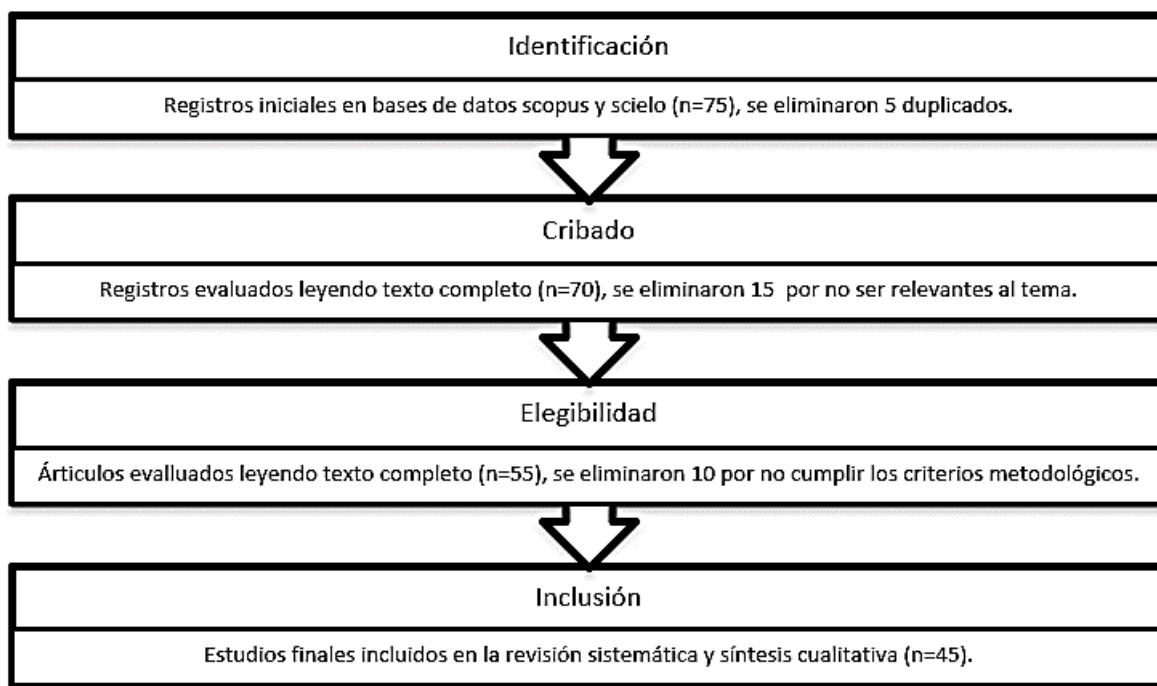


Tabla 2

Comparación de estudios según tipo de fibra natural y propiedades físico-mecánicas mejoradas en concreto para pavimento rígido

Fuente	Autor(es) y Año	Fibra Natural	Longitud (mm)	% en mezcla	Propiedades mejoradas
MDPI	Khan et al., 2023	Yute	-	-	Flexión, tracción, eficiencia eco estructural en concretos con yute
MDPI	Ahmad et al., 2022	Coco (coir)	-	-	Control de fisuración, tenacidad, mejora de flexión e impacto en concretos
MDPI	Okeola et al., 2018	Sisal	-	-	Incrementos en tracción por división y módulo; efecto limitado en compresión
Frontiers	Zhou et al., 2017	Cáñamo (hemp)	-	-	Mejora de tracción, compresión y ductilidad con tratamiento de la fibra
MDPI	Farias et al., 2024	Yute (corto)	20–40	2–4% mortero	Mayor rigidez y tenacidad a flexión en recubrimientos sobre soporte rígido

MDPI	Shcherban' et al., 2022	Coco (coir)	-	-	Mejor respuesta esfuerzo deformación
Frontiers	Jiang et al., 2021	Coco (coir)	-	-	Aumento de resistencia a flexión y tenacidad en cemento fosfato magnésico
MDPI	Beskopylny et al., 2022	Sisal	-	0.25–1.5%	Tenacidad y control de fisura con pérdidas controladas de asentamiento
MDPI	Martinelli et al., 2023	Coco (coir)	-	-	Síntesis: control de apertura de fisuras y aumento de tenacidad
MDPI	Mohammed et al., 2024	Yute (geopolímero)	15–35	0.10–0.70%	Óptimos intermedios en tracción flexión con buena trabajabilidad
MDPI	Althoey et al., 2022	Palma datilera	-	0.20–1.00%	Incrementos en tracción y flexión; atención a interfaz fibra matriz
MDPI	Adamu et al., 2023	fibra de palma datilera + carbón activado en polvo	-	-	Mitigación de pérdidas mecánicas a alta temperatura
MDPI	Bamaga et al., 2022	Fibra de palma datilera.	-	-	Revisión: mejoras mecánicas con tratamientos previos de la fibra
MDPI	da Costa Santos et al., 2022	Lino y cáñamo	-	-	Mejora de adherencia y resistencia residual tras tratamientos superficiales
MDPI	Abbas et al., 2022	Kenaf	-	-	Viabilidad en cementicios; efectos en fisuración y durabilidad
SciELO	Azevedo et al., 2020	Fibra de piña	-	1–5% mortero	Viabilidad tecnológica en morteros de recubrimiento sobre losa
SciELO	Borges et al., 2019	Sisal y rami	-	-	Comparativo con propiedades físicas y mecánicas en elementos delgados
SciELO	Dias et al., 2021	Residuos de sisal	-	-	Influencia en propiedades físicas y mecánicas de morteros

SciELO	Fonseca et al., 2021	Fibras amazónicas	-	-	Tratamientos que reducen absorción y mejoran interfaz en morteros
SciELO	Soares et al., 2025	Sisal (fibrocemento)	-	3%	Efectos en desempeño mecánico de placas delgadas compatibles con losas

El efecto principal documentado en las matrices cementicias y geopoliméricas es la capacidad de la fibra para actuar como puente, redistribuyendo los esfuerzos internos. En los sistemas de recubrimiento estructural, el yute y las fibras amazónicas han evidenciado una mejora sustancial en la rigidez de las capas complementarias sobre losas. Para fibras como el cáñamo y el lino, los avances más sólidos provienen de la evaluación de tratamientos superficiales previos, los cuales determinan la durabilidad del compuesto en elementos delgados.

Asimismo, diversos estudios coinciden en que el tratamiento previo de las fibras es fundamental para asegurar una buena adherencia con la matriz cementicia, reduciendo la degradación y mejorando el comportamiento mecánico. A continuación, se presenta la Tabla 3, la cual recoge los tratamientos más comunes y su efecto en la mezcla.

Tabla 3

Tratamientos aplicados y efecto en la adherencia fibra-matriz cementicia

Autor(es) y Año	Fibra natural	Tratamiento reportado	Efecto observado
da Costa Santos et al., 2022	Lino, cáñamo	Alcalinización y tratamientos superficiales (p.ej., NaOH, recubrimientos)	Mejora de interfaz fibra-matriz, aumenta resistencia residual y energía de fractura
Fonseca et al., 2021	Fibras amazónicas	Tratamientos alcalinos y térmicos según especie	Disminuye absorción, aumenta adherencia y desempeño mecánico en morteros cementicios
Bamaga et al., 2022	Palma datilera (revisión)	Limpieza, corte, alcalinización; recomendaciones de preacondicionamiento	Aumenta propiedades mecánicas y estabilidad; necesidad de control de variabilidad
Abbas et al., 2022	Kenaf (revisión)	Alcalino (NaOH), blanqueo y acondicionamientos	Aumenta adherencia y disminuye degradación; impacto positivo en control de fisuración
Martinelli et al., 2023	Coco (revisión)	Pretratamientos para reducir absorción y mejorar compatibilidad	Aumenta tenacidad y control de apertura de

			fisuras; ajustes de trabajabilidad
Zhou et al., 2017	Cáñamo	Tratamiento de la fibra previo a la mezcla	Aumenta tracción y compresión del compuesto; mejor comportamiento a fisuración
Farias et al., 2024	Yute (corto)	Selección de longitud, dosificación y curado del sistema de recubrimiento	Aumenta rigidez y tenacidad a flexión en paneles sobre soporte rígido
Azevedo et al., 2020	Fibra de piña	Tratamiento alcalino en morteros	Viabilidad tecnológica y cohesión en capas de revestimiento
Okeola et al., 2018	Sisal	Acondicionamiento y dispersión de fibra en mezcla	Aumenta tracción por división y módulo; necesidad de controlar asentamiento

En conjunto, los tratamientos alcalinos y los recubrimientos superficiales son los que más consistentemente mejoran la interfaz fibra–matriz, ya que reducen la absorción y mejoran la adherencia. Esto se traduce en mayor resistencia residual y mejor control de fisuras en elementos tipo losa, tal como lo señalan da Costa Santos et al. (2022). De forma complementaria, Fonseca et al. (2021) también destacan que dichos tratamientos incrementan el desempeño mecánico en morteros cementicios.

La siguiente Tabla 4 expone una síntesis crítica sobre las ventajas y limitaciones prácticas de las fibras naturales analizadas, lo cual será esencial para orientar su uso en escenarios reales de infraestructura.

Tabla 4

Ventajas y limitaciones de fibras naturales para pavimentos rígidos

Fibra	Ventajas principales	Limitaciones observadas
Coco (coir)	Aumenta tenacidad y control de fisuras; buen desempeño posfisura	Disminuye trabajabilidad; requiere pretratamiento para controlar absorción
Yute	Aumenta flexión y rigidez en recubrimientos y matrices compatibles	Sensible a humedad sin tratamiento; variabilidad por procedencia
Sisal	Aumenta tenacidad y control de fisura a bajas dosificaciones	Pérdida de asentamiento si no se ajusta la mezcla; variación de calidad
Cáñamo	Aumenta tracción/compresión y ductilidad con tratamiento	Necesidad de acondicionamiento; disponibilidad y estandarización

Lino	Aumenta adherencia y desempeño tras tratamientos superficiales	Sensibilidad a ambientes alcalinos si no se protege la fibra
Kenaf	Viabile en cementicios; apoyo en control de fisuración	Requiere tratamientos para durabilidad; datos aún heterogéneos
Palma datilera	Aumenta tracción flexión; desempeño mejorable con adiciones	Interfaz crítica; absorción y permeabilidad a vigilar
Fibra de piña	Opción en morteros de recubrimiento; cohesión	Aplicación más sólida en morteros; necesidad de control de dosificación
Fibras amazónicas	Mejoras de adherencia tras tratamiento	Alta variabilidad por especie y preparación
Sistemas híbridos (p. ej., sisal + rami; yute en capas)	Sinergias en tenacidad y control de agrietamiento	Requiere diseño cuidadoso y compatibilidad entre fibras y matriz

En conjunto, las fibras muestran ventajas diferenciales y compromisos: el coir y el sisal sobresalen por tenacidad y comportamiento posfisura en losas, el yute rinde mejor en recubrimientos o matrices delgadas, y la fibra de palma datilera aporta resistencia a tracción y flexión, aunque exige un control riguroso de la interfaz y de la permeabilidad. Además, el cáñamo y el lino logran un mejor desempeño cuando reciben tratamientos superficiales. Ahmad et al. (2022) destacan la mejora del control de fisuras y de la tenacidad con fibras de coco, mientras que Farias et al. (2024) documentan beneficios similares en el caso del yute. Por su parte, Althoey et al. (2022) señalan la relevancia de la palma datilera en la tracción y la flexión, y da Costa Santos et al. (2022) confirman el aporte del cáñamo y del lino tras aplicar tratamientos superficiales. En todos los casos, dosificaciones moderadas y pretratamiento de la fibra son claves para lograr una adherencia estable sin comprometer la trabajabilidad, favoreciendo su aplicación en pavimentos rígidos.

DISCUSIÓN

La evidencia recopilada confirma que las fibras vegetales mejoran significativamente el desempeño posfisura (tenacidad y ductilidad) y reducen la propagación de microgrietas en matrices cementicias para pavimentos. Este fenómeno se explica teóricamente porque las fibras asumen los esfuerzos de tracción una vez que la matriz de concreto se fisura, mecanismo que Martinelli et al. (2023) describen como puentes de transferencia de esfuerzos.

Al cruzar los datos de los distintos estudios, se identifica que el rango de máxima eficiencia

estructural y mecánica se obtiene con longitudes de fibra entre 20 y 50 mm, utilizando dosificaciones volumétricas o másicas bajas a intermedias (0.3 – 1.5 %). Superar este umbral del 1.5 % resulta contraproducente. La interpretación física de este límite radica en que el exceso de material lignocelulósico incrementa la porosidad efectiva de la mezcla, desencadenando una pérdida severa de trabajabilidad que impide una correcta consolidación del concreto, anulando así cualquier ganancia mecánica adicional.

La alcalinización con NaOH y la aplicación de recubrimientos superficiales mejoran la humectabilidad, eliminan hemicelulosas y reducen la hinchazón higroscópica, lo que se traduce en una mejor adherencia y en mayor resistencia residual del compuesto. da Costa Santos et al. (2022) confirman estos beneficios en fibras tratadas con soluciones alcalinas. De forma complementaria, Fonseca et al. (2021) reportan efectos empíricos positivos en la reducción drástica de la absorción hídrica, mientras que Siouta et al. (2024) destacan mejoras de adherencia similares al trabajar específicamente con fibras de cáñamo.

A pesar del consenso sobre los beneficios mecánicos a nivel experimental, la aplicación de estas mezclas en infraestructura vial enfrenta limitaciones prácticas que la literatura actual no resuelve adecuadamente. El primer gran obstáculo es la variabilidad intrínseca de los resultados. Al ser materiales naturales, las propiedades mecánicas de las fibras cambian drásticamente según su procedencia geográfica, las condiciones climáticas del cultivo y las técnicas de extracción. Esta falta de homogeneidad impacta negativamente en la reproducibilidad de los resultados entre los diferentes estudios analizados, complicando la estandarización de las normativas de diseño.

En segundo lugar, existe una evidente falta de validación en campo. La inmensa mayoría de las investigaciones documentadas se limitan a ensayos controlados en laboratorio a escala de probeta. Es imperativo reconocer que el comportamiento de estas fibras frente a condiciones reales de servicio (gradientes térmicos extremos a la intemperie, exposición a sales de deshielo y abrasión vehicular constante) sigue siendo una incógnita significativa para la adopción práctica

Finalmente, se evidencia un análisis económico ausente en el estado del arte. No existe una discusión profunda sobre la relación costo-beneficio de emplear fibras naturales tratadas en comparación con las fibras sintéticas tradicionales. Aspectos como el costo de la extracción, los tratamientos alcalinos a escala industrial y el control de calidad riguroso son factores determinantes para evaluar su verdadera viabilidad económica en megaproyectos de pavimentación.

Para consolidar el refuerzo del concreto con fibras vegetales en pavimentos rígidos y facilitar su transición hacia normativas oficiales, se sugieren las siguientes líneas de acción:

* Ensayos de campo y evaluación de fatiga a largo plazo: Es prioritario ejecutar tramos experimentales de carreteras a escala real instrumentados para monitorear el comportamiento del material frente a cargas dinámicas de fatiga y desgaste superficial por abrasión durante ciclos multianuales.

* Estandarización de protocolos: Se requiere un esfuerzo conjunto para desarrollar guías normativas que unifiquen los métodos de caracterización, tratamiento químico y rangos de dosificación de las fibras, garantizando la homogeneidad de la mezcla.

* Estudios de factibilidad económica: Desarrollar análisis de ciclo de vida (ACV) integrados con evaluaciones de costos directos e indirectos, comparando la implementación de fibras naturales frente al acero y el polipropileno bajo escenarios industriales reales.

CONCLUSIONES

La revisión realizada demuestra de manera consistente que la incorporación de fibras naturales en mezclas cementicias destinadas a pavimentos rígidos mejora las propiedades físico-mecánicas del concreto, particularmente la resistencia a tracción y flexión, la tenacidad y el control de fisuración. Este comportamiento se explica por el efecto de puenteo que las fibras ejercen sobre las microgrietas, favoreciendo una redistribución estable de los esfuerzos durante la etapa posfisura.

Los resultados analizados permiten establecer que los rangos de longitud óptimos se sitúan entre 20 y 50 mm, y las dosificaciones más eficientes se ubican entre 0.3 y 1.5 %, valores que maximizan el desempeño sin afectar significativamente la trabajabilidad del concreto. Fuera de estos intervalos, la ganancia mecánica tiende a estabilizarse o disminuir debido a problemas de dispersión y asentamiento.

El pretratamiento de las fibras mediante procesos alcalinos o recubrimientos superficiales constituye una condición esencial para lograr una adherencia duradera con la matriz cementicia, reduciendo la absorción de humedad y la variabilidad entre lotes. En este sentido, la combinación de métodos físicos y químicos de acondicionamiento contribuye a estabilizar las propiedades mecánicas y de durabilidad del material compuesto.

En términos comparativos, el coco (coir) y el sisal presentan el mejor comportamiento posfisura y mayor tenacidad en elementos tipo losa; el yute evidencia un desempeño favorable en recubrimientos estructurales y matrices geopoliméricas; el cáñamo y el lino muestran una

respuesta destacada tras recibir tratamientos superficiales; mientras que la fibra de palma datilera requiere un control riguroso de la interfaz y de la permeabilidad para garantizar su eficiencia estructural. Asimismo, las fibras amazónicas y de piña resultan viables para morteros de revestimiento complementarios sobre losas de pavimento.

Desde el punto de vista estructural, el aumento de la energía de fractura y del comportamiento posfractura ofrece márgenes de optimización del diseño, permitiendo reducir el espesor de las losas o espaciar juntas sin comprometer la seguridad, siempre que se verifique el desempeño a fatiga y abrasión bajo condiciones reales de servicio.

En cuanto a la durabilidad, la respuesta frente a ciclos térmicos, hielo deshielo o exposición a sales depende directamente de la calidad del anclaje fibra matriz y del curado del sistema. La inclusión de adiciones minerales finas puede contribuir a mitigar la absorción y la permeabilidad, prolongando la vida útil del material.

Finalmente, las fibras naturales representan una alternativa técnica y ambientalmente viable para el refuerzo del concreto en pavimentos rígidos, al promover la valorización de residuos agroindustriales y reducir la huella de carbono de la construcción. Sin embargo, se mantiene la necesidad de estandarizar los procedimientos de caracterización, los parámetros de tenacidad y energía de fractura, así como los protocolos de ensayo a escala de losa, a fin de consolidar su aplicación normativa y práctica en la ingeniería vial contemporánea.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abbas, A. G. N., et al. (2022). Kenaf Fibre Reinforced Cementitious Composites. *Fibers*, 10(1), 3. <https://doi.org/10.3390/fib10010003>

Adamu, M., et al. (2023). Modeling and Optimization of Date Palm Fiber Reinforced Concrete Modified with Powdered Activated Carbon under Elevated Temperature, 15(8), 6369. <https://doi.org/10.3390/su15086369>

Ahmad, J., Zaid, O., Farooq, F., & Ostrowski, K. (2022). Mechanical and Durability Performance of Coconut Fiber Reinforced Concrete: A State-of-the-Art Review. *Materials*, 15(10), 3601. <https://doi.org/10.3390/ma15103601>

Althoej, F., et al. (2022). Behavior of Concrete Reinforced with Date Palm Fibers. *Materials*, 15(22), 7923. <https://doi.org/10.3390/ma15227923>

- Amin, M. N., Ahmad, W., Khan, K., & Ahmad, A. (2022). A Comprehensive Review of Types, Properties, Treatment Methods and Application of Plant Fibers in Construction and Building Materials. *Materials*, 15(12), 4362. <https://doi.org/10.3390/ma15124362>
- Azevedo, A. R. G., Marvila, M. T., Zanelato, E. B., Alexandre, J., Xavier, G. C., & Cecchin, D. (2020). Development of mortar for laying and coating with pineapple fibers. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 24(3), 187–193. <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/j8czBWQQYxTsgRJgtwtqXQZ/>
- Bahmani, H., & Mostafaei, H. (2025). Impact of Fibers on the Mechanical and Environmental Properties of High-Performance Concrete Incorporating Zeolite. *Journal of Composites Science*, 9(5), 222. <https://doi.org/10.3390/jcs9050222>
- Bamaga, S. O., et al. (2022). A Review on the Utilization of Date Palm Fibers as Inclusion in Concrete and Mortar, 10(4), 35. <https://doi.org/10.3390/fib10040035>
- Beskopylny, A. N., et al. (2022). Enhanced Performance of Concrete Dispersedly Reinforced with Sisal Fibers. *Applied Sciences*, 12(18), 9102. <https://doi.org/10.3390/app12189102>
- Borges, A. P. S. N., Motta, L. A. C., & Franco, L. S. (2019). Study of concrete properties with vegetal and polypropylene fibers for use in structural walls. *Matéria*. <https://www.scielo.br/j/rmat/a/LprhPDswVZzMg6ZkydLbh7f/>
- da Costa Santos, A. C., et al. (2022). Suitability of Surface-Treated Flax and Hemp Fibers for Concrete Reinforcement. *Fibers*, 10(11), 101. <https://doi.org/10.3390/fib10110101>
- Dias, L. S., et al. (2021). Incorporation of waste from the production of sisal fibers into mortar: Effects on physical and mechanical properties. *Matéria*. <https://www.scielo.br/j/rmat/a/5RMw95bJyVMjf846VCbjpTw/>
- Farias, L. N., Lam, S. S., Bettencourt Ribeiro, M. C., Franceschini, L. H., Nunes, V. N., & Mota, G. F. T. (2024). Short Jute Fiber Reinforced Cement Mortar for Out-of-Plane Strengthening of Masonry Prisms. *Sustainability*, 16(13), 5675. <https://doi.org/10.3390/su16135675>

- Fonseca, R. P., et al. (2021). Influence of Different Types of Treatments on Amazonian Vegetable Fibers on the Performance of Mortars Based on Portland Cement, Metakaolin and Fly Ash. *Materials Research*. <https://www.scielo.br/j/mr/a/ftqPhCtwzYZqSTd8qsgMYzt/>
- Geremew, A., Outtier, A., De Winne, P., Demissie, T. A., & De Backer, H. (2025). An Experimental Investigation on the Effect of Incorporating Natural Fibers on the Mechanical and Durability Properties of Concrete by Using Treated Hybrid Fiber-Reinforced Concrete Application. *Fibers*, 13(3), Art. 26. <https://doi.org/10.3390/fib13030026>
- Hasan, M., Saidi, T., Jamil, M., Amalia, Z., & Mubarak, A. (2022). Mechanical Properties and Absorption of High-Strength Fiber-Reinforced Concrete (HSFRC) with Sustainable Natural Fibers. *Buildings*, 12(12), 2262. <https://doi.org/10.3390/buildings12122262>
- Jamshaid, H., Mishra, P., Hussain, U., & Hussain, M. (2022). Natural Cellulosic Fiber Reinforced Concrete: Influence of Fiber Type and Loading Percentage on Mechanical and Water Absorption Performance. *Materials*, 15(3), 874. <https://doi.org/10.3390/ma15030874>
- Jiang, Z., et al. (2021). Effect of Coconut Fiber Dosage on Flexural Performances of Magnesium Phosphate Cement. *Frontiers in Materials*, 8, 557355. <https://doi.org/10.3389/fmats.2021.557355>
- Joachim, L., Le, V. N., & Holschemacher, K. (2024). Experimental Investigations on the Application of Natural Plant Fibers in Ultra-High-Performance Concrete. *Materials*, 17(14), 3519. <https://doi.org/10.3390/ma17143519>
- Khan, M. B., Khan, M. U., & Ali, S. (2023). Effects of Jute Fiber on Fresh and Hardened Characteristics of Concrete with Environmental Assessment. *Buildings*, 13(7), 1691. <https://doi.org/10.3390/buildings13071691>
- Martinelli, F. R. B., et al. (2023). A Review of the Use of Coconut Fiber in Cement Composites. *Polymers*, 15(5), 1309. <https://doi.org/10.3390/polym15051309>

- Mohammed, A. D. A. A., et al. (2024). Mechanical Properties of Natural Jute Fiber-Reinforced Geopolymer Concrete: Effects of Various Lengths and Volume Fractions. *Journal of Composites Science*, 8(11), 450. <https://doi.org/10.3390/jcs8110450>
- Okeola, A. A., et al. (2018). Experimental Investigation of the Physical and Mechanical Properties of Sisal Fiber-Reinforced Concrete. *Fibers*, 6(3), 53. <https://doi.org/10.3390/fib6030053>
- Shcherban', E. M., et al. (2022). Normal-Weight Concrete with Improved Stress–Strain Characteristics Reinforced with Dispersed Coconut Fibers. *Applied Sciences*, 12(22), 11734. <https://doi.org/10.3390/app122211734>
- Silva, F. A., Mobasher, B., & Toledo Filho, R. D. (2017). Cracking mechanisms in durable sisal fiber reinforced cement composites, 89, 150–161. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2009.07.004>
- Siouta, L., Apostolopoulou, M., & Bakolas, A. (2024). Natural Fibers in Composite Materials for Sustainable Building: A State-of-the-Art Review on Treated Hemp Fibers and Hurds in Mortars. *Sustainability*, 16(23), 10368. <https://doi.org/10.3390/su162310368>
- Soares, E. N. C., et al. (2025). Effect of combining surfactant additives in extruded fiber cement reinforced with sisal fiber natura, 25(1), e20531. <https://www.scielo.br/j/ac/a/HwghRRXnG4HJ7yLRrNNHYMx/>
- Wang, X., Chang, L., Shi, X., & Wang, L. (2019). Effect of Hot-Alkali Treatment on the Structure Composition of Jute Fabrics and Mechanical Properties of Laminated Composites. *Materials*, 12(9), 1386. <https://doi.org/10.3390/ma12091386>
- Zhou, X., Zheng, F., Li, H., & Bian, Y. (2017). Engineering Properties of Treated Natural Hemp Fiber-Reinforced Concrete. *Frontiers in Built Environment*, 3, 33. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2017.00033>

ANEXOS

Tabla 1

Resumen de artículos de fibras naturales en pavimentos rígidos


Fuente	Autor(es) y Año	País	Fibra Natural	Aplicación / Contexto
MDPI	Khan et al., 2023	Múltiples (revisión)	Yute	Mejora de compresión, tracción y flexión; eficiencia eco-estructural; aplicable a losas de pavimento rígido.
MDPI	Ahmad et al., 2022	Múltiples (revisión)	Coco	Control de fisuración y aumento de tenacidad; incrementos en flexión e impacto en concretos para pavimentos.
MDPI	Okeola et al., 2018	Nigeria (experimental)	Sisal	Aumento de tracción/división y módulo; efecto limitado en compresión; utilidad en capas de rodadura rígidas.
Frontiers	Zhou et al., 2017	China/Reino Unido (experimental)	Cáñamo	Tratamientos alcalinos mejoran adherencia; incrementos en tracción/compresiones relevantes para losas.
MDPI	Farias et al., 2024	Brasil (experimental)	Yute	Mortero de recubrimiento con yute para refuerzo; mejora de respuesta fuera del plano en paneles sobre soporte rígido.
MDPI	Shcherban' et al., 2022	Rusia (colaboración)	Coco	Concreto de alta resistencia con coir; mejor comportamiento posfisura para elementos tipo losa.
Frontiers	Jiang et al., 2021	China (experimental)	Coco	Óptimo 3 %; mejora de flexión y tenacidad; útil para reparaciones rápidas de losas.
MDPI	Beskopylny et al., 2022	Rusia (experimental)	Sisal	Concretos ecos con sisal; incrementos en tracción y flexión a bajas dosificaciones; control de fisura.
MDPI	Martinelli et al., 2023	Brasil (revisión)	Coco	Control de apertura de fisuras, aumento de tenacidad; guía para dosificación en pavimentos.
MDPI	Mohammed et al., 2024	Múltiples (experimental)	Yute	Geo polímero reforzado con yute; efectos en flexión y absorción; alternativa cementicia para losas.


MDPI	Althoey et al., 2022	Arabia Saudita (experimental)	Palma datilera	Incremento de tenacidad/resistencia residual; interfaz fibra matriz crítica en elementos de concreto.
MDPI	Adamu et al., 2023	Múltiples (experimental)	Palma datilera	Mantiene desempeño a alta temperatura; útil en zonas cálidas para losas rígidas.
MDPI	Bamaga et al., 2022	Arabia Saudita (revisión)	Palma datilera	Revisión: mejora mecánica con tratamiento de fibras; consideraciones de durabilidad para pavimentos.
MDPI	da Costa Santos et al., 2022	Brasil/Portugal (experimental)	Lino y cáñamo	Tratamientos superficiales alta resistencia residual y energía de fractura; aplicabilidad en losas delgadas.
MDPI	Abbas et al., 2022	Malasia (revisión)	Kenaf	Revisión: viabilidad de kenaf en cementicios; efectos en fisuración y durabilidad en elementos rígidos.
SciELO	Azevedo et al., 2020	Brasil (experimental)	Fibra de piña	Mortero para asentado/revestimiento con fibra tratada; viabilidad tecnológica en capas sobre losa.
SciELO	Borges et al., 2019	Brasil (experimental)	Sisal y Rami	Propiedades físicas y mecánicas en concretos para muros/losas delgadas.
SciELO	Dias et al., 2021	Brasil (experimental)	Residuos de sisal	Influencia en propiedades físicas y mecánicas de morteros; potencial en capas de recubrimiento.
SciELO	Fonseca et al., 2021	Brasil (experimental)	Fibras amazónicas	Tratamientos mejoran adherencia y desempeño en morteros cementicios aplicables sobre losas.
SciELO	Soares et al., 2025	Brasil (experimental)	Sisal	Fibrocemento con 3 % sisal y aditivos; efectos en desempeño mecánico de placas delgadas.




**UNIVERSIDAD
NACIONAL DE JAÉN**

 **¡Hola Revista PAKAMUROS!**

 pakamuros@unj.edu.pe

 <https://revistas.unj.edu.pe/index.php/pakamuros>

 Carretera Jaén – San Ignacio Km24 – sector Yanuyacu – Jaén
Módulo de Ing. Civil – 4° piso