

REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINARIA

PAKAMUROS

Octubre - Diciembre 2025

Volumen 13 - N° 4



UNIVERSIDAD
NACIONAL DE JAÉN

Una publicación de la Universidad Nacional de Jaén
Diciembre 2025 | Vol. 13. Número 4 | E-ISSN: 2522-3240 | ISSN: 2306-9805
DOI: <https://doi.org/10.37787/6yhm1183>

Comité Científico

Director

Dra. Mary Flor Césare Coral

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. Enedia 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

Evaluación bromatológica, microbiológica y de la efectividad de gomitas fortificadas con extracto de hortalizas y harina de sangre bovina.....	4
Identificación de <i>Staphylococcus</i> spp. en teléfonos celulares de médicos, enfermeras y obstetras del Hospital de Apoyo II Santa Rosa.....	21
Detección y perfil de susceptibilidad antibiótica de bacterias potencialmente patógenas aisladas de estetoscopios utilizados por internos de medicina, enfermería y obstetricia en el Hospital Jorge Reátegui Delgado, Piura.....	31
Prevalencia de protozoarios intestinales en niños menos de 5 años en la zona de la sierra del departamento de Piura	45
Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales con fines de reutilización en áreas verdes.....	58
Análisis de rotura de presa para simular la propagación e impacto del flujo de descarga, presa Limón, San Felipe, Perú 2023.....	70
Susceptibilidad a betalactámicos y resistencia por betalactamasas de espectro extendido (BLEE) en <i>Enterobacteriaceae</i> aisladas de superficies hospitalarias de un hospital de la provincia de Jaén.....	84
Ruta metodológica para la validación de instrumentos en investigación de ingeniería.....	94
Prototipo de aerogenerador de eje vertical para bajas velocidades de viento en Cruz Grande, Jaén.....	116
Resistencia y capacidad portante del suelo en Los Portales, Montegrande y Miraflores (Jaén) para diseño de cimentaciones.....	132
Integración de ciclovías y señalización vial urbana sostenible: una revisión de literatura ...	150

ARTÍCULOS DE REVISIÓN

Determinación del ciclo teórico Otto mediante fichas técnicas de motores monocilíndricos...	167
Aseguramiento de la calidad en la producción de guayaba (<i>Psidium guajava</i> L.): revisión literaria.....	182
Innovación sostenible en geotecnia: Comportamiento de suelos arcillosos estabilizados con aditivos orgánicos y subproductos agroindustriales.....	197

ARTÍCULO ORIGINAL**Evaluación bromatológica, microbiológica y de la efectividad de gomitas fortificadas con extracto de hortalizas y harina de sangre bovina****Bromatological, microbiological, and effectiveness evaluation of gummies fortified with vegetable extract and bovine blood meal**Díaz, M.¹ , Martínez, D.² , Gallegos, L.³ , Ventura, M.⁴ , Díaz, F.⁵  y Flores, F.⁶ **RESUMEN**

La anemia infantil por deficiencia de hierro continúa siendo un problema de salud pública, especialmente en zonas rurales del Perú. Este estudio evaluó la composición bromatológica, fisicoquímica, microbiológica y la eficiencia de gomitas fortificadas con extracto de zanahoria (M1), remolacha (M2) y harina de sangre bovina. Se trabajó con una muestra de 20 niños en edad escolar del distrito de Los Morochucos (previo consentimiento por escrito de los padres de familia), distribuidos en dos grupos: uno para M1 y otro para M2. Ambas formulaciones presentaron niveles adecuados de humedad, potasio, hierro y nitrógeno, así como concentraciones bajas de cobre, arsénico y plomo. Además, los análisis microbiológicos confirmaron que las gomitas eran inocuas y aptas para el consumo. En cuanto a la eficiencia, la formulación M2 mostró mejores resultados, elevando los niveles de hemoglobina de 12.12 a 12.63 g/dL, efecto relacionado con la sinergia entre el hierro y compuestos presentes en la remolacha que favorecen su absorción. En contraste, las gomitas elaboradas con extracto de zanahoria no evidenciaron cambios significativos, posiblemente debido al bajo cumplimiento de consumirlas junto con una bebida cítrica, lo cual afectó la biodisponibilidad del hierro. En conjunto, los resultados indican que es viable incorporar gomitas fortificadas con extractos vegetales y harina de sangre bovina en la dieta de niños vulnerables a la anemia.

Palabras clave: anemia infantil; comunidad campesina; deficiencia de hierro, alimento funcional, escolaridad.

ABSTRACT

Iron deficiency anemia in children continues to be a public health problem, especially in rural areas of Peru. This study evaluated the bromatological, physicochemical, and microbiological composition and efficiency of gummies fortified with carrot extract (M1), beet extract (M2), and bovine blood meal. A sample of 20 school-age children from the district of Los Morochucos (with prior written consent from their parents) was divided into two groups: one for M1 and the other for M2. Both formulations had adequate levels of moisture, potassium, iron, and nitrogen, as well as low concentrations of copper, arsenic, and lead. In addition, microbiological analyses confirmed that the gummies were safe and suitable for consumption. In terms of efficiency, the M2 formulation showed better results, raising hemoglobin levels from 12.12 to 12.63 g/dL, an effect related to the synergy between iron and compounds present in beets that promote its absorption. In contrast, the gummies made with carrot extract showed no significant changes, possibly due to low compliance with consuming them together with a citrus drink, which affected the bioavailability of iron. Overall, the results indicate that it is feasible to incorporate gummies fortified with plant extracts and bovine blood meal into the diet of children vulnerable to anemia.

Keywords: childhood anemia; rural community; iron deficiency; functional food; schooling.

* Autor para correspondencia

¹ Instituto de Educación Superior Tecnológico Público "Los Morochucos", Fé y Alegría N° 60, Perú .Email: marianeladiazlloccella@gmail.com, donamartinezcaceres@gmail.com, gabygallegostalaverano@gmail.com, miguel.ventura.30@unsch.edu.pe, fadicru@gmail.com, fanyfg30@gmail.com

INTRODUCCIÓN

La anemia infantil incluso en estos últimos años es uno de los principales problemas de salud pública del Perú, con énfasis en las regiones altoandinas (Colegio Médico del Perú, 2023). En el 2023, el 43.1% de los niños de 6 a 35 meses presentaba anemia con cifras alarmantes en regiones como Puno (70.4%) y Ucayali (59.4%) según la Encuesta Demográfica y de Salud Familiar (INEI, 2023). Este panorama es el resultado de un contexto más amplio ligado a problemas como la malnutrición infantil, disminución progresiva de la lactancia materna exclusiva y a los pocos avances a nivel de políticas públicas orientadas a combatir la desnutrición crónica y anemia infantil (UNICEF, 2021).

La anemia tiene múltiples factores que la desencadenan, pero el más relevante y motivo de preocupación es la baja ingesta de hierro y otros micronutrientes, todo esto como consecuencia de una dieta monótona, de bajo valor nutricional y la inseguridad alimentaria que atraviesan muchas familias de las zonas rurales del Perú (WHO, 2025; Pillaca y Villanueva, 2015). En un intento de solucionar esta problemática el gobierno peruano lanzó el Plan Nacional para la Reducción de la Anemia Infantil, que un inicio solo se había proyectado hasta el 2021 pero luego se amplió hasta el 2030, el principal objetivo de este plan era reducir la prevalencia de la anemia al 19%, mediante estrategias como el tamizaje sistemático, suplementación con hierro y el fortalecimiento de conocimientos en educación y vigilancia nutricional (MINSA, 2024).

A pesar de los esfuerzos desplegados con la implementación de este Plan Nacional, el impacto conseguido en zonas rurales como el distrito de Los Morochucos en la provincia de Cangallo, región Ayacucho han sido limitados. Este distrito se sitúa a 3300 msnm, enfrenta condiciones geográficas y socioeconómicas desafiantes y entre el 30.5 y 61.5% de sus hogares se encuentran en condición de pobreza, esto hace que el distrito esté ubicado en el quintil 2 que implica que el distrito presenta un alto nivel de carencias de servicios básicos como la alimentación, educación, vivienda y salud (MIDIS, 2024; INEI, 2018). La población de este distrito tiene como idioma predominante el Quechua, con una población económicamente activa que se dedican a actividades agropecuarias y con baja inserción en otros sectores productivos (Espinosa, 2009; Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo, 2022). Los centros poblados de este distrito además tienen un acceso limitado a alimentos ricos en hierro, agua de calidad y servicios de salud, lo cual hace que los niños y adolescentes sean más vulnerables a padecer anemia (Pillaca y Villanueva, 2015; Alarcón, 2020).

Bajo esa realidad que atraviesa el distrito Los Morochucos, surge la necesidad de desarrollar alimentos funcionales innovadores y accesibles, que sean aceptados por el público y nutricionalmente efectivos. Diversas investigaciones demuestran el impacto positivo de suplementos alimenticios masticables enriquecidos con hierro en la reducción de la anemia infantil y de mujeres jóvenes. Xiao et al. (2024) realizaron un ensayo con mujeres jóvenes que presentaban anemia ferropénica moderada, a las cuales se les administró gomitas fortificadas con hierro por 8 semanas. Los resultados mostraron mejoras en los niveles de hemoglobina del 80% de las participantes. Además, se observaron beneficios adicionales como la mejora en la calidad del sueño, piel mas hidratada, disminución de dolores de cabeza menstruales y un incremento en su concentración y energía. Sari et al. (2001) evaluaron la eficacia de caramelos fortificados con hierro para prevenir la anemia en niños entre 4 y 6 años en Yakarta. Luego de 12 semanas de que los niños recibieran los caramelos fortificados, se observó un incremento promedio de 10,2 g/L en los valores de hemoglobina y la prevalencia de la anemia se redujo de 50.9% a 8.8%. Athe et al. (2013) también pudieron comprobar que el consumo de alimentos fortificados con hierro mejora los niveles de hemoglobina tras una revisión sistemática de 18 ensayos que incluyeron a más de 5100 niños menores de 10 años.

Las gomitas fortificadas tienen múltiples ventajas como una mayor probabilidad de ser aceptadas por los niños, permiten la incorporación de micronutrientes de forma segura y se pueden elaborar a base de ingredientes de la zona. En ese sentido, se consideró que era una buena alternativa la elaboración de gomitas funcionales a base de zanahoria (*Daucus carota*) y, remolacha (*Beta vulgaris*), que son ricas en compuestos antioxidantes, vitaminas y minerales (Prosad et al., 2023). Además, de incorporar harina de sangre bovina, ya que es una fuente de hierro hemínico con alta biodisponibilidad (Di Foggia et al., 2020). Se espera que con el uso de ingredientes locales se dinamice la economía del productor local y se fomente la participación de la comunidad. En ese sentido el objetivo general de este estudio fue evaluar la calidad bromatológica, microbiológica y la efectividad clínico nutricional de gomitas fortificadas con extracto de hortalizas y harina de sangre bovina.

MATERIALES Y MÉTODOS

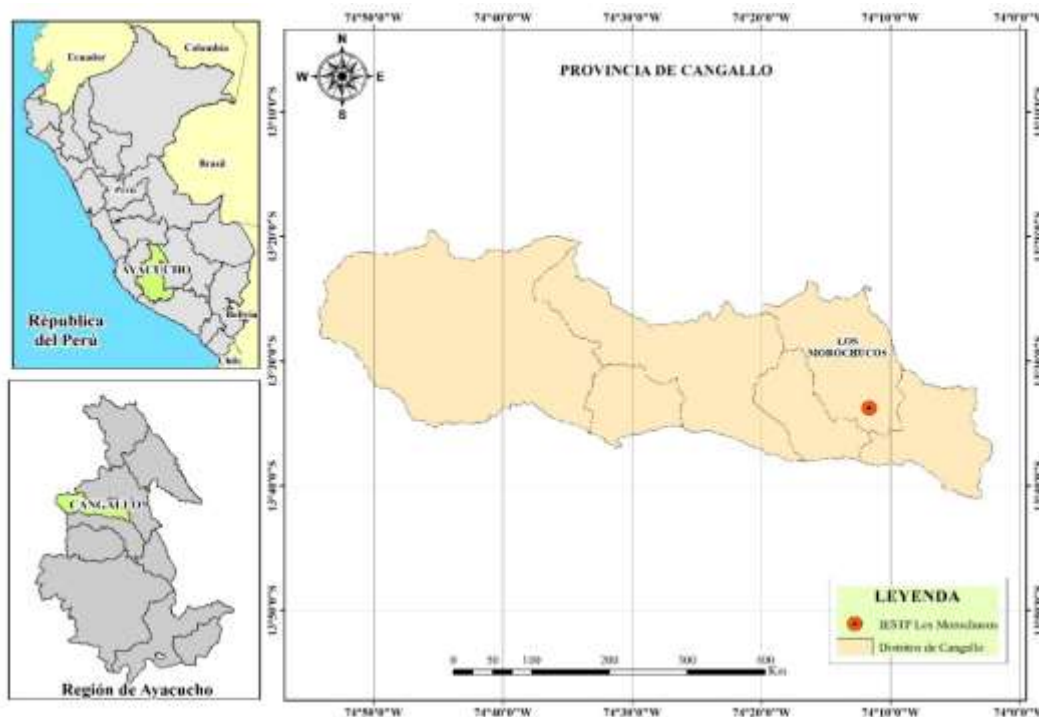
Lugar de ejecución

El estudio fue desarrollado en el taller del módulo de tecnología de frutas, hortalizas y azúcares de la carrera de Industrias Alimentarias del Instituto de Educación Superior Tecnológico Público “Los Morochucos”, Fé y Alegría N° 60, ubicado en el barrio Coraspampa S/N, distrito de

Los Morochucos, provincia de Cangallo, región Ayacucho, Perú (Figura 1). La investigación se desarrolló entre julio y noviembre del 2024.

Figura 1

Localización del montaje experimental.



Nota. La figura muestra la localización geográfica del montaje experimental en el distrito de los Morochucos, provincia de Cangallo, región Ayacucho, Perú. Elaboración propia.

Formulación y elaboración de gomitas fortificadas

A partir de un estudio previo de aceptación sensorial de gomitas fortificadas con harina de sangre bovina y extractos vegetales de zanahoria, espinaca y remolacha, se seleccionó los dos mejores tratamientos teniendo en cuenta la mayor aceptabilidad y mayor aporte de hierro (Díaz-Lloclla, 2023). Las formulaciones estandarizadas de los tratamientos seleccionados y con las cuales se trabajó se detallan en la tabla 1.

Tabla 1*Formulaciones estandarizadas para la elaboración de gomitas fortificadas*

Tratamiento	Cantidad de extracto (ml)	Azúcar (g)	Ácido cítrico (g)	Glucosa (g)	Gelificante (g)	Harina de sangre bovina (g)
M1(zanahoria)	300	120	6	80	55	1
M2 (remolacha)	300	120	6	80	50	1.5

Nota. Formulaciones utilizadas en el proceso experimental. Elaboración propia.

El proceso de elaboración de las gomitas fortificadas tuvo las siguientes etapas de acuerdo a la metodología de Díaz-Llocclla (2023):

- a) **Recepción.** Este proceso consistió en la recepción de los insumos (hortalizas, harina de sangre, glucosa, azúcar, ácido cítrico y gelificante), verificar su integridad y procedencia y fecha de caducidad.
- b) **Extracción.** Consistió en extraer el extracto de la zanahoria y la remolacha, se realizó en un extractor doméstico marca Oster.
- c) **Pesado.** Se procedió a pesar las materias primas e insumos empleando una balanza de precisión 0.0001 g (modelo ABS 200®) de acuerdo a la formulación de cada una de las muestras.
- d) **Dilución.** Se diluyó cada una de las muestras por separado.
- e) **Mezcla 1.** Consistió en hidratar el colapiz con 250 ml del extracto vegetal de zanahoria o remolacha, todo esto a temperatura ambiente.
- f) **Mezcla 2.** Para esta mezcla se disolvió el azúcar, ácido cítrico, los 50 ml de extracto vegetal sobrantes y la harina de sangre bovina. Esta se calentó en fuego lento hasta alcanzar los 103°C y se dejó por un tiempo de 5 minutos. La temperatura se monitoreo con un termómetro digital.
- g) **Concentrado.** Este proceso implica la unión de las mezclas 1 y 2. Al alcanzar los 103°C y luego de 5 minutos, se combinan ambas mezclas y se incorpora la glucosa y se deja hervir por aproximadamente 3 minutos.
- h) **Moldeado.** La mezcla homogénea resultantes del proceso anterior se vertió en moldes de silicona previamente desinfectados y se pusieron a refrigerar por 5 minutos.
- i) **Desmoldado.** Una vez transcurrido el tiempo de refrigeración se sacó los moldes del refrigerados y se dejó a temperatura ambiente por 10 minutos antes de desmoldar.
- j) **Envasado y etiquetado.** Las gomitas desmoldadas se envasaron en bolsas de polipropileno, se sellaron y etiquetaron para su posterior análisis de laboratorio.

Para asegurar condiciones de inocuidad en cada una de las etapas se trabajó en mesas de trabajo de acero inoxidable y utensilios de este mismo material correctamente desinfectados. En total se obtuvieron 135 gomitas por lote de producción para cada una de los formulados.

Evaluación bromatológica y microbiológica

Para ambas muestras M1Z (zanahoria) y M2R (remolacha) los análisis se realizaron en el Laboratorio Agroindustrial del Centro de Innovación Productiva y Transferencia Tecnológica Agroindustrial Ica, con certificación ISO 9001 y acreditado según el ISO 17025 INACAL. Las metodologías empleadas para cada uno de los análisis se presentan en la tabla 2:

Tabla 2

Análisis bromatológicos, microbiológicos y metodologías empleadas

Tipo de análisis	Parámetro	Unidad de medida	Método
Bromatológicos	Humedad	%	Termogravimetría
	Nitrógeno	%	Kjeldahl
	Sodio	ppm	Espectrofotometría UV-VIS
	Hierro	ppm	Espectrofotometría de absorción atómica
	Calcio	ppm	Espectrofotometría de absorción atómica
	Manganeso	ppm	Espectrofotometría de absorción atómica
	Potasio	ppm	Espectrofotometría de absorción atómica
	Zinc	ppm	Espectrofotometría de absorción atómica
	Cobre	ppm	Espectrofotometría de absorción atómica
	Arsénico	ppm	Espectrofotometría de absorción atómica
	Plomo	ppm	Espectrofotometría de absorción atómica
Microbiológicos	Recuento de aerobios mesófilos	UFC/g	ICMSF. Edit. Acribia 2000. 2ª ed. Enumeración de microorganismos aerobios mesófilos: Métodos de recuento en placa- Método 1.
	Recuento de coliformes totales	NMP/g	AOAC (2012) Método oficial 991.14
	Recuento de <i>E. coli</i>	UFC/g	AOAC (2012) Método oficial 991.14
	Recuento de <i>Staphylococcus aureus</i> en alimentos	UFC/g	ISO 6888-1: 2021/Amd 1: 2023

Nota. UFC (Unidades Formadoras de Colonias).

Evaluación de efectividad anti-anémica de las gomitas fortificadas en niños en edad escolar

Para esta etapa se trabajó con niños de 6 y 7 años de la Institución Educativa N° 38132: “Los Morochucos”. Como parte de los principios éticos que rigen la investigación, previo al inicio de esta fase se obtuvo el consentimiento informado por escrito de los padres o tutores legales de los niños que participarían en el estudio. Aunque no se contó con aprobación ética de un comité de ética institucional, se respetó principios básicos como la participación voluntaria, confidencialidad y bienestar físico y emocional de los menores participantes.

Se trabajó con dos grupos de 10 niños cada uno. A uno de los grupos se le administró las gomitas con extracto de zanahoria y al otro grupo las gomitas con extracto de remolacha. La evaluación tuvo una duración de 11 semanas, durante las cuales se administró de forma diaria 3 gomitas (aproximadamente 25 g) a cada participante durante su horario de refrigerio a las 10:00 de la mañana. Para poder evaluar el efecto del consumo de gomitas sobre los niveles de hemoglobina, se realizaron mediciones antes y después de la intervención. El primer análisis de hemoglobina se realizó el 17 de setiembre de 2024 antes de iniciado el consumo de gomitas y el segundo análisis se realizó el 17 de noviembre de 2024 luego de haber concluido la dotación de gomitas. Para ello, se extrajeron muestras de sangre capilar por el método de punción digital, esta estuvo a cargo de personal de salud debidamente calificado del Centro de Salud de Pampa Cangallo y se empleó un hemoglobinómetro portátil previamente calibrado.

Análisis de datos

Se realizaron análisis de los principales estadísticos descriptivos (media y desviación estándar) de los dos grupos de niños en los que se probó la efectividad de las gomitas fortificadas. Además, para comparar los niveles de hemoglobina pre y post intervención del consumo de las gomitas y ver si existen diferencias significativas se empleó la prueba T de Student para muestras pareadas. Para conocer si existían diferencias estadísticas entre ambos grupos evaluados se aplicó la prueba estadística T de Student para muestras independientes. Todo se trabajó con un 95% de confianza en el software estadístico InfoStat 2018 p (Di Rienzo et al., 2009).

RESULTADOS

Evaluación bromatológica y microbiológica de gomitas fortificadas

En la figura 2 se aprecian las gomitas fortificadas con extractos vegetales y harina de sangre bovina. Las gomitas de zanahoria (figura 2A) presentó una tonalidad naranja, una superficie

ligeramente opaca con pequeñas partículas visibles, posiblemente restos del extracto vegetal. Por otro lado, las gomitas de remolacha (figura 2B) presentaron un color morado oscuro con una superficie brillante.

Figura 2

*Apariencia de las gomitas fortificadas elaboradas a base de extractos vegetales y harina de sangre bovina. Gomitas formuladas con extracto de zanahoria (*Daucus carota*) (A) y Gomitas elaboradas con extracto de remolacha (*Beta vulgaris*) (B).*



En la tabla 3, se aprecia los resultados de laboratorio obtenidos para las dos formulaciones de gomitas fortificadas. En cuanto al contenido de humedad, nitrógeno, sodio, calcio, potasio y zinc las concentraciones más altas se registraron para las gomitas de remolacha. Para minerales como el hierro se registraron valores similares para ambas gomitas.

Respecto a metales pesados como el arsénico y plomo no se detectaron en ninguna de las muestras, indicando que son productos seguros para el consumo. En cuanto a los resultados microbiológicos, no se detectaron coliformes fecales, *E. coli* o *Staphylococcus aureus* para ninguna de las muestras.

Tabla 3

Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de gomitas fortificadas

Parámetros	M1 (Zanahoria)	M2 (remolacha)
Humedad (%)	23.77	29.49
Nitrógeno (%)	1.89	2.19
Sodio (ppm)	139.79	169.81
Hierro (ppm)	7.78	7.89
Calcio (ppm)	136.25	133.73
Manganeso (ppm)	<0.002	<0.02
Potasio (ppm)	325.12	828.93
Zinc (ppm)	0.25	0.74
Cobre (ppm)	<0.002	<0.02

Arsénico (ppm)	<0.5	<0.5
Plomo (ppm)	<0.5	<0.5
Recuento de aerobios mesófilos (UFC/g)	4 x 10 ⁵	<10 estimado
Recuento de Coliformes totales (NMP/g)	<3 estimado	<3 estimado
Recuento de <i>E. coli</i> (UFC/g)	<10 estimado	<10 estimado
Recuento de <i>Staphylococcus aureus</i> en alimentos (UFC/g)	<10 estimado	<10 estimado

Fuente: resultados de análisis de laboratorio.

Efectividad anti-anémica de las gomitas fortificadas en niños en edad escolar

En la tabla 4 y figura 3, se observa que los valores iniciales de hemoglobina fueron similares para ambos grupos. Después de transcurrido 11 semanas de consumo diario de las gomitas, el valor de hemoglobina del grupo que consumió las gomitas fortificadas con zanahoria no evidenció diferencias significativas respecto al valor inicial, mientras que, en el grupo que consumió las gomitas fortificadas con remolacha si presentan diferencias significativas respecto al valor inicial.

Tabla 4

Valores de hemoglobina justada antes y después de la dotación de gomitas fortificadas, para niños entre 6 y 7 años

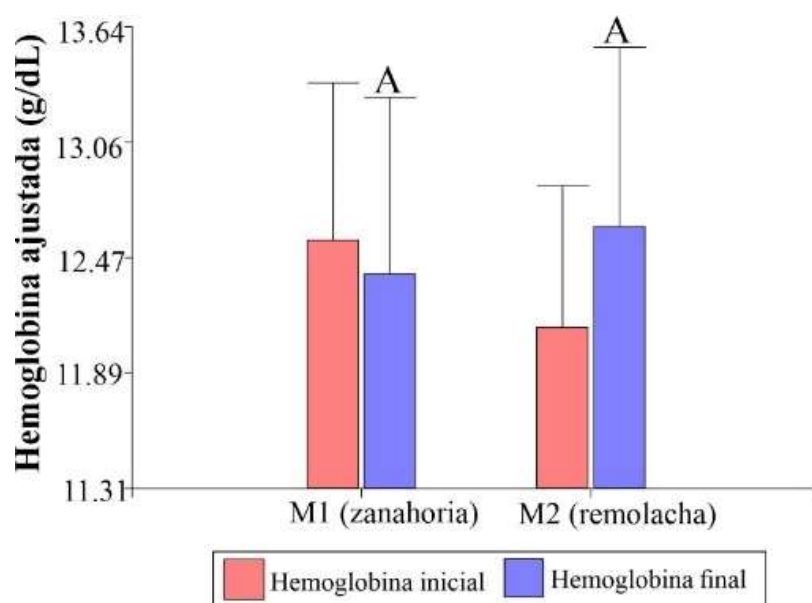
Variables	M1 (Zanahoria) n=10	M2 (remolacha) n=10
Hemoglobina antes (g/dL)	12.56 ± 0.80 ns	12.12 ± 0.72 b
Hemoglobina después (g/dL)	12.39 ± 0.89 ns	12.63 ± 0.91 a

Nota. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas, ns: sin diferencia significativa, según la prueba T para muestras apareadas ($p < 0.05$).

Figura 3

Hemoglobina ajustada (g/dL) antes y después del consumo de gomitas fortificadas en escolares de Los Morochucos. Letras iguales indican que no existen diferencias estadísticas entre las gomitas de zanahoria y remolacha después de su consumo.

Prueba T de Student para muestras independientes ($p < 0.05$).



En la figura 3 se observa que al finalizar el estudio no se encontraron diferencias estadísticas entre los grupos para el valor de hemoglobina final según la prueba T de Student ($p < 0.05$).

DISCUSIÓN

Las diferencias de color y apariencia general presentadas entre las gomitas fortificadas de zanahoria y remolacha estarían asociadas a los pigmentos naturales de los extractos vegetales, como los α y β carotenos en la zanahoria (Li et al., 2021) y betacianinas y betaxantinas en la remolacha (Varshney y Mishra, 2022), y, además, la solubilidad y comportamiento térmico de los compuestos durante la gelificación de las gomitas.

Los análisis evidenciaron que las muestras de gomitas formuladas con extracto de remolacha presentan mayor humedad y porcentaje de nitrógeno, lo cual es atribuible a la composición bioquímica de la remolacha, ya que es una verdura rica en azúcares, aminoácidos y agua en estructuras como sus raíces, propiedades que lo hacen un alimento útil para múltiples aplicaciones alimenticias (Punia et al., 2023; Ceclu y Oana-Viorela, 2020).

En cuanto a las concentraciones de hierro ambas formulaciones de gomitas tuvieron valores similares, estos resultados son superiores a los obtenidos por Ligarda-Samanez et al. (2025) para gomitas de *Passiflora tarminiana* fortificadas con sangre de cuy en la cual obtuvieron valores de 1.96 ppm. Las diferencias observadas pueden estar asociadas a los diferentes insumos empleados y a la procedencia de la sangre animal (Silva Chiroque et al., 2023).

Los altos contenidos de potasio encontrados en las gomitas fortificadas con remolacha es algo importante de destacar ya que, este macromineral es clave para mantener la función celular, excitabilidad de los nervios y músculos y regular el pH corporal (Toft et al., 2023).

Los parámetros microbiológicos de ambas formulaciones de gomitas indican que cumplen los estándares de inocuidad para productos destinados al consumo humano, ya que los recuentos de coliformes, *E. coli* y *S. aureus* estuvieron por debajo de los límites de detección. Esto puede deberse en parte a los bajos porcentajes de humedad registrados y a compuestos como betalainas y polifenoles presentes en la remolacha que le confieren una actividad antimicrobiana alta contra bacterias y hongos (Fernandez et al., 2020) y a los carotenoides, poliacetilenos y ácidos grasos apolares presentes en la zanahoria que le confieren una actividad antimicrobiana moderada (Sabahi et al., 2024).

Los niveles de hemoglobina antes y después del consumo de las gomitas fortificadas fue diferenciado. Los participantes del grupo 2 tuvieron un incremento de sus niveles de hemoglobina luego del consumo de las gomitas de remolacha. Este aumento no solo es producto de la biodisponibilidad de hierro proveniente de la harina de sangre bovina, también se debe a la interacción con compuestos como vitamina C, flavonoides y ácidos orgánicos que son nutrientes característicos de la remolacha y está comprobado que ayudan a la absorción del hierro (Ramachandran et al., 2024; Lesjak y Srai, 2019; Gillooly et al., 1983).

El efecto limitado observado en los niveles de hemoglobina de los niños a los que se les administró gomitas fortificadas con extracto de zanahoria, se explica en parte por el incumplimiento de una recomendación clave que se les dio a los padres de familia, quienes se comprometieron a acompañar el consumo de las gomitas fortificadas con una bebida cítrica para facilitar la absorción del hierro no hemínico. El incumplimiento de este compromiso pudo haber reducido la eficacia de las gomitas en este grupo de niños, lo cual impactó negativamente en los niveles de hemoglobina al final del experimento. En el futuro, sería importante probar formulaciones que incluyan zumo de limón como un insumo más de las gomitas fortificadas, ya que esto ha dado buenos resultados en otras investigaciones como las de Sumarlina et al. (2024). En otras investigaciones en las que probaron formulados de alimentos con zanahorias obtuvieron buenos resultados en cuanto a los incrementos en los niveles de hemoglobina, esto resalta la importancia de saber combinar los alimentos y bebidas para que la absorción del hierro sea la correcta en especial en edades tempranas donde es más recurrente las dietas mal balanceadas o monótonas (Astuti et al., 2019; Nnam et al., 2023).

En este contexto las gomitas fortificadas con remolacha se perfilan como la mejor opción en contextos rurales con limitaciones de alimentos ricos en hierro.

Por otro lado, la elección de insumos producidos localmente como la remolacha y la zanahoria, junto con una fuente de hierro animal con alta biodisponibilidad, está alineado con recomendaciones actuales para el éxito de intervenciones nutricionales sostenibles, culturalmente aceptables y que sean eficaces en la prevención y lucha contra la anemia infantil (UNICEF, 2023; Rahmani et al., 2025; Chouraqui, 2022; Sundararajan y Rabe, 2021).

Esta investigación contribuye con evidencias sobre la factibilidad de desarrollar alimentos funcionales que sean accesibles y culturalmente aceptados en comunidades rurales. Si bien el uso de ingredientes locales y la harina de sangre bovina mostraron su eficacia en la mejora de los niveles de hemoglobina, es necesario considerar la inclusión de nutrientes que favorezcan su absorción. Además, en base a los resultados podemos evidenciar que para que estas intervenciones sean exitosas es necesario que se haga un acompañamiento a las familias de los niños con los cuales se esté trabajando. Estos hallazgos contribuyen para el diseño de estrategias nutricionales eficientes en el control de la anemia que puedan ser impulsadas desde el sector público o privado.

CONCLUSIONES

Las gomitas formuladas con extracto de remolacha y harina de sangre bovina mostraron ser una buena opción para prevenir la anemia en niños de edad escolar en contextos rurales como Los Morochucos, esto gracias su buen contenido nutricional y su efectividad para incrementar los niveles de hemoglobina. Las gomitas formuladas con extractos de zanahoria mostraron limitaciones en su efectividad atribuibles a la falta de adherencia al consumo recomendado de bebidas cítricas. Sin embargo, ambas formulaciones presentaron inocuidad microbiológica y fueron un alimento seguro para el consumo humano.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alarcon, S. G. (2020). *Iron-deficiency anaemia (IDA): Socio-cultural misconceptions intersect the health of vulnerable populations in developing countries* [Tesis de licenciatura, Portland State University]. <https://doi.org/10.15760/honors.859>
- Astuti, I., Munigar, M., & Lukman, E. (2019). *The effect of the mixed juice of carrot and guava with iron supplement for adolescent with anemia*. En Proceedings of the 5th International Conference on Health Sciences (ICHS 2018). <https://doi.org/10.2991/ichs-18.2019.19>
- Athe, R., Rao, M. V. V., & Nair, K. M. (2014). Impact of iron-fortified foods on Hb concentration in children (<10 years): A systematic review and meta-analysis of randomized controlled

- trials. *Public Health Nutrition*, 17(3), 579–586.
<https://doi.org/10.1017/S1368980013000062>
- Ceclu, L., & Oana-Viorela, N. (2020). Red beetroot: Composition and health effects – A review. *Journal of Nutrition, Medicine and Diet Care*, 5(2), 1–9. <https://doi.org/10.23937/2572-3278.1510043>
- Chiroque, R. G. S., Santiago, H. P. C., Espinoza, L. E., Quispe, L. A. M., Tirado, L. R. P., Villegas, L. M. N., & Villegas, M. A. N. (2023). A review of slaughterhouse blood and its compounds, processing and application in the formulation of novel non-meat products. *Current Research in Nutrition and Food Science*, 11(2).
<http://dx.doi.org/10.12944/CRNFSJ.11.2.06>
- Chouraqui, J. P. (2022). Dietary approaches to iron deficiency prevention in childhood—A critical public health issue. *Nutrients*, 14(8), 1604. <https://doi.org/10.3390/nu14081604>
- Colegio Médico del Perú. (2023). *Informe del seminario La anemia infantil en el Perú: situación y retos, una nueva perspectiva*. <https://www.cmp.org.pe/wp-content/uploads/2023/11/INFORME-DEL-SEMINARIO-LA-ANEMIA-INFANTIL-EN-EL-PERU.pdf>
- Díaz-Llocclla, M. (2023). Formulación y evaluación sensorial de gomitas fortificadas con harina de sangre bovina a partir de extracto de zanahoria (*Daucus carota*), remolacha (*Beta vulgaris*) y espinaca (*Spinacia oleracea*). *AgroScience Research*, 1(2), 63–70.
<https://agroscienceresearch.com/index.php/journal>
- Di Foggia, M., Tugnoli, V., Rombolà, A. D., & Lucena, J. J. (2020). Testing a bovine blood-derived compound as iron supply on *Cucumis sativus* L. *Agronomy*, 10(10), 1480. <https://doi.org/10.3390/agronomy10101480>
- Di Rienzo, J. A. (2009). *InfoStat versión 2009*. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. <https://www.infostat.com.ar/>
- Espinosa, O. (2009). *Desafíos para la inserción en el mercado por parte de familias campesinas y de pequeños productores de cereales en la provincia de Cangallo, Ayacucho* [Informe].

- https://cies.org.pe/wp-content/uploads/2016/07/pequenos-productores-campesinos-de-la-provincia-de-cangallo_2_0.pdf
- Fernandez, M. V., Bengardino, M., Jagus, R. J., & Agüero, M. V. (2020). Enrichment and preservation of a vegetable smoothie with an antioxidant and antimicrobial extract obtained from beet by-products. *LWT*, 117, 108622. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108622>
- Gillooly, M., Bothwell, T. H., Torrance, J. D., MacPhail, A. P., Derman, D. P., Bezwoda, W. R., Mills, W., Charlton, R. W., & Mayet, F. (1983). The effects of organic acids, phytates and polyphenols on the absorption of iron from vegetables. *British Journal of Nutrition*, 49(3), 331–342. <https://doi.org/10.1079/BJN19830042>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2018). *Mapa de pobreza monetaria provincial y distrital 2018*. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1718/Libro.pdf
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2023). *Consulta por encuesta: Encuesta Demográfica y de Salud Familiar – ENDES*. https://proyectos.inei.gob.pe/microdatos/Consulta_por_Encuesta.asp
- Lesjak, M., & Srai, S. K. S. (2019). Role of dietary flavonoids in iron homeostasis. *Pharmaceuticals*, 12(3), 119. <https://doi.org/10.3390/ph12030119>
- Li, T., Deng, J., Liu, X., Duan, Q., Liu, H., & Xiong, S. (2021). DcCCD4 catalyzes the degradation of α -carotene and β -carotene to affect carotenoid accumulation and taproot color in carrot. *The Plant Journal*, 108(4), 1116–1130. <https://doi.org/10.1111/tpj.15498>
- Ligarda-Samanez, C. A., Villano-Limache, E., Pichihua-Oscco, W., Choque-Quispe, D., Sucari-León, R., Calderón Huamaní, D. F., et al. (2025). Physicochemical and sensory evaluation of gummy candies fortified with microcapsules of guinea pig (*Cavia porcellus*) blood erythrocytes and tumbo (*Passiflora tarminiana*) juice. *Applied Sciences*, 15(2), 917. <https://doi.org/10.3390/app15020917>

- Ministerio de Desarrollo e Inclusión Social (MIDIS). (2024). *Reporte regional de indicadores sociales de Ayacucho*.
<https://app.midis.gob.pe/redinforma/Upload/Mancomunidad/Ayacucho.pdf>
- Ministerio de Trabajo y Promoción del Empleo. (2022). *Estudio de la dinámica económico-laboral actual y tendencia en Ayacucho*.
<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/4042105/Diagn%C3%B3stico%20de%20Ayacucho.pdf>
- Ministerio de Salud (MINSA). (2024). *Avances y retos del plan multisectorial para la prevención y reducción de la anemia materno infantil en el Perú, 2024–2030*. Unidad Funcional de Alimentación y Nutrición Saludable, DGIESP – MINSA.
<https://intranet.mesadeconcertacion.org.pe/storage/documentos/2024-12-13/vf-avances-y-retos-del-plan-multisectorial-anemia-10122024-1-1.pdf>
- Nnam, N. M., Mbah, B. O., & Orisa, C. A. (2023). Anthropometric and biochemical indices of infants fed complementary foods developed from millets, orange-fleshed sweet potatoes, carrot, periwinkle and oyster meat flour blends. *American Journal of Food Science and Nutrition*, 5(2), 35–53. <https://doi.org/10.47672/ajfsn.1664>
- Pillaca, S., & Villanueva, M. (2015). Evaluación de seguridad alimentaria y nutricional en familias del distrito de Los Morochucos en Ayacucho, Perú. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 32(1), 73–79.
<https://doi.org/10.17843/rpmesp.2015.321.1577>
- Prosad, S., Jahan, F., Islam, B., Bashera, M. A., Hasan, M. D., Islam, M. J., et al. (2023). Nutritional characteristics and antiradical activity of turmeric (*Curcuma longa* L.), beetroot (*Beta vulgaris* L.), and carrot (*Daucus carota* L.) grown in Bangladesh. *Heliyon*, 9(11), e21495. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21495>
- Punia, S., Singh, A., Chaudhary, V., Sharma, N., & Lorenzo, J. M. (2023). Beetroot as a novel ingredient for its versatile food applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(26), 8403–8427. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2055529>

- Rahmani, S., Julaecha, J., Perwitasari, T., & Kusuma, R. (2025). Pemanfaatan pangan lokal untuk pencegahan anemia pada remaja putri di SMAS Adhyaksa 1 Kota Jambi. *Jurnal Akademika Baiturrahim Jambi*, 14(1), 113–125. <https://doi.org/10.36565/jab.v14i1.926>
- Ramachandran, S., Manthena, R., Gopi, C., & Dhanaraju, M. D. (2024). Enhancement of non-heme iron absorption from vegetable foods by using vitamin-C supplements in Wistar rats. *Research Journal of Pharmacy and Technology*, 17(5), 2224–2228. <https://doi.org/10.52711/0974-360X.2024.00350>
- Sabahi, S., Abbasi, A., & Mortazavi, S. A. (2024). Phenolic components from carrot (*Daucus carota* L.) pomace: Optimizing the extraction and assessing its potential antioxidant and antimicrobial activities. *Heliyon*, 10(17), e36971. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e36971>
- Sari, M., Bloem, M. W., De Pee, S., Schultink, W. J., & Sastroamidjojo, S. (2001). Effect of iron-fortified candies on the iron status of children aged 4–6 y in East Jakarta, Indonesia. *American Journal of Clinical Nutrition*, 73(6), 1034–1039. <https://doi.org/10.1093/ajcn/73.6.1034>
- Sumarlina, N., Rahayu, A., Sofa, I., Suhesti, L., Suryati, A., Danengsih, N., et al. (2024). Pumpkin jelly candy giving “Pororo gummy” (pumpkins and carrots to growth) to increase appetite in toddlers. *International Journal of Engagement and Empowerment*, 4(3), 365–372. <https://doi.org/10.53067/ije2.v4i3.183>
- Sundararajan, S., & Rabe, H. (2021). Prevention of iron deficiency anemia in infants and toddlers. *Pediatric Research*, 89(1), 63–73. <https://doi.org/10.1038/s41390-020-0907-5>
- Toft, U., Riis, N. L., & Jula, A. (2023). Potassium – a scoping review for Nordic Nutrition Recommendations 2023. *Nordic Nutrition Recommendations*, 68, 10365. <https://doi.org/10.29219/fnr.v68.10365>
- UNICEF. (2021). *Niñas, niños y adolescentes en el Perú. Análisis de su situación al 2020. Resumen ejecutivo*. <https://www.unicef.org/peru/media/12141/file/Resumen%20Ejecutivo:%20Situaci%C3%B3n%20de%20ni%C3%B1as,%20ni%C3%B1os%20y%20adolescentes%20en%20el%20Per%C3%BA%20.pdf>

- UNICEF. (2023). *Large-scale food fortification for the prevention of micronutrient deficiencies in children, women and communities: Guidance note (1st ed.)*. <https://www.unicef.org/media/151001/file/Large-scale%20food%20fortification%20for%20the%20prevention%20of%20micronutrient%20deficiencies%20in%20children,%20women%20and%20communities.pdf>
- Varshney, K., & Mishra, K. (2022). An analysis of health benefits of beetroot. *International Journal of Innovative Research in Engineering and Management*, 9(1), 207–210. <https://doi.org/10.55524/ijirem.2022.9.1.39>
- World Health Organization (WHO). (2025). *Anaemia*. https://www.who.int/health-topics/anaemia#tab=tab_1
- Xiao, Y., Yang, B., Ni, J., & Hu, R. (2024). Efficacy of an iron-fortified gummy on iron-deficiency anemia in young women. *Functional Foods in Health and Disease*, 14(2), 97–113. <https://doi.org/10.31989/ffhd.v14i1.1239>

ARTÍCULO ORIGINAL

Identificación de *Staphylococcus spp.* en teléfonos celulares de médicos, enfermeras y obstetras del Hospital de Apoyo II Santa Rosa

Identification of *Staphylococcus spp.* on the cell phones of doctors, nurses, and midwives at the Santa Rosa Support II Hospital

Aranda, J.¹ 

RESUMEN

Tiene como objetivo identificar *Staphylococcus spp.* en los teléfonos celulares de médicos, enfermeras y obstetras del Hospital de Apoyo II Santa Rosa, ubicado en Piura, Perú. La investigación, de carácter cuantitativo, descriptivo y longitudinal, se desarrolló entre agosto y noviembre de 2024. La muestra estuvo conformada por 92 médicos, 118 enfermeras y 19 obstetras. Para la recolección de datos, se limpió un área de 1 cm² de los dispositivos con hisopos estériles humedecidos en caldo BHI, los cuales se cultivaron en agar sangre al 5% y se incubaron a 37 °C durante 24 horas. La identificación de los microorganismos se confirmó utilizando el equipo automatizado MicroScan WalkAway 96 plus. De los 109 aislamientos obtenidos, se identificaron diversas especies de *Staphylococcus*. En los teléfonos de los médicos, se encontraron 40 aislamientos, destacando *Staphylococcus schleiferi subespecie coagulans* (11,01%) y *Staphylococcus hominis subespecie novobiosepticum* (10,09%). En las enfermeras, se detectaron 36 aislamientos, con predominio de *Staphylococcus haemolyticus* (12,84%), una especie asociada a resistencia antimicrobiana. En los obstetras, se identificaron 33 aislamientos, siendo *Staphylococcus epidermidis* (11,01%) la especie más frecuente. Los resultados demostraron que los teléfonos celulares del personal de salud actuaron como reservorios de diversas especies de *Staphylococcus*, con variaciones según el grupo profesional. Esto subrayó la necesidad de implementar medidas de bioseguridad, como protocolos de higiene y desinfección, así como programas de capacitación continua, para minimizar el riesgo de transmisión de infecciones nosocomiales en el ámbito hospitalario.

Palabras claves: Reservorio, bioseguridad, resistencia antimicrobiana

ABSTRACT

The objective of this study was to identify *Staphylococcus spp.* on the cell phones of physicians, nurses, and obstetricians at the Santa Rosa Support Hospital II, located in Piura, Peru. The quantitative, descriptive, and longitudinal research was conducted between August and November 2024. The sample consisted of 92 physicians, 118 nurses, and 19 obstetricians. For data collection, a 1 cm² area of the devices was cleaned with sterile swabs moistened in BHI broth, which were cultured on 5% blood agar and incubated at 37 °C for 24 hours. Microorganism identification was confirmed using the automated MicroScan WalkAway 96 plus system. Of the 109 isolates obtained, various *Staphylococcus* species were identified. Forty isolates were found on physicians' cell phones, with the most notable being *Staphylococcus schleiferi subspecies coagulans* (11,01%) and *Staphylococcus hominis subspecies novobiosepticum* (10,09%). Among nurses, 36 isolates were detected, with a predominance of *Staphylococcus haemolyticus* (12.84%), a species associated with antimicrobial resistance. Among obstetricians, 33 isolates were identified, with *Staphylococcus epidermidis* (11,01%) being the most common species. The results demonstrated that healthcare personnel's cell phones acted as reservoirs for various *Staphylococcus* species, with variations depending on the professional group. This underscored the need to implement biosafety measures, such as hygiene and disinfection protocols, as well as ongoing training programs, to minimize the risk of transmission of nosocomial infections in the hospital setting.

Keywords: Reservoir, biosafety, antimicrobial resistance

* Autor para correspondencia

¹ Universidad Nacional de Piura, Perú. Email: jhonar.93@hotmail.com

INTRODUCCIÓN

Staphylococcus es reconocido como uno de los principales agentes causantes de infecciones tanto en entornos hospitalarios como comunitarios a nivel global (Lakhundi & Zhang, 2018). Esta bacteria destaca por su capacidad para provocar infecciones en heridas (Serra et al., 2015) y afectar gravemente la piel y tejidos blandos (Daum, 2007). Además, es notable su habilidad para sobrevivir en condiciones ambientales adversas y resistir la acción de agentes antimicrobianos (Liu, 2009).

Perteneciente a la familia Micrococaceae, *Staphylococcus aureus* es un microorganismo Gram positivo y coagulasa positivo. Está asociado a diversas afecciones graves, como septicemia, endocarditis, osteomielitis, neumonía, síndrome de shock tóxico, intoxicaciones alimentarias, carbuncos y forúnculos. Estos cuadros clínicos son más frecuentes en pacientes con sistemas inmunológicos comprometidos. Esta bacteria coloniza principalmente la región anterior de las fosas nasales en adultos y niños, y se estima que entre el 20% y 40% de las personas sanas son portadoras asintomáticas. Su presencia es más elevada en individuos que laboran en el ámbito hospitalario, convirtiéndose en una fuente clave de infecciones estafilocócicas (Klein et al., 2009; Ramana et al., 2009).

Hasta la década de 1940, las cepas de *Staphylococcus* eran sensibles a la penicilina, el primer antibiótico empleado para su tratamiento a partir de 1941. No obstante, la aparición de cepas productoras de beta-lactamasas marcó el inicio de la resistencia a estos fármacos. Este fenómeno se debe principalmente a la incapacidad de los β -lactámicos para unirse a las proteínas fijadoras de penicilina (PBP), esenciales en la síntesis de la pared celular bacteriana. Entre estas, la PBP2a, una variante mutante de 78 kDa, juega un papel crucial al conferir resistencia a los β -lactámicos gracias a su alta expresión y baja afinidad por estos compuestos (Naghavi et al., 2024; Plata et al., 2009).

La síntesis de PBP2a está regulada por los genes *mec*, localizados en el genoma bacteriano. La emergencia de cepas de *Staphylococcus aureus* resistentes a la meticilina (MRSA) representa un desafío terapéutico significativo. El gen *mecA* codifica la PBP2a y es transportado por el casete genético SCC*mec* (Staphylococcal Cassette Chromosome *mec*), el cual incluye tres componentes principales: el complejo *ccr*, el complejo *mec* y las regiones J. Existen cinco tipos principales de SCC*mec* (I-VI), que determinan la resistencia a meticilina y otros β -lactámicos. La detección del gen *mecA* es

crucial para identificar la resistencia o susceptibilidad a meticilina. MRSA es resistente a antibióticos como penicilina, meticilina, nafcilina y oxacilina, posicionándose como uno de los patógenos más comunes a nivel mundial y causante de numerosas infecciones nosocomiales (Havaei et al., 2011, 2017).

Investigaciones han evidenciado que el personal de salud, incluyendo médicos, enfermeras y personal de apoyo, constituye una fuente frecuente de brotes de *Staphylococcus aureus* resistente en hospitales. Las cepas de MRSA identificadas en estos entornos se clasifican como MRSA asociado a la atención médica (HA-MRSA), mientras que las detectadas en la comunidad se denominan MRSA adquirido en la comunidad (CA-MRSA). El uso de teléfonos móviles facilita la transferencia de estafilococos desde la nariz hacia la superficie del dispositivo. Dada su resistencia a la desecación, la bacteria puede persistir en el teléfono, contaminando las manos y otros objetos, y propagándose a otras personas. Este fenómeno representa un riesgo significativo para el personal hospitalario, incluyendo médicos, enfermeras y otros profesionales de la salud (Hosseini et al., 2014; Otter & French, 2010; Rezazadeh et al., 2013)

MATERIALES Y MÉTODOS

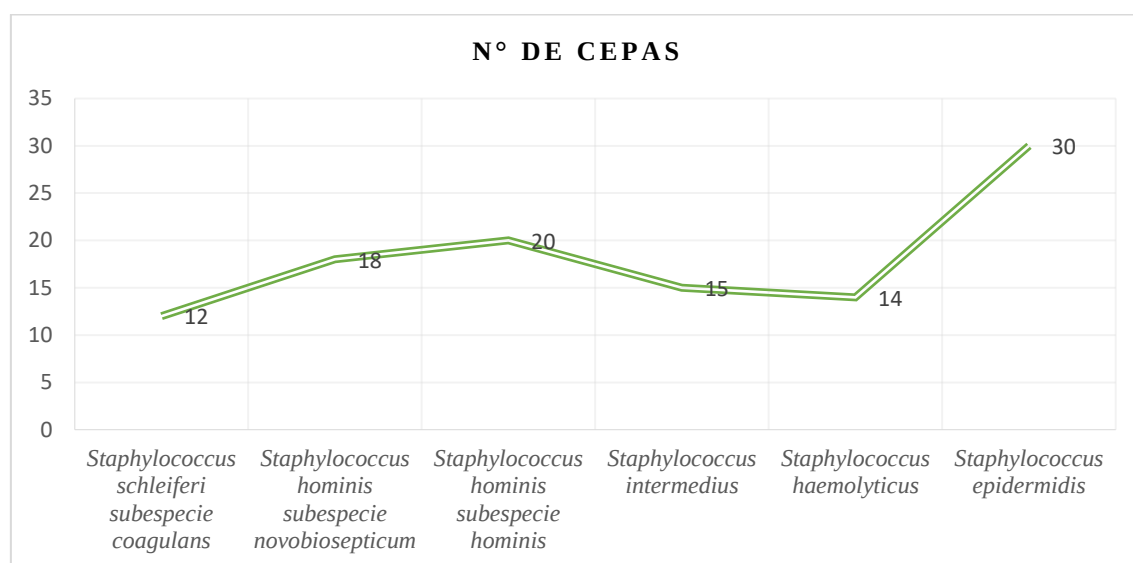
Se desarrolló una investigación de enfoque cuantitativo, descriptivo y longitudinal con el propósito de identificar *Staphylococcus* spp. en teléfonos celulares de médicos y enfermeras del Hospital de Apoyo II Santa Rosa, en Piura, Perú. El estudio incluyó a 226 celulares de médicos, 289 celulares de enfermeras, 46 celulares de obstetras, de los cuales se seleccionó una muestra de 92 médicos, 118 enfermeras, 19 obstetras mediante un cálculo proporcional basado en el tamaño de la población total. Para la recolección de datos, se limpió un área de 1 cm² de la superficie de los teléfonos celulares con hisopos estériles humedecidos en caldo BHI, los cuales fueron transportados al laboratorio en condiciones de refrigeración a 4 °C (Jeske et al., 2007). Posteriormente, las muestras se cultivaron en placas de agar sangre al 5% y se incubaron a 37 °C durante 24 horas. La identificación de los microorganismos se realizó mediante técnicas como la tinción de Gram, pruebas de catalasa y coagulasa, y se confirmó utilizando el sistema automatizado Microscan Walkaway 96 plus (Chavez Hernández, 2023; Michilot Calvay, 2020).

RESULTADOS

Durante el análisis de un total de 109 aislamientos obtenidos, se identificaron diversas especies de *Staphylococcus spp.* De estos, 12 correspondieron a *Staphylococcus schleiferi* subespecie *coagulans*, lo que representó un 11.01% del total. Además, se detectaron 18 aislamientos de *Staphylococcus hominis* subespecie *novobiosepticum*, constituyendo el 16,51% de las muestras. También se encontraron 20 aislamientos de *Staphylococcus hominis* subespecie *hominis*, lo que constituyó un 18.35% del total. Por otro lado, se aislaron 30 aislamientos de *Staphylococcus epidermidis*, lo que representó un 27,52%. Asimismo, se hallaron 15 aislamientos de *Staphylococcus intermedius*, que correspondieron a un 13,76%. Finalmente, se identificaron 14 aislamientos de *Staphylococcus haemolyticus*, lo que representó el 12,84% del total.

Figura 1.

Distribución de especies de *Staphylococcus spp.* identificadas en los teléfonos celulares de médicos, enfermeras y obstetras del Hospital de Apoyo II Santa Rosa, Piura, durante el periodo comprendido entre agosto y noviembre de 2024.

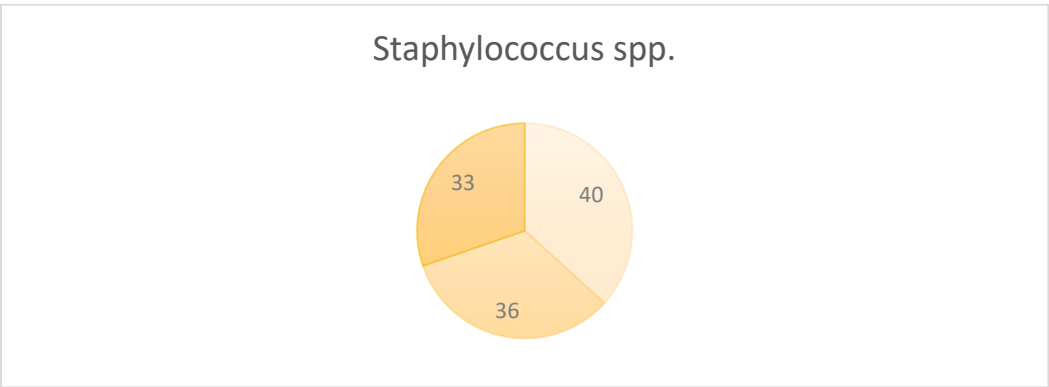


Nota: Nota: Prevalencia de especies de *Staphylococcus spp.* en 109 aislamientos. *S. epidermidis* fue la más frecuente (27.52%).

De un total de 109 aislamientos obtenidos, 40 correspondieron a los teléfonos de médicos, lo que representó aproximadamente el 36,70 % del total; 36 aislamientos provinieron de los teléfonos de enfermeras, lo que equivalió al 33,03 %; y 33 aislamientos se detectaron en los teléfonos de obstetras, lo que constituyó el 30,28 % restante.

Figura 2.

Distribución de las cepas de *Staphylococcus* spp., obtenidas a partir de los hisopados realizados en los teléfonos celulares de médicos, enfermeras y obstetras del Hospital de Apoyo II Santa Rosa, Piura, durante el periodo de agosto a noviembre de 2024.



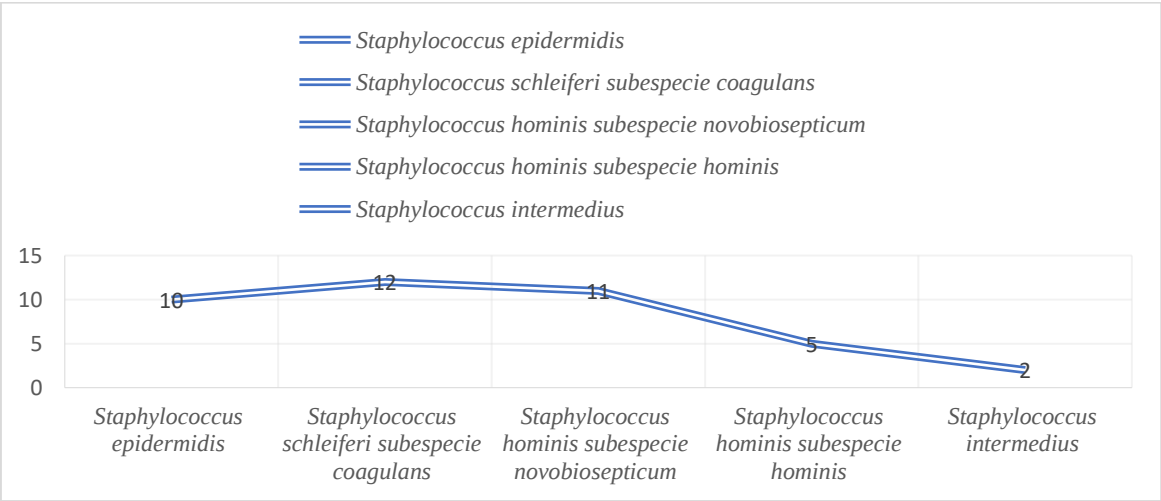
Nota: Distribución de los 109 aislamientos por grupo profesional. Mayor carga en teléfonos de médicos (36.70%).

De un total de 109 aislamientos de *Staphylococcus* spp., obtenidos mediante hisopados de los teléfonos celulares de médicos, enfermeras y obstetras, se distribuyeron 40 aislamientos en médicos, 36 en enfermeras y 33 en obstetras, considerando las especies identificadas y los porcentajes correspondientes.

En los teléfonos celulares de los médicos, se identificaron 40 aislamientos distribuidos de la siguiente manera: *Staphylococcus epidermidis* (10 aislamientos, 9.17%), *Staphylococcus schleiferi* subespecie *coagulans* (12 aislamientos, 11.01%), *Staphylococcus hominis* subespecie *novobiosepticum* (11 aislamientos, 10.09%), *Staphylococcus hominis* subespecie *hominis* (5 aislamientos, 4.59%) y *Staphylococcus intermedius* (2 aislamientos, 1.83%).

Figura 3.

Staphylococcus spp. aislados en hisopados en teléfonos celulares de médicos.

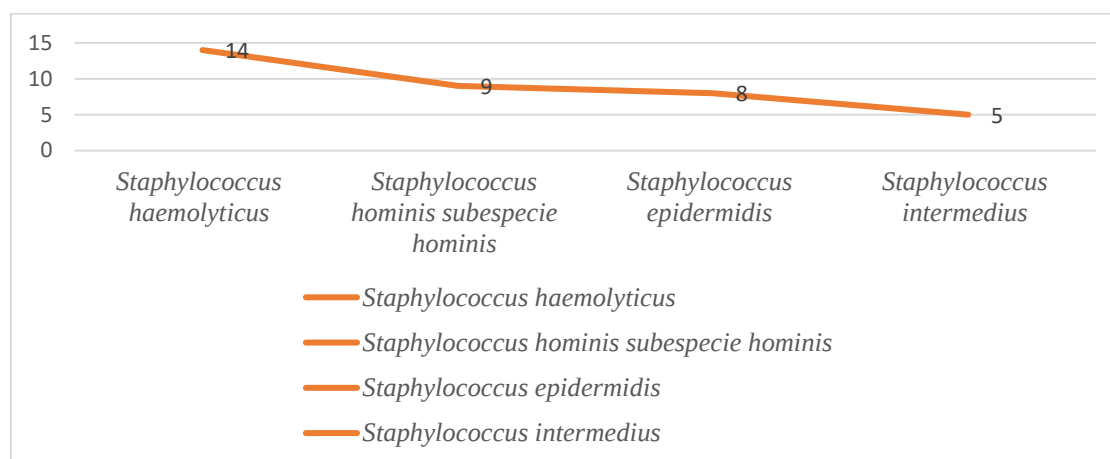


Nota: *Staphylococcus* spp. en médicos (n=40). Predominio de *S. schleiferi* subsp. *coagulans* (11.01% del total).

En los teléfonos celulares de las enfermeras, se identificaron 36 aislamientos distribuidos de la siguiente manera: *Staphylococcus haemolyticus* (14 aislamientos, 12,84%), *Staphylococcus hominis* subespecie *hominis* (9 aislamientos, 8,26%), *Staphylococcus epidermidis* (8 aislamientos, 7,34%) y *Staphylococcus intermedius* (5 aislamientos, 4,59%).

Figura 4.

Staphylococcus spp. aislados en hisopados en teléfonos celulares de enfermeras.

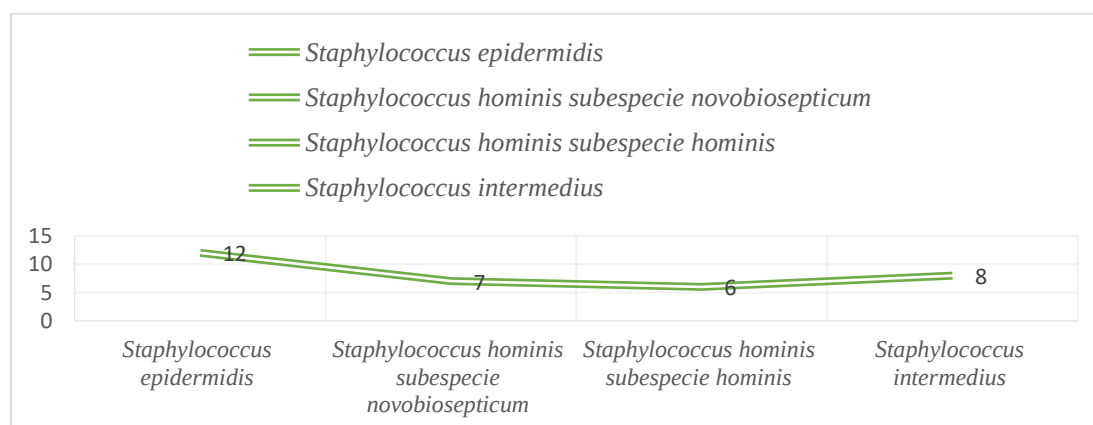


Nota: *Staphylococcus* spp. en enfermeras (n=36). Predominio de *S. haemolyticus* (12,84% del total).

En los teléfonos celulares de los obstetras, se obtuvieron 33 aislamientos distribuidos entre *Staphylococcus epidermidis* (12 aislamientos, 11,01%), *Staphylococcus hominis* subespecie *novobiosepticum* (7 aislamientos, 6,42%), *Staphylococcus hominis* subespecie *hominis* (6 aislamientos, 5,50%) y *Staphylococcus intermedius* (8 aislamientos, 7,34%). En este grupo, la alta frecuencia de *Staphylococcus epidermidis* reafirmó su importancia como una de las especies más comunes en entornos hospitalarios.

Figura 5.

Staphylococcus spp. aislados en hisopados de teléfonos de obstetras



Nota: *Staphylococcus* spp. en obstetras (n=33). Predominio de *S. epidermidis* (11,01% del total).

DISCUSIÓN

En el Hospital de Apoyo II Santa Rosa, Piura, se identificaron 109 aislamientos de *Staphylococcus* spp. en los teléfonos celulares del personal de salud, distribuidos de la siguiente manera: *Staphylococcus epidermidis* (27,52%), *Staphylococcus hominis subespecie novobiosepticum* (16,51%), *Staphylococcus hominis subespecie hominis* (18,35%), *Staphylococcus schleiferi subespecie coagulans* (11,01%), *Staphylococcus intermedius* (13,76%) y *Staphylococcus haemolyticus* (12,84%). Estos resultados reflejan una diversidad significativa de especies de *Staphylococcus* en los teléfonos celulares del personal médico, enfermeras y obstetras, lo que sugiere que estos dispositivos son reservorios importantes de bacterias en entornos hospitalarios.

A nivel internacional, estos hallazgos son consistentes con estudios como el de (Miranda Maldonado & Polo Morales, 2015) en Ecuador, donde *Staphylococcus epidermidis* fue la especie más frecuente (30,7%) en teléfonos celulares del personal de salud. Asimismo, Colombia, (Rodríguez et al., 2017) identificaron *Staphylococcus* spp. como una de las bacterias más comunes en teléfonos celulares, lo que refuerza la idea de que estas especies son frecuentes en dispositivos personales. En Venezuela, (Paz-Montes et al., 2015) también encontraron que *Staphylococcus* spp. predominaba en los teléfonos celulares del personal de laboratorio, lo que sugiere que estos dispositivos son reservorios importantes de bacterias coagulasa negativas.

A nivel nacional, los resultados de este estudio son similares a los reportados por (Otazu Velarde et al., 2023) en Cuzco, donde *Staphylococcus coagulasa negativa* fue la especie más frecuente (37,5%) en teléfonos celulares de estudiantes de medicina. Además, en Huancayo, (Espinoza Mallma, 2017) identificó *Staphylococcus epidermidis* como la bacteria más común (30,43%) en teléfonos celulares del personal de salud, lo que coincide con los hallazgos de este trabajo. Estos resultados sugieren que *S. epidermidis* y otras especies de *Staphylococcus coagulasa negativa* son habitantes frecuentes de dispositivos personales en entornos hospitalarios, probablemente debido a su capacidad para colonizar superficies y su resistencia a condiciones adversas.

La presencia de *Staphylococcus haemolyticus* (12,84%) y *Staphylococcus intermedius* (13,76%) en este estudio también es relevante, ya que estas especies han sido asociadas con infecciones nosocomiales y resistencia antimicrobiana. Estudios como el de (Ochoa Yumbra et al., 2024) en Ecuador han demostrado que *S. haemolyticus* y *S. intermedius*

pueden ser patógenos oportunistas, especialmente en pacientes inmunocomprometidos. Esto subraya la importancia de implementar medidas de control de infecciones para prevenir la propagación de estas bacterias a través de dispositivos personales.

CONCLUSIÓN

En este estudio, se identificó una distribución significativa de diversas especies de *Staphylococcus* en los teléfonos celulares del personal de salud del Hospital de Apoyo II Santa Rosa, Piura. Entre los médicos, se encontraron 40 aislamientos, siendo *Staphylococcus schleiferi* subespecie *coagulans* la más frecuente (11,01%), seguida de *Staphylococcus hominis* subespecie *novobiosepticum* (10,09%) y *Staphylococcus epidermidis* (9,17%). Estos resultados sugieren que los médicos, debido a su constante interacción con pacientes y superficies hospitalarias, están expuestos a una mayor variedad de especies bacterianas, lo que podría aumentar el riesgo de transmisión de infecciones nosocomiales.

En el caso de las enfermeras, se detectaron 36 aislamientos, con una predominancia de *Staphylococcus haemolyticus* (12,84%), seguido de *Staphylococcus hominis* subespecie *hominis* (8,26%) y *Staphylococcus epidermidis* (7,34%). La presencia de *S. haemolyticus* es particularmente preocupante, ya que esta especie ha sido asociada con resistencia antimicrobiana y su capacidad para causar infecciones en pacientes inmunocomprometidos. Estos hallazgos resaltan la necesidad de reforzar las prácticas de higiene y desinfección entre el personal de enfermería, quienes tienen un contacto frecuente con dispositivos médicos y pacientes.

Finalmente, en los obstetras se identificaron 33 aislamientos, donde *Staphylococcus epidermidis* fue la especie más frecuente (11,01%), seguida de *Staphylococcus intermedius* (7,34%) y *Staphylococcus hominis* subespecie *novobiosepticum* (6,42%). La alta prevalencia de *S. epidermidis* en este grupo reafirma su papel como uno de los principales colonizadores de dispositivos personales en entornos hospitalarios. Estos resultados subrayan la importancia de implementar medidas de bioseguridad específicas para cada grupo de personal de salud, con el fin de reducir la contaminación bacteriana en sus dispositivos celulares y prevenir la propagación de infecciones nosocomiales.

En conclusión, los resultados obtenidos demuestran que los teléfonos celulares del personal de salud son reservorios importantes de diversas especies de *Staphylococcus*, con variaciones en su distribución según el grupo profesional. La implementación de

protocolos de higiene y desinfección, junto con la educación continua, son estrategias clave para minimizar el riesgo de transmisión de estas bacterias y mejorar la seguridad en los entornos hospitalarios.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Chavez Hernández, C. J. (2023). Frecuencia y susceptibilidad antimicrobiana en urocultivos del Hospital Augusto Hernández, Ica 2018. *Universidad Nacional Federico Villarreal*. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/renati/3051909>
- Espinoza Mallma, A. (2017). Contaminación de Bacterias Patógenas en Teléfonos Celulares del Personal de Salud del Hospital Daniel Alcides Carrión - Huancayo. *Universidad Peruana Los Andes*. <http://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/153>
- Havaei, S. A., Halaji, M., Vidovic, S., Dillon, J. A. R., Karbalaee, M., Ghanbari, F., Namvar, A. E., Esfahani, B. N., Havaei, S. M., & Azimian, A. (2017). Prevalence and genotyping of methicillin-resistant and – susceptible Staphylococcus aureus strains isolated from patients in a university hospital, Isfahan, Iran. *Jundishapur Journal of Microbiology*, 10(5). <https://doi.org/10.5812/JJM.13571>
- Havaei, S. A., Vidovic, S., Tahmineh, N., Mohammad, K., Mohsen, K., Starnino, S., & Dillon, J. A. R. (2011). Epidemic methicillin-susceptible Staphylococcus aureus lineages are the main cause of infections at an Iranian University Hospital. *Journal of Clinical Microbiology*, 49(11), 3990–3993. <https://doi.org/10.1128/JCM.05445-11>
- Hossein, M., Poor, S., Mansouri, S., & Saeid Adeli, N. (2014). Prevalence of Methicillin-Resistant Staphylococcus aureus (MRSA) and Antibiotic Resistance Patterns of the Isolates from the Nose of Training Soldiers in Kerman in 2012. *Iranian Journal of Medical Microbiology*, 8(3), 15–21. <http://ijmm.ir/article-1-348-en.html>
- Jeske, H. C., Tiefenthaler, W., Hohlrieder, M., Hinterberger, G., & Benzer, A. (2007). Bacterial contamination of anaesthetists' hands by personal mobile phone and fixed phone use in the operating theatre. *Anaesthesia*, 62(9), 904–906. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2044.2007.05172.x>
- Klein, E., Smith, D. L., & Laxminarayan, R. (2009). Community-associated methicillin-resistant Staphylococcus aureus in outpatients, United States, 1999-2006. *Emerging Infectious Diseases*, 15(12), 1925–1930. <https://doi.org/10.3201/EID1512.081341>
- Lakhundi, S., & Zhang, K. (2018). Methicillin-Resistant Staphylococcus aureus: Molecular Characterization, Evolution, and Epidemiology. *Clinical Microbiology Reviews*, 31(4). <https://doi.org/10.1128/CMR.00020-18>,
- Liu, G. Y. (2009). Molecular Pathogenesis of Staphylococcus aureus Infection. *Pediatric Research*, 65(5 Pt 2), 71R. <https://doi.org/10.1203/PDR.0B013E31819DC44D>
- Michilot Calvay, K. G. (2020). Frecuencia de staphylococcus aureus resistentes a meticilina aislados en fosas nasales en el personal del Hospital Regional José Cayetano Heredia de la ciudad de Piura, Perú. *Universidad Nacional de Piura*. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/renati/963992>
- Miranda Maldonado, H. E., & Polo Morales, D. A. (2015). *Teléfonos celulares como fuente de contaminación de bacterias patógenas en el personal de salud del Hospital de los Valles*,

- Cumbayá, Ecuador en Noviembre 2014. PUCE - Quito. <https://repositorio.puce.edu.ec/handle/123456789/29820>
- Naghavi, M., Vollset, S. E., Ikuta, K. S., Swetschinski, L. R., Gray, A. P., Wool, E. E., Robles Aguilar, G., Mestrovic, T., Smith, G., Han, C., Hsu, R. L., Chalek, J., Araki, D. T., Chung, E., Raggi, C., Gershberg Hayoon, A., Davis Weaver, N., Lindstedt, P. A., Smith, A. E., ... Murray, C. J. L. (2024). Global burden of bacterial antimicrobial resistance 1990–2021: a systematic analysis with forecasts to 2050. *The Lancet*, 404(10459), 1199–1226. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(24\)01867-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(24)01867-1)
- Ochoa Yumbra, C. del C., Arteaga Sarmiento, S. D., Ochoa Yumbra, C. del C., & Arteaga Sarmiento, S. D. (2024). Especies bacterianas en superficies de ambulancias del servicio de atención de salud móvil, Azogues - Ecuador. *Vive Revista de Salud*, 7(21), 658–669. <https://doi.org/10.33996/REVISTAVIVE.V7I21.330>
- Otazu Velarde, Y. X., Linares Villegas, C. N., & Quispe Condemayta, E. N. (2023). Sensibilidad antimicrobiana de Enterobacterias aisladas en infecciones urinarias de pacientes ambulatorios en el Hospital III Goyeneche, año 2020. *Universidad Continental*. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/renati/2129870>
- Otter, J. A., & French, G. L. (2010). Molecular epidemiology of community-associated methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* in Europe. *The Lancet. Infectious Diseases*, 10(4), 227–239. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(10\)70053-0](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(10)70053-0)
- Paz-Montes, A., Fuenmayor-Boscán, A., Sandra, L., Colmenares, J., Marín, M., & Rodríguez, E. (2015). Riesgo microbiológico asociado al uso de teléfonos móviles en laboratorios clínicos hospitalarios de Maracaibo-Venezuela. *Kasmera*, 43(2), 148–157. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0075-52222015000200007&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Plata, K., Rosato, A. E., & Wegrzyn, G. (2009). *Staphylococcus aureus* as an infectious agent: Overview of biochemistry and molecular genetics of its pathogenicity. *Acta Biochimica Polonica*, 56(4), 597–612. https://doi.org/10.18388/ABP.2009_2491
- Ramana, K. V., Mohanty, S. K., & Wilson, C. G. (2009). *Staphylococcus aureus* colonization of anterior nares of school going children. *Indian Journal of Pediatrics*, 76(8), 813–816. <https://doi.org/10.1007/S12098-009-0159-1>
- Rezazadeh, M., Yousefi Mashouf, R., Sarmadyan, H., & Ghaznavi-Rad, E. (2013). Antibiotic Profile of Methicillin-Resistant *Staphylococcus Aureus* With Multiple-Drug Resistances Isolated from Nosocomial Infections in Vali-Asr Hospital of Arak. *Journal of Arak University of Medical Sciences*, 16(2), 29–37. <https://doi.org/10.32598/JAMS>
- Rodríguez, J. S. H., Romero, J. T. M., García, C. A. B., & Rodríguez, I. A. M. (2017). Prevalencia y Patrones de Sensibilidad de Microorganismos Aislados en Celulares y Estetoscopios de Estudiantes de Medicina de Pregrado y Posgrado Rotando en un Hospital de 4 Nivel en Bogotá, D.C. *Revista Cuarzo*, 23(1), 10–23. <https://doi.org/10.26752/CUARZO.V23.N1.163>
- Serra, R., Grande, R., Butrico, L., Rossi, A., Settimio, U. F., Caroleo, B., Amato, B., Gallelli, L., & De Franciscis, S. (2015). Chronic wound infections: the role of *Pseudomonas aeruginosa* and *Staphylococcus aureus*. *Expert Review of Anti-Infective Therapy*, 13(5), 605–613. <https://doi.org/10.1586/14787210.2015.1023291>

ARTÍCULO ORIGINAL

Detección y perfil de susceptibilidad antibiótica de bacterias potencialmente patógenas aisladas de estetoscopios utilizados por internos de medicina, enfermería y obstetricia en el Hospital Jorge Reátegui Delgado, Piura

Detection and antibiotic susceptibility profiling of potentially pathogenic bacteria isolated from stethoscopes used by medical, nursing and obstetrics interns at the Jorge Reátegui Delgado Hospital, Piura

Aranda, J. ¹ 

RESUMEN

Detectar bacterias multirresistentes potencialmente patógenas en estetoscopios del Hospital Jorge Reátegui Delgado (Piura). Se realizó un estudio descriptivo y transversal entre diciembre de 2022 y marzo de 2023. Se obtuvieron muestras por hisopado de 229 estetoscopios en seis áreas hospitalarias, las cuales se cultivaron en caldo BHI y agar MacConkey, se identificaron mediante el sistema MicroScan Walkaway 96 Plus. El estudio analizó 90 bacterias aisladas de estetoscopios de internos, encontrando mayor contaminación en enfermería (57.8%) que en medicina (34.4%) y obstetricia (7.8%). Predominaron las Gram positivas (54.4%), siendo *Staphylococcus epidermidis* (42.9%) y *S. aureus* (38.7%) las más frecuentes. Las Gram negativas (45.6%) incluyeron *E. coli* (24.4%), *K. pneumoniae*, *P. aeruginosa* y *A. baumannii* (19.5% cada una). La UVI, Medicina y Pediatría concentraron el 61.1% de los aislamientos. La mayoría de especies identificadas son de alto riesgo y con perfiles de resistencia documentados. Los estetoscopios son fómites críticos de transmisión de bacterias multidrogorresistentes. Los internos de enfermería presentan mayor riesgo, evidenciando brechas en formación en control de infecciones. Se requiere desinfección obligatoria entre pacientes, educación continua específica para internos y vigilancia microbiológica periódica para prevenir la diseminación de patógenos de alto riesgo en el hospital.

Palabras clave: estetoscopios, fómites, vectores de transmisión.

ABSTRACT

Detecting potentially pathogenic multidrug-resistant bacteria on stethoscopes at Jorge Reátegui Delgado Hospital (Piura). A descriptive, cross-sectional study was conducted between December 2022 and March 2023. Swab samples were obtained from 229 stethoscopes in six hospital areas. These samples were cultured in BHI broth and MacConkey agar and identified using the MicroScan Walkaway 96 Plus system. The study analyzed 90 bacteria isolated from stethoscopes used by residents, finding higher contamination rates in nursing (57.8%) than in medicine (34.4%) and obstetrics (7.8%). Gram-positive bacteria predominated (54.4%), with *Staphylococcus epidermidis* (42.9%) and *S. aureus* (38.7%) being the most frequent. Gram-negative bacteria (45.6%) included *E. coli* (24.4%), *K. pneumoniae*, *P. aeruginosa*, and *A. baumannii* (19.5% each). The ICU, Internal Medicine, and Pediatrics wards accounted for 61.1% of the isolates. Most of the identified species are high-risk and have documented resistance profiles. Stethoscopes are critical fomites for the transmission of multidrug-resistant bacteria. Nursing interns are at higher risk, highlighting gaps in infection control training. Mandatory disinfection between patients, specific continuing education for interns, and periodic microbiological surveillance are required to prevent the spread of high-risk pathogens in the hospital.

Keywords: stethoscopes, fomites, transmission vectors.

* Autor para correspondencia

¹ Universidad Nacional de Piura, Perú. Email: jhonar.93@hotmail.com

INTRODUCCIÓN

Las Infecciones Asociadas a la Atención de la Salud (IAAS) representan uno de los desafíos más significativos en la salud pública global, constituyendo una causa principal de morbilidad y mortalidad intrahospitalaria. Estas infecciones, difíciles de tratar debido a la creciente amenaza de la Resistencia Antimicrobiana (RAM), imponen una carga económica sustancial a los sistemas de salud y afectan de manera desproporcionada a los países de ingresos bajos y medios (World Health Organization, 2011). En este contexto, los objetos de uso médico frecuente se convierten en vectores de transmisión críticos, pero a menudo subestimados.

Entre estos, el estetoscopio, un instrumento emblemático y de uso universal en la práctica clínica diaria, ha sido identificado por numerosa evidencia científica como un reservorio potencial de microorganismos patógenos, incluidas bacterias multirresistentes (Núñez et al., 2000). Su superficie, particularmente el diafragma, actúa como un fómite que puede facilitar la transmisión cruzada de patógenos entre pacientes y personal de salud, comprometiendo los esfuerzos de control de infecciones.

Desde un enfoque epidemiológico internacional, la literatura científica reporta de manera consistente una elevada prevalencia de contaminación en estos dispositivos. Estudios realizados en diversas regiones del mundo, incluyendo Europa, América del Norte, Asia y África, documentan tasas de contaminación que varían entre el 78% y el 92% (Jovanovic et al., 2024). Dentro de los microorganismos aislados destacan patógenos de prioridad crítica, como *Staphylococcus aureus* resistente a la meticilina (MRSA), *Pseudomonas aeruginosa* y Enterobacterales resistentes a múltiples fármacos (Laizer et al., 2025). Por ejemplo, en Nigeria, una investigación encontró que el 78.5% de los estetoscopios estaban contaminados, con una alta prevalencia de *S. aureus* (Uneke & Ijeoma, 2010). De manera similar, en India, de 100 estetoscopios cultivados, 56 presentaron contaminación con al menos un microorganismo. *Acinetobacter sp.* fue el contaminante más común, seguido de *Klebsiella pneumoniae*. Tres de doce cepas de *S. aureus* mostraron resistencia a la meticilina. Los estetoscopios utilizados en urgencias presentaron mayor contaminación que los utilizados en salas y consultas externas. A pesar del 100% de concienciación entre el personal sanitario, solo el 70% de quienes lo practican con regularidad son conscientes de la importancia de la limpieza de los estetoscopios. (Datta et al., 2018). Un estudio descriptivo transversal se realizó en España para analizar la carga de bacterias en las cofias de los alumnos de enfermería de la Universidad Americana durante el año 2024.

Se tomaron 40 muestras de cofias y se cultivaron en medios selectivos para ser procesadas bacteriológicamente.

Una alta prevalencia de colonización bacteriana fue lo que mostraron los resultados, con predominancia de bacilos Gram negativos. Se determinaron como relevantes a nivel clínico algunos géneros bacterianos, entre los que se incluyen *Enterococcus*, *Escherichia coli*, *Proteus sp.*, *Shigella sp.*, *Klebsiella sp.* y *Enterobacter*. Estos descubrimientos destacan el valor de las cofias como potenciales reservorios para patógenos nosocomiales y enfatizan la urgencia de aplicar medidas más severas de control de infecciones en los ámbitos clínico y académico (Cajar et al., 2025).

A nivel nacional, en el Perú, la situación refleja esta preocupante tendencia global. Un estudio realizado en el Hospital Nacional Arzobispo Loayza de Lima encontró que el 91.9% de los estetoscopios muestreados estaban contaminados con bacterias, *incluyendo Staphylococcus coagulasa negativo* (86.1%), *S. aureus* (4%) y bacilos Gram negativos como *Pseudomonas aeruginosa* y *Klebsiella pneumoniae* (Oliva-Menacho et al., 2016). Estos datos resaltan una realidad crítica dentro del sistema de salud peruano, donde la alta contaminación de este instrumento de diagnóstico omnipresente podría estar contribuyendo silenciosamente a la endemidad de las IAAS y a la propagación de la RAM.

Por lo tanto, evaluar el nivel de contaminación bacteriana en los estetoscopios no es solo un ejercicio microbiológico, sino una investigación de salud pública esencial. Comprender la magnitud de este problema, los perfiles de resistencia y las prácticas de desinfección asociadas es un paso fundamental para desarrollar estrategias efectivas de control y prevención, a proteger a los pacientes y al personal de salud, y a mitigar una de las vías de transmisión de patógenos dentro del entorno sanitario.

Esta investigación tiene como objetivo detectar y determinar el perfil de susceptibilidad antibiótica de bacterias potencialmente multidrogorresistentes aisladas de estetoscopios utilizados por médicos, enfermeros y obstetras del Hospital Jorge Reátegui Delgado, Piura.

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño y población de estudio:

Se realizó un estudio transversal y descriptivo para evaluar bacterias potencialmente patógenas multirresistentes en estetoscopios utilizados por personal de salud en el Hospital Jorge Reátegui Delgado.

El diseño incluyó muestreo sistemático en seis áreas hospitalarias (Cirugía, Consultorios Externos, Neonatología, Pediatría, Sala de Operaciones y UVI), con análisis microbiológico estandarizado y evaluación automatizada de resistencia antimicrobiana.

La población comprendió mediante muestreo proporcional, se seleccionó 229 participantes (92 médicos, 118 enfermeras, 19 obstetras). Los estetoscopios muestreados (n=229) pertenecían a personal clínico activo, enfocándose en superficies de contacto directo (diafragma y olivas).

Variables y mediciones

La variable principal fue la presencia de bacterias multirresistentes en estetoscopios, considerada cualitativa dicotómica (presente/ausente). Entre las variables secundarias se incluyeron el tipo de bacteria aislada, de naturaleza cualitativa nominal (por ejemplo, *P. stutzeri*, *B. cepacia*, entre otras), y el perfil de sensibilidad antimicrobiana, clasificado cualitativamente como sensible, intermedio o resistente. Asimismo, se consideraron el área hospitalaria, definida como cualitativa nominal según las seis áreas evaluadas, y el tipo de profesional, también cualitativa nominal, incluyendo médicos, enfermeras y obstetras. La medición de la variable principal se llevó a cabo mediante el aislamiento e identificación microbiológica utilizando el sistema Microscan Walkaway 96 Plus.

En el caso del procedimiento el muestreo, se hisopó un área de 1 cm² del diafragma y olivas con hisopos estériles humedecidos en caldo BHI. Las muestras se transportaron a 4°C al laboratorio dentro de las 2 horas posteriores (Smith et al., 1996; Uneke & Ijeoma, 2010).

El procesamiento microbiológico se realizó mediante cultivo en agar MacConkey, agar Manitol salado y agar sangre al 5%, con incubación a 37 °C durante 24 a 48 horas. La identificación bacteriana se llevó a cabo mediante tinción de Gram, pruebas bioquímicas como oxidasa y catalasa, así como con el sistema MicroScan Walkaway 96 Plus (Brady et al., 2009). Posteriormente, para el análisis de resistencia, se utilizaron paneles MicroScan® Combo (66) con el fin de determinar los perfiles de sensibilidad, realizándose la interpretación automatizada de la concentración inhibitoria mínima (CIM) de acuerdo con los estándares establecidos por CLSI/EUCAST (Lewis et al., 2024).

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos fueron procesados en el software SPSS versión 25.0. Se empleó estadística descriptiva para el análisis. Las variables cualitativas se expresaron como frecuencias (n) y porcentajes (%). No se realizaron pruebas estadísticas inferenciales debido al diseño descriptivo del estudio y al tamaño muestral.

CONSIDERACIONES ÉTICAS

El protocolo del estudio fue revisado y aprobado por el comité de ética de la Universidad Nacional de Piura N°006-FCC-UNP-2022 posteriormente entregado al Hospital Jorge Reátegui Delgado. Se solicitó el consentimiento informado por escrito a cada participante, explicando los objetivos y procedimientos del estudio, y garantizando la confidencialidad de sus datos bajo los principios de la Declaración de Helsinki. El estudio fue clasificado como de riesgo mínimo.

RESULTADOS

Se aisló un total de 90 bacterias en los estetoscopios de internos, siendo más frecuentes en internos de enfermería (57.8%), seguidos por internos de medicina (34.4%) e internos de obstetricia (7.8%). Predominaron las bacterias Gram positivas con 49 aislamientos (62.4%) sobre las Gram negativas con 41 aislamientos (37.6%). Este patrón se mantuvo consistentemente en las tres categorías de internos.

Tabla 1.

Bacterias potencialmente multidrogorresistentes encontradas en estetoscopios clínicos de internos.

	Internos de medicina	Internos de enfermería	Internos de obstetricia
Gram positivos	17 (54,8%)	30 (57,7%)	2 (28,6%)
Gram negativos	14 (45,2%)	22 (42,3%)	5 (71,4%)
Total	31 (100%)	52 (100%)	7 (100%)

Nota: Los porcentajes representan la proporción de cada grupo bacteriano dentro del total de cada categoría de internos.

En los internos se identificaron 49 aislamientos de bacterias Gram positivas en estetoscopios, distribuidos entre Medicina (17), Enfermería (30) y Obstetricia (2). Las especies aisladas fueron *Staphylococcus aureus* (38.7%), *Staphylococcus epidermidis* (42.9%) y *Staphylococcus haemolyticus* (18.4%). En conjunto, los hallazgos evidenciaron que los internos de Enfermería presentaron la mayor carga de contaminación, seguidos por los de Medicina, mientras que en Obstetricia la detección fue mínima.

Tabla 2.

Distribución de Gram positivas potencialmente multidrogorresistentes encontradas en estetoscopios clínicos por internos.

	Internos Medicina (n=36)	Internos Enfermería (n=48)	Internos Obstetricia (n=4)	Total (n=49)
<i>Staphylococcus epidermidis</i>	7 (41,2%)	13 (43,3%)	1 (50,0%)	21 (42,9%)
<i>Staphylococcus aureus</i>	10 (58,8%)	8 (26,7%)	1 (50,0%)	19 (38,7%)
<i>Staphylococcus haemolyticus</i>	0 (0,0%)	9 (30,0%)	0 (0,0%)	9 (18,4%)
TOTALES	17 (100%)	30 (100%)	2 (100%)	49 (100%)

Nota: La presencia de bacterias Gram positivas, típicas del tracto intestinal y ambientes húmedos, enfatizó la importancia de la higiene de manos y la desinfección del estetoscopio después del contacto con pacientes o su entorno.

Al distribuir los aislamientos por áreas hospitalarias, las ubicaciones con la mayor contaminación fueron la Unidad de Vigilancia Intensiva (UVI) con 11 aislamientos, seguido con la unidad Pediatría con 8 aislamientos, el Servicio de Medicina con 9 aislamientos respectivamente.

Tabla 3.

Distribución de Gram positivas potencialmente multidrogorresistentes encontradas en diversas áreas en estetoscopios clínicos por internos.

	A	B	C
<i>Staphylococcus aureus</i>	3	3	3
<i>Staphylococcus epidermidis</i>	3	3	4
<i>Staphylococcus haemolyticus</i>	2	3	4
TOTAL	8	9	11

Nota: Las áreas hospitalarias se codificaron como A = Pediatría; B = Servicio de Medicina; C = Unidad de Vigilancia Intensiva (UVI).

Respecto a las bacterias Gram negativas, las especies más comúnmente aisladas fueron *Escherichia coli* (10 aislamientos cada una), seguidas de *Pseudomonas aeruginosa*, *Acinetobacter baumannii*, *Klebsiella pneumoniae* (8 aislamientos cada una). La distribución por profesión mostró nuevamente una mayor frecuencia en los estetoscopios de los internos de enfermería (22 aislamientos), seguidos por los de medicina (14) y obstetricia (5).

Tabla 4.

Distribución de Gram negativas potencialmente multidrogorresistentes encontradas en estetoscopios clínicos por internos.

	Internos Medicina (n=20)	Internos Enfermería (n=26)	Internos Obstetricia (n=7)	Total (n=53)
<i>Escherichia coli</i>	4 (28,6%)	5 (22,7%)	1 (20,0%)	10 (24,4%)
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	3 (21,4%)	4 (18,2%)	1 (20,0%)	8 (19,5%)
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	3 (21,4%)	4 (18,2%)	1 (20,0%)	8 (19,5%)
<i>Acinetobacter baumannii</i>	3 (21,4%)	4 (18,2%)	1 (20,0%)	8 (19,5%)
<i>Enterobacter cloacae complex</i>	1 (7,1%)	3 (13,6%)	1 (20,0%)	5 (12,2%)
<i>Stenotrophomonas maltophilia</i>	0 (0,0%)	2 (9,1%)	0 (0,0%)	2 (4,9%)
TOTALES	14 (100%)	22 (100%)	5 (100%)	41 (100%)

Nota: La presencia de bacterias Gram negativas, típicas del tracto intestinal y ambientes húmedos, enfatizó la importancia de la higiene de manos y la desinfección del estetoscopio después del contacto con pacientes o su entorno.

El análisis por áreas hospitalarias reveló que el Servicio de Medicina fue el sitio con la mayor contaminación por bacterias Gram negativas (14 aislamientos), mientras que no se registraron aislamientos en los Consultorios Externos. Otras áreas con una carga significativa incluyeron Pediatría con 7 aislamientos y la UVI con 6.

Tabla 5.

Distribución de Gram negativas potencialmente multidrogorresistentes encontradas en diversas áreas en estetoscopios clínicos por internos.

	A	B	C
<i>Escherichia coli</i>	2	4	1
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	1	3	1
<i>Enterobacter cloacae complex</i>	1	1	0
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	1	3	2
<i>Acinetobacter baumannii</i>	1	3	2
<i>Stenotrophomonas maltophilia</i>	1	0	0
TOTAL	7	14	6

Nota: Las áreas hospitalarias se codificaron como: A = Pediatría; B= Servicio de Medicina; C = Unidad de Vigilancia Intensiva (UVI).

La tabla muestra que los estetoscopios de los internos estaban contaminados exclusivamente con bacterias resistentes a los antibióticos. No se aislaron bacterias completamente sensibles. Se encontraron patógenos de alto riesgo como MRSA y *Klebsiella pneumoniae* (KPC), resistentes a tratamientos de primera línea. Otros como *Acinetobacter baumannii* y *Pseudomonas aeruginosa* presentaron multirresistencia. Bacterias como *E. coli* (BLEEs) mostraron resistencia variable, lo que complica el tratamiento. Este hallazgo revela que los estetoscopios son vectores potenciales de infecciones intrahospitalarias graves y evidencia una deficiente desinfección del equipo.

Tabla 6.

Resumen de bacterias potencialmente clasificadas en sensibles, resistentes e intermedio encontradas en estetoscopios clínicos de internos.

Clasificación	Bacterias	Resistencia a Antimicrobianos Clave
Resistentes	<i>Staphylococcus aureus</i> (MRSA)	Meticilina, Oxacilina, Cefoxitina.
	<i>Staphylococcus epidermidis</i>	Meticilina, Oxacilina (MRSE).
	<i>Staphylococcus haemolyticus</i>	Meticilina, Oxacilina.
	<i>Klebsiella pneumoniae</i> (KPC)	Imipenem, Meropenem, Cefalosporinas.
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Imipenem, Meropenem, Ceftazidima, Ciprofloxacino.
	<i>Acinetobacter baumannii</i>	Imipenem, Meropenem, Ampicilina/Sulbactam, Ciprofloxacino.
Intermedias / Resistencia variable	<i>Escherichia coli</i> (BLEEs)	Ceftriaxona, Ceftazidima, Aztreonam.
	<i>Enterobacter cloacae</i> complex	Ceftriaxona, Ceftazidima (por BLEEs o AmpC).
	<i>Stenotrophomonas maltophilia</i>	Imipenem, Meropenem, Ceftazidima, Aminoglucósidos.
Sensibles	No se aislaron otras especies mencionadas	-

Nota: MRSA: *Staphylococcus aureus* resistente a la meticilina. KPC: *Klebsiella pneumoniae* productora de carbapenemasas. BLEEs: Beta-lactamasas de espectro extendido. MRSE: *Staphylococcus epidermidis* resistente a la meticilina. La categoría "Intermedias/Resistencia variable" indica que la susceptibilidad puede variar según la cepa y el mecanismo específico.

DISCUSIÓN

El estudio demostró que los estetoscopios constituyeron un importante reservorio de microorganismos patógenos en el ambiente hospitalario, con una elevada carga bacteriana de 90 aislamientos que incluyeron cepas con relevancia clínica y potencial multirresistente. Los hallazgos revelaron que los internos de enfermería presentaron la mayor contaminación con 52 bacterias (57.8%), seguidos por los internos de medicina con 31 aislamientos (34.4%) y obstetricia con 7 aislamientos (7.8%), evidenciando diferencias críticas en las prácticas de uso y desinfección durante el entrenamiento clínico. Predominaron las bacterias Gram positivas con 49 aislamientos (54.4%) sobre las Gram negativas con 41 aislamientos (45.6%), patrón que se mantuvo consistente en las tres categorías de internos, coincidiendo con reportes globales sobre contaminación de fómites médicos (Allegranzi et al., 2011). La pandemia de COVID-19 ha renovado la atención sobre la importancia de la desinfección de equipos médicos, pero persisten brechas críticas en su implementación (Ahmed & Sintayehu, 2022).

Entre las Gram positivas, las especies más frecuentes fueron *Staphylococcus epidermidis* con 21 aislamientos (42.9%), *Staphylococcus aureus* con 19 aislamientos (38.7%) y *Staphylococcus haemolyticus* con 9 aislamientos (18.4%), concentrándose especialmente en estetoscopios de internos de enfermería y medicina. Estos hallazgos son particularmente relevantes a la luz de evidencia reciente que demuestra que estas especies han desarrollado mecanismos de resistencia adicionales a los betalactámicos (Lucas et al., 2021). Las demás especies de Gram positivas mencionadas en el texto inicial no formaron parte de los aislamientos principales seleccionados para análisis de importancia clínica en este estudio.

En las Gram negativas, las especies más prevalentes fueron *Escherichia coli* con 10 aislamientos (24.4%), seguida por *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Acinetobacter baumannii* con 8 aislamientos cada una (19.5% cada una), reflejando tendencias globales documentadas en la lista de patógenos prioritarios de la (OMS, 2020). Estas especies han desarrollado mecanismos de resistencia alarmantes, incluyendo carbapenemasas de tipo NDM y OXA-48 (Huanqui Figueroa, 2023). *Enterobacter cloacae complex* representó 5 aislamientos (12.2%) y *Stenotrophomonas maltophilia* 2 aislamientos (4.9%). Las demás especies Gram negativas mencionadas en el texto inicial no formaron parte de los aislamientos principales seleccionados en este análisis.

El análisis por áreas hospitalarias combinó ambos grupos bacterianos, evidenciando que la Unidad de Vigilancia Intensiva (UVI) acumuló 17 aislamientos combinados (11 Gram positivos + 6 Gram negativos), seguido del Servicio de Medicina con 23 aislamientos (9 Gram positivos + 14 Gram negativos) y Pediatría con 15 aislamientos (8 Gram positivos + 7 Gram negativos), consistente con un estudio multicéntrico que documentó 3.2 veces más patógenos multirresistentes en UCIs. Estas tres áreas concentraron el 61.1% de todos los aislamientos bacterianos del estudio. La clasificación por susceptibilidad antimicrobiana confirmó que 6 especies fueron categorizadas como resistentes, incluyendo *S. aureus* (MRSA), *S. epidermidis*, *S. haemolyticus*, *K. pneumoniae* (KPC), *P. aeruginosa* y *A. baumannii*, representando patógenos de alto riesgo. Estas especies concentraron el 80.0% de todos los aislamientos (72/90). Un estudio de 2022 confirmó que hasta el 78% de los ECN aislados portan el gen *mecA*, conferiendo resistencia a meticilina, mientras que un metanálisis de 2023 encontró que el 32,4% de las cepas de *S. aureus* en estetoscopios eran MRSA (Adeiza & Aminul, 2024; Navidifar et al., 2025), asociadas con mortalidad del 15-30% en pacientes hospitalizados.

Estos resultados confirmaron que los estetoscopios funcionaron como fómites activos de transmisión cruzada de microorganismos potencialmente patógenos y multidrogorresistentes, representando un riesgo significativo para la seguridad del paciente, especialmente en servicios de alta complejidad donde se atendió a pacientes inmunocomprometidos (Navidifar et al., 2025). Se recomendó la implementación obligatoria de protocolos de desinfección entre pacientes, el uso de tecnologías de barrera antimicrobiana y programas de educación continua con especial énfasis en el entrenamiento de internos de enfermería, medicina y obstetricia durante sus prácticas clínicas, considerando que persisten brechas críticas en la implementación de medidas de control (Ahmed & Sintayehu, 2022). La vigilancia microbiológica periódica de estos dispositivos debería incorporarse a los programas de control de infecciones hospitalarias como una medida esencial para prevenir la diseminación de patógenos multirresistentes en el entorno sanitario, dado el aumento del 42% en la prevalencia de Enterobacterales productores de BLEE en América Latina desde 2020.

CONCLUSIÓN

El presente estudio demostró que los estetoscopios utilizados por los internos clínicos constituyen un importante reservorio de microorganismos potencialmente patógenos y multidrogorresistentes en el ambiente hospitalario. Se identificó una elevada carga bacteriana total de 90 aislamientos, con un claro predominio de bacterias Gram positivas (54.4%) sobre las Gram negativas (45.6%). Los internos de enfermería presentaron la mayor contaminación (57.8%), seguidos por los de medicina (34.4%) y obstetricia (7.8%), lo que sugiere diferencias significativas en las prácticas de uso y desinfección asociadas al tipo de entrenamiento clínico. Entre las especies de mayor relevancia clínica destacaron *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Acinetobacter baumannii*, las cuales en conjunto representaron el 80% de todos los aislamientos y están reconocidas por la OMS como patógenos prioritarios por su perfil de resistencia. La distribución por áreas hospitalarias reveló que los servicios de mayor complejidad y flujo de pacientes, como la Unidad de Vigilancia Intensiva (UVI), el Servicio de Medicina y Pediatría, concentraron más del 60% de la contaminación total. Estos hallazgos confirman que los estetoscopios actúan como fómites en la transmisión cruzada de microorganismos dentro del entorno hospitalario, representando un riesgo tangible para la seguridad del paciente, especialmente para aquellos inmunocomprometidos. Por lo tanto, se hace imperativa la implementación estricta y monitoreada de protocolos de desinfección del estetoscopio entre cada paciente, junto con programas de educación continua dirigidos al personal en formación, como una estrategia fundamental dentro de los programas de control y prevención de infecciones asociadas a la atención de salud.

Agradecimientos: Al Hospital Jorge Reategui Delgado de Piura-Perú, por darme la oportunidad de realizar esta investigación. También a la jefa del área de Patología Clínica y jefa del área de Microbiología Clínica.

Contribución de autoría: J.G.A.A contribuyó de manera sustancial a la concepción y diseño del manuscrito, así como a la adquisición, análisis e interpretación de los datos obtenidos. Además, participó en el diseño de la investigación, en la revisión del contenido y aprobó la versión final del artículo. Asumió la responsabilidad de todos los aspectos del artículo y garantizó la exactitud e integridad de toda la investigación.

Fuentes de financiamiento: La presente investigación se financió con recursos propios del autor. El estudio utilizó equipos del Laboratorio de Microbiología clínica del Hospital Jorge Reategui Delgado de Piura- Perú, pero no recibió financiamiento directo.

Conflictos de intereses: El autor declara que no tienen ningún conflicto de intereses.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adeiza, S. S., & Aminul, I. (2024). Meta-meta-analysis of the mortality risk associated with MRSA compared to MSSA bacteraemia. *Le Infezioni in Medicina*, 32(2), 131. <https://doi.org/10.53854/LIIM-3202-2>
- Ahmed, A., & Sintayehu, B. (2022). Implementation of Covid-19 protection protocols and its implication on learning & teaching in public schools. *Heliyon*, 8(5), e09362. <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2022.E09362>
- Alleggranzi, B., Nejad, S. B., Combescure, C., Graafmans, W., Attar, H., Donaldson, L., & Pittet, D. (2011). Burden of endemic health-care-associated infection in developing countries: Systematic review and meta-analysis. *The Lancet*, 377(9761), 228–241. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(10\)61458-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(10)61458-4)
- Brady, R. R. W., Verran, J., Damani, N. N., & Gibb, A. P. (2009). Review of mobile communication devices as potential reservoirs of nosocomial pathogens. *Journal of Hospital Infection*, 71(4), 295–300. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2008.12.009>
- Cajar, A., Duncán, V., Rojas, D., & Morales Torres, Y. (2025). Detección de microorganismos patógenos en las cofias de las estudiantes de la licenciatura de enfermería. Universidad Americana 2024. *ARANDU UTIC*, ISSN 2409-2401, Vol. 12, N°. 1, 2025, Págs. 1512-1526, 12(1), 1512–1526. <https://doi.org/10.69639/arandu.v12i1.691>
- Datta, P., Kaur, M., Rawat, S., Gupta, V., & Chander, J. (2018). Stethoscope, “the friendly foe” – A study to evaluate bacterial contamination of stethoscopes and disinfection practices. *The Journal of Infection in Developing Countries*, 12(10), 887–893. <https://doi.org/10.3855/jidc.10128>

- Huanqui Figueroa, A. S. (2023). Prevalencia de enterobacterias productoras de betalactamasas de espectro extendido y/o carbapenemasas en pacientes del IREN sur de enero a agosto del 2022. *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa*. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/renati/1145630>
- Jovanovic, A., Paunovic, K., Ercegovic, M., Popovic, D., & Davidovic, D. (2024). Personal stethoscope disinfection practices and bacterial contamination: A cross-sectional study at the University Hospital Emergency Department in Belgrade, Serbia. *American Journal of Infection Control*, 52(2), 176–182. <https://doi.org/10.1016/J.AJIC.2023.08.006>
- Laizer, Z. L., Philbert, I. N., Charles, A. S., Musa, K., Tibendarana, J. R., Mabula, P. L., Maghembe, R. S., Shayo, A., Mkumbaye, S. I., Kassam, N. A., & Kajeguka, D. C. (2025). *Bacterial Contamination of Inanimate Surfaces and Equipment, Distribution and Susceptibility Patterns in Pediatric Wards at Northern Tanzania Zonal Referral Hospital*. <https://doi.org/10.1101/2025.07.08.25331103>
- Lewis, J. S., Mathers, A. J., Bobenchik, A. M., Bryson, A. L., Campeau, S., Cullen, S. K., & Dingle, T. (2024). M100Ed34 | Performance Standards for Antimicrobial Susceptibility Testing, 34th Edition. *A CLSI Supplement for Global Application*.
- Lucas, A. P., da Silva, E. C., de Farias, A. R. B., de Albuquerque, M. P. B., Lopes, L. F. V., Barbosa, S. B. P., Batista, Â. M. V., Mendonça, M., Pinheiro, R. R., Boechat, J. U. D., & da Silva, E. R. (2021). β -lactam resistance in coagulase-negative *Staphylococcus* isolated from subclinical goat mastites. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 56, e02173. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.PAB2021.V56.02173>
- Navidifar, T., Zare Banadkouki, A., Parvizi, E., Mofid, M., Golab, N., Beig, M., & Sholeh, M. (2025). Global prevalence of macrolide-resistant *Staphylococcus* spp.: a comprehensive systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Microbiology*, 16, 1524452. <https://doi.org/10.3389/FMICB.2025.1524452/FULL>

- Núñez, S., Moreno, A., Green, K., & Villar, J. (2000). The stethoscope in the Emergency Department: a vector of infection? *Epidemiology and Infection*, 124(2), 233–237. <https://doi.org/10.1017/S0950268800003563>
- Oliva-Menacho, J. E., García-Hjarles, M. A., Oliva-Candela, J. A., & De la Cruz-Roca, H. S. (2016). Contaminación con bacterias patógenas de estetoscopios del personal médico en un hospital de nivel III en Lima, Perú. *Revista Medica Herediana*, 27(2), 83–88. <https://doi.org/10.20453/RMH.V27I2.2842>
- Organización Mundial de la Salud. (2020). Limpieza y desinfección de las superficies del entorno inmediato en el marco de la COVID-19. *Organizacion Mundial de La Salud*, 1.
- Smith, M. A., Mathewson, J. J., Ulert, I. A., Scerpella, E. G., & Ericsson, C. D. (1996). Contaminated stethoscopes revisited. *Archives of Internal Medicine*, 156(1). <https://doi.org/10.1001/archinte.156.1.82>
- Uneke, C. J., & Ijeoma, P. A. (2010). The potential for nosocomial infection transmission by white coats used by physicians in Nigeria: implications for improved patient-safety initiatives. *World Health & Population*, 11(3), 44–54. <https://doi.org/10.12927/WHP.2010.21664>
- World Health Organization, (Who). (2011). Report on the Burden of Endemic Health Care-Associated Infection Worldwide. *WHO Library Cataloguing-in-Publication Data*, 40.

ARTÍCULO ORIGINAL

Prevalencia de protozoarios intestinales en niños menores de 5 años en la zona de la sierra del departamento de Piura

Prevalence of intestinal protozoa in children under 5 years of age in the highland region of the Piura Department

Aranda, J. ¹ 

RESUMEN

Determinar la prevalencia de protozoarios intestinales en niños menores de 5 años de la sierra de Piura. Investigación transversal (agosto-octubre de 2025) con una muestra de 50 niños de Malacasi. Se utilizó el examen coprológico directo para determinar la presencia de protozoarios. Se utilizaron encuestas para examinar las variables ambientales y sociodemográficas. La prevalencia global de infección por protozoarios intestinales fue del 44%, siendo *Giardia lamblia* el patógeno más frecuente (22%). El análisis identificó que residir en zona rural (RP=1.80; p=0.04) y consumir agua no hervida (RP=1.84; p=0.03) fueron factores de riesgo significativos, hallazgo confirmado en el análisis multivariado donde ambos mantuvieron su asociación independiente (RP Ajustada ~1.75-1.78; p=0.04). La edad no mostró asociación significativa. La presencia de protozoarios comensales indicó contaminación fecal ambiental. Las infecciones por protozoarios, sobre todo la giardiasis, son un problema de salud pública en los niños estudiados, determinado especialmente por factores ambientales que se pueden cambiar. Es necesario implementar acciones conjuntas que incluyan el saneamiento básico y la disponibilidad de agua potable.

Palabras clave: parasitosis intestinal, niños, Centro-Análisis-Clínicos-GEMA

ABSTRACT

To determine the prevalence of intestinal protozoa in children under 5 years of age in the Piura highlands. A cross-sectional study (August-October 2025) was conducted with a sample of 50 children from Malacasi. Direct stool examination was used to determine the presence of protozoa. Surveys were used to examine environmental and sociodemographic variables. The overall prevalence of intestinal protozoal infection was 44%, with *Giardia lamblia* being the most frequent pathogen (22%). The analysis identified that living in a rural area (PR=1.80; p=0.04) and consuming unboiled water (PR=1.84; p=0.03) were significant risk factors, a finding confirmed in the multivariate analysis where both maintained their independent association (Adjusted PR ~1.75-1.78; p=0.04). Age did not show a significant association. The presence of commensal protozoa indicated environmental fecal contamination. Protozoal infections, especially giardiasis, are a public health problem in the children studied, determined primarily by modifiable environmental factors. Joint actions are needed, including basic sanitation and access to safe drinking water.

Keywords: intestinal parasitosis, children, GEMA Clinical Analysis Center

* Autor para correspondencia

¹ Universidad Nacional de Piura 1, Perú. Email: jhonar.93@hotmail.com

INTRODUCCIÓN

Las infecciones parasitarias siguen representando un reto para la salud mundial y afectan de manera significativa a zonas en desarrollo de Asia, América Latina y África. No obstante, hoy en día, también se han transformado en una inquietud cada vez mayor en países desarrollados, sobre todo a causa de los desplazamientos migratorios desde regiones endémicas, lo que favorece su propagación y las altas tasas de afectación poblacional (Werner Apt, 2014).

Tener acceso a agua potable es uno de los obstáculos más eficaces para disminuir las enfermedades que se transmiten a través del agua, que son una de las causas más importantes de morbilidad y mortalidad infantil en todo el mundo, según varios autores (Cabezas Sánchez, 2018; Villegas et al., 2012). Dentro de estas enfermedades se encuentran las infecciones intestinales causadas por parásitos protozoos (Cabezas Sánchez, 2018; Lima et al., 2019) y las diarreas bacterianas agudas, que en Perú superan los 150 mil casos anuales.

Estas infecciones digestivas son provocadas por una diversidad de organismos que habitan sobre todo en el tracto intestinal, los cuales pueden ocasionar a los niños episodios de diarrea recurrente y otros trastornos de salud. La severidad de los síntomas está determinada por una compleja interacción entre el parásito, el huésped y su ambiente. Si estos factores se mantienen equilibrados, la infección puede darse sin síntomas; sin embargo, si el agente parasitario adquiere mayor protagonismo, es probable que la enfermedad se manifieste (Werner Apt, 2014).

La presencia de estos patógenos ha sido constatada en diversos estudios a nivel mundial: en un estudio con escolares de Valencia, España, se detectaron microorganismos como *Giardia intestinalis* (6,1%) y *Blastocystis hominis* (14,9%). Además, según el tipo de parásito encontrado, los investigadores observaron que la edad promedio de los niños infectados era diferente (Lara et al., 2010). En la ciudad de Corrientes, Argentina, en áreas periféricas, más de la mitad de los niños examinados mostraron parasitosis intestinal. Las especies más comunes fueron *Giardia spp.* y *Blastocystis spp.* Es importante señalar que muchos animales domésticos de la región también tenían parásitos (Alegre et al., 2023).

En el Perú, *Giardia lamblia* es uno de los parásitos más prevalentes. Además, se han registrado a menudo especies no patógenas, como *Blastocystis hominis* y *Entamoeba coli*. Estas, aunque no provocan enfermedades directamente, son señales de que existen condiciones ambientales propicias para la transmisión (Alegre et al., 2023; Bailey et al., 2013; Cabrera et al.,

2005; Choi & Kim, 2017; Lannacone et al., 2021; Pérez-Cordón et al., 2008; Salazar-Sánchez et al., 2020; Villegas et al., 2012).

El presente estudio tiene como objetivo determinar la prevalencia de protozoarios intestinales en niños menos de 5 años en la zona de la sierra del departamento de Piura, comprendido entre los meses agosto y octubre del 2025.

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño y población de estudios

En Malacasi, Salitral (Morropón, Piura), se llevó a cabo una investigación analítica transversal con 50 niños de menos de 5 años elegidos por conveniencia entre agosto y octubre del año 2025. Los criterios de inclusión consistieron en ser residentes permanentes, tener menos de 5 años y proporcionar un consentimiento informado. Se descartó a los niños que recibieron un tratamiento antiparasitario recientemente o que padecían trastornos inmunosupresores.

El estudio de los parásitos se llevó a cabo por medio del examen microscópico directo de muestras fecales; para observar la morfología natural de los trofozoítos y quistes, se empleó suero fisiológico, mientras que, para reconocer las estructuras internas como vacuolas y núcleos, se utilizó lugol (Instituto nacional de salud, n.d.)

Variables y mediciones

La variable dependiente fue la presencia de protozoos intestinales, que se evaluó mediante el análisis coprológico directo y se categorizó como positiva o negativa. Se utilizaron variables independientes que incluyeron factores ambientales (como la eliminación de excretas, el agua potable y la presencia de animales domésticos) y elementos sociodemográficos (la edad, el sexo, el lugar de residencia y el grado educativo materno), los cuales se recolectaron mediante un cuestionario epidemiológico y una ficha clínica.

Análisis estadístico

El software Stata v.18.0 fue utilizado para el análisis de los datos. Se expresaron las variables categóricas en términos de frecuencias y proporciones. La prueba de Chi-cuadrado de Pearson fue utilizada para comparar las proporciones entre grupos. La razón de prevalencias (RP),

junto con su intervalo de confianza del 95% (IC 95%), fue empleada para calcular la fuerza de la asociación. Un valor de $p < 0,05$ se consideró estadísticamente significativo.

Conflicto de intereses

El autor declara que no existe conflicto de interés con respecto a este estudio.

Consideraciones éticas:

El estudio fue aprobado por gerencia del Centro de Análisis Clínicos GEMA (N°01-Nov-2025). Se obtuvo el consentimiento informado por escrito de cada participante, explicándose los objetivos del estudio y el anonimato de los datos.

RESULTADOS

En esta tabla se muestra la composición socioambiental y demográfica del grupo de 50 niños analizados. Se puede observar que la mayor parte de los niños (70%) están dentro del grupo con más movilidad y exposición (de 2 a 5 años). Es significativo observar que un porcentaje considerable (40%) vive en áreas rurales y que el 44% utiliza agua de fuentes no tratadas, como ríos o pozos; esto crea un perfil base con elementos de riesgo posibles para infecciones gastrointestinales.

Tabla 1.

Características generales de la población de estudio.

Variable	Categoría	n	%
Sexo	Masculino	26	52%
	Femenino	24	48%
Grupo de Edad	< 2 años	15	30%
	2 - 5 años	35	70%
Zona de Residencia	Urbana	30	60%
	Rural	20	40%

Variable	Categoría	n	%
Fuente de agua para consumo	Llave, caño (agua hervida)	28	56%
	Balde, recipiente (agua no hervida)	22	44%

Nota: Se analizó una población total de 50 niños menores de 5 años. La mayoría pertenece al grupo de mayor movilidad y exposición (2-5 años). Un porcentaje considerable reside en áreas rurales y consume agua de fuentes no tratadas, lo que constituye un perfil base con posibles elementos de riesgo para infecciones gastrointestinales.

Los resultados parasitológicos clave de la investigación están expuestos en esta tabla. El patógeno que más prevaleció fue *Giardia lamblia* (22%). La identificación de los protozoos comensales no patógenos *Iodamoeba bütschlii* (6%) y *Entamoeba coli* (16%) es un indicador indirecto de la contaminación fecal en el medioambiente. Se halló *Blastocystis hominis* en 12% de la muestra, fundamentalmente en su forma quística; sin embargo, el trofozoíto, que señala actividad metabólica y posible capacidad patogénica, fue detectado en un 2% de los casos.

Tabla 2.

Prevalencia de protozoarios intestinales identificados en niños menores de 5 años

Forma Identificada	Parásito Identificado	Niños Positivos (n)	Prevalencia (%)	IC 95%
Quiste	<i>Entamoeba coli</i>	08	16.00	(8.1 28.8)
	<i>Blastocystis hominis</i>	06	12.00	(5.1 -24.4)
	<i>Iodamoeba bütschlii</i>	03	6.00	(1.8 16.9)
Trofozoíto	<i>Giardia lamblia</i>	11	22.00	(12.535.3)

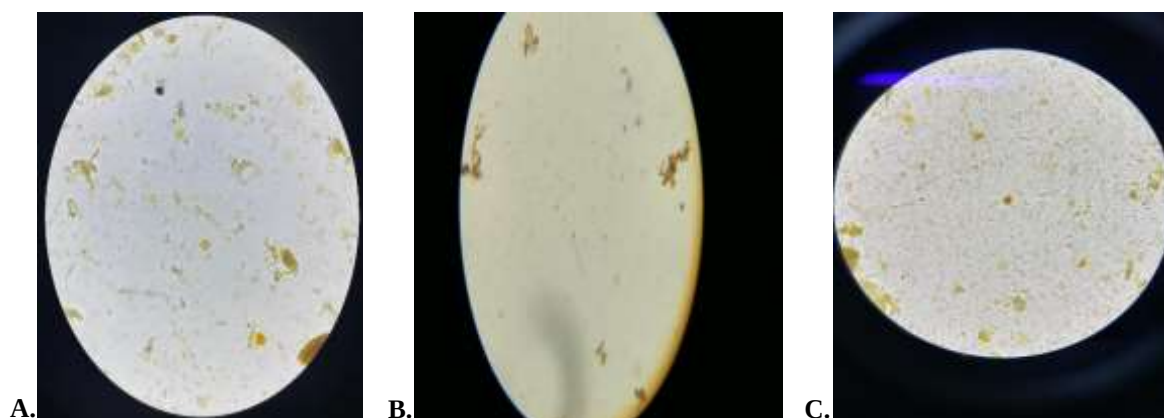
<i>Blastocystis</i>	01	2.00	(0.1 11.5)
<i>hominis</i>			

Nota: *Giardia lamblia* fue el patógeno de mayor prevalencia. La identificación de protozoos comensales (*E. coli*, *I. bütschlii*) es un indicador de contaminación fecal ambiental. *Blastocystis hominis* se halló principalmente en forma quística; la forma de trofozoíto (activa) fue poco frecuente. IC: Intervalo de Confianza.

Se identificaron tres morfotipos de quistes pertenecientes a protozoarios comensales mediante un análisis microscópico: *Entamoeba coli*: Quistes esféricos (10-35 µm) con cariosoma excéntrico y 1 a 8 núcleos de cromatina granulada. *Blastocystis hominis*: Formas que son esférico-ovoides (3-10 µm) y tienen una pared quística con doble contorno y un contenido granular en el citoplasma central. *Iodamoeba bütschlii*: Quistes variables (de 5 a 20 µm) que tienen un solo núcleo destacado y una vacuola de glucógeno distintiva que se tiñe de marrón con lugol. La circulación de estos comensales intestinales en la población analizada queda corroborada por los resultados morfológicos (Figura 1).

Figura 1.

Fotografías de quistes de protozoarios encontrados en heces de niños menos de 5 años en la localidad de Malacasi.



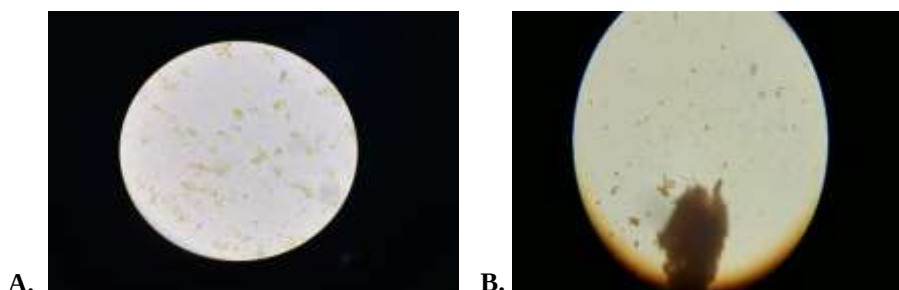
Nota: A. *Entamoeba coli*. B. *Blastocystis hominis*. C. *Iodamoeba bütschlii*.

Se identificaron dos tipos de morfología de trofozoítos a través del análisis microscópico: *Giardia lamblia*: Se vieron formas en forma de pera (12-15 µm) simétricas a ambos lados, que tienen un disco succionador en la parte de abajo, dos núcleos que les dan una apariencia de "cara de búho" y flagelos para moverse. Se refiere a la forma móvil y patógena. *Blastocystis hominis*: Se detectaron estructuras con forma ovalada o esférica (5-40 µm) que, gracias a una vacuola central

prominente, desplazan los núcleos y el citoplasma hacia la periferia, lo que genera un típico "anillo" en el citoplasma. Simboliza la forma del comensal que está activa metabólicamente (Figura 2).

Figura 2.

Fotografías de trofozoítos de protozoarios encontrados en heces de niños menos de 5 años en la localidad de Malacasi.



Nota: A. Giardia lamblia B. Blastocystis hominis.

La tabla muestra la prevalencia de infección por protozoarios intestinales según tres factores de riesgo en 50 niños, con una prevalencia global del 44.0%. El análisis revela que la prevalencia fue significativamente mayor en niños de zona rural (60.0%) que en zona urbana (33.3%) ($p=0.04$), con un riesgo relativo (RP) de 1.80 (IC 95%: 1.02-3.18), indicando que los niños rurales tienen 1.8 veces más probabilidad de infección. Asimismo, el consumo de agua no hervida se asoció con mayor prevalencia (59.1%) frente al agua hervida (32.1%) ($p=0.03$), con un RP de 1.84 (IC 95%: 1.05-3.23), lo que significa un riesgo 1.84 veces mayor. En contraste, la edad no mostró una asociación estadísticamente significativa, con prevalencias similares en menores de 2 años (33.3%) y en el grupo de 2-5 años (48.6%) ($p=0.37$), y un RP de 1.46 cuyo intervalo de confianza incluye el valor nulo.

Tabla 3.

Prevalencia según Factores de Riesgo y Análisis Bivariado.

Factor de Riesgo	Categoría	Niños (n)	Protozoarios (n)	Prevalencia (%)	Valor de p	RP(IC 95%)
Zona de residencia	Urbana	30	10	33.3	0.04	1 (Ref.)

Factor de Riesgo	Categoría	Niños (n)	Protozoarios (n)	Prevalencia (%)	Valor de p	RP(IC 95%)
	Rural	20	12	60.0		1.80 (1.02 - 3.18)
Fuente de agua	Agua hervida	28	9	32.1	0.03	1 (Ref.)
	Agua no hervida	22	13	59.1		1.84 (1.05 - 3.23)
Grupo de edad	< 2 años	15	5	33.3	0.37	1 (Ref.)
	2 - 5 años	35	17	48.6		1.46 (0.68 - 3.13)

Nota: La infección fue significativamente más prevalente en niños de zonas rurales y en aquellos que consumían agua no hervida, con un riesgo aproximadamente 1.8 veces mayor en cada caso. La edad no mostró una asociación estadísticamente significativa en este análisis bivariado. RP: Razón de Prevalencias.

Esta tabla muestra un análisis más sólido que toma en cuenta simultáneamente el impacto de cada uno de los factores. Luego del ajuste, el consumo de agua no hervida (RP Ajustada=1.78) y la zona de residencia rural (RP Ajustada=1.75) continuaron siendo factores de riesgo independientes que tienen significancia estadística. Esto implica que cada uno de ellos contribuye individualmente a la prevalencia de la parasitosis, incluso después de considerar el efecto del otro factor, lo que confirma su relevancia para la epidemiología de estas infecciones en el grupo poblacional analizado.

Tabla 4.

Análisis multivariado de factores de riesgo asociados a la presencia de protozoarios intestinales.

Factor de Riesgo	Categoría	RP Ajustada (IC 95%)	Valor de p
Zona de Residencia	Urbana	1 (Ref.)	
	Rural	1.75 (1.02 - 3.02)	0.04
Fuente de Agua	Tratada	1 (Ref.)	

Factor de Riesgo	Categoría	RP Ajustada (IC 95%)	Valor de p
	No Tratada	1.78 (1.04 - 3.06)	0.04

Nota: Tras el ajuste multivariado, tanto la residencia rural como el consumo de agua no tratada se mantuvieron como factores de riesgo independientes y estadísticamente significativos para la infección por protozoarios intestinales. Esto confirma que cada uno contribuye individualmente al riesgo, incluso al controlar por la influencia del otro factor. RP Ajustada: Razón de Prevalencias Ajustada.

DISCUSIÓN

Los hallazgos de este estudio, que revelan una elevada prevalencia de parasitosis intestinales en niños de la sierra de Piura, concuerdan con la reconocida carga de estas enfermedades en países en desarrollo. La prevalencia de *Giardia lamblia* (22%) como patógeno líder concuerda con informes nacionales anteriores que la ubicaban entre el 3% y el 24.6% (Werner Apt, 2014), y muestra su posición central en la etiología de las diarreas en niños en escenarios con saneamiento escaso. *I. bütschlii* (6%) y *Entamoeba coli* (16%), actúa como un indicador sensible de contaminación fecal en el medio ambiente. Este descubrimiento coincide con investigaciones efectuadas en áreas rurales de los Andes altos peruanos, donde la frecuencia de *I. bütschlii* fue del 14.3% (Iglesias-Osores et al., 2018).

La investigación de los factores de riesgo reveló que vivir en áreas rurales y consumir agua sin tratar son determinantes importantes para estas infecciones, incluso tras tener en cuenta posibles factores de confusión. Esta asociación tiene su respaldo en investigaciones, como la del estudio de Ban Lak Sip en Laos, que reveló que un gran número de casos de parasitosis estaba directamente relacionado con condiciones ambientales y sanitarias inadecuadas (Adu-Gyasi et al., 2018). Asimismo, la investigación en comunidades hiperendémicas de Bolivia, Perú y Egipto reveló que el multiparasitismo, hasta nueve especies simultáneas, era la norma antes que la excepción, destacando la intensa transmisión ambiental en estas regiones (Valero et al., 2025), dado que el multiparasitismo, con hasta nueve especies a la vez, era más común que raro.

Dada su importancia clínica, se debe tener en cuenta particularmente a *Blastocystis hominis*, el cual fue detectado en un 14% de nuestra muestra (12% trofozoítos y 2% quistes). A pesar de que en tiempos pasados se le consideraba un comensal, su vinculación con la diarrea aguda y eventualmente crónica entre los niños ha sido registrada cada vez más (Werner Apt, 2014).

La identificación de trofozoítos, la forma metabólicamente activa en un sector poblacional, indica su posible capacidad patogénica en huéspedes susceptibles. Este es un descubrimiento que concuerda con informes internacionales, como el estudio realizado en Tailandia que encontró *B. hominis* en pacientes con síntomas (Suntaravitun & Dokmaikaw, 2018).

La compleja interacción entre huésped, agente y medio ambiente, que ha sido documentada en la literatura (Werner Apt, 2014) se manifiesta en el patrón epidemiológico detectado, que muestra una fuerte influencia de determinantes ambientales y la presencia simultánea de varias especies parasitarias. El hecho de que nuestros hallazgos sean parecidos a los de investigaciones llevadas a cabo en lugares geográficamente lejanos, pero con condiciones ecológicas similares, como las áreas rurales de Laos (Adu-Gyasi et al., 2018) o Tailandia (Suntaravitun & Dokmaikaw, 2018) , indica que las parasitosis intestinales son un problema de salud mundial con factores comunes tanto ambientales como sociales.

CONCLUSIONES

En la población pediátrica de la sierra de Piura, las infecciones por protozoarios intestinales son un problema sanitario; en este contexto, *Giardia lamblia* es el patógeno más común. El análisis señala elementos ambientales susceptibles de modificación como factores determinantes, sobre todo vivir en áreas rurales y el uso de agua sin tratar, lo cual evidencia carencias importantes en cuanto a acceso a servicios básicos de saneamiento. Estos descubrimientos apoyan la necesidad de llevar a cabo acciones integradas que incluyan educación sanitaria, mejora de la calidad del agua y robustecimiento de los sistemas de saneamiento ambiental, sumadas a una vigilancia epidemiológica constante y a una investigación sobre la patogenicidad de *Blastocystis hominis* en el área.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adu-Gyasi, D., Asante, K. P., Frempong, M. T., Gyasi, D. K., Iddrisu, L. F., Ankrah, L., Dosoo, D., Adeniji, E., Agyei, O., Gyaase, S., Amenga-Etego, S., Gyan, B., & Owusu-Agyei, S. (2018). Epidemiology of soil transmitted Helminth infections in the middle-belt of Ghana, Africa. *Parasite Epidemiology and Control*, 3(3). <https://doi.org/10.1016/j.parepi.2018.e00071>
- Alegre, R. E., Gómez-Muñoz, M. de los Á., Flores-Lacsi, E. J., Robles, M. del R., Milano, F., Alegre, R. E., Gómez-Muñoz, M. de los Á., Flores-Lacsi, E. J., Robles, M. del R., & Milano, F. (2023). Prevalencia de parásitos intestinales en niños y animales domésticos en dos barrios periurbanos del nordeste de Argentina. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 40(4), 466–473. <https://doi.org/10.17843/RPMESP.2023.404.12984>
- Bailey, C., Lopez, S., Camero, A., Taiquiri, C., Arhuay, Y., & Moore, D. A. J. (2013). Factors associated with parasitic infection amongst street children in orphanages across Lima, Peru. *Pathogens and Global Health*, 107(2), 52–57. <https://doi.org/10.1179/2047773213Y.00000000073>
- Cabezas Sánchez, C. (2018). Enfermedades infecciosas relacionadas con el agua en el Perú. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*, 35(2), undefined-undefined. <https://doi.org/10.17843/RPMESP.2018.352.3761>
- Cabrera, M., Verástegui, M., & Cabrera, R. (2005). Prevalence of entero-parasitosis in one Andean community in the Province of Victor Fajardo, Ayacucho, Peru. *Revista de Gastroenterología Del Perú : Órgano Oficial de La Sociedad de Gastroenterología Del Perú*, 25(2), 150–155.
- Choi, B., & Kim, B. (2017). Prevalence and Risk Factors of Intestinal Parasite Infection among Schoolchildren in the Peripheral Highland Regions of Huanuco, Peru. *Osong Public Health and Research Perspectives*, 8(5), 302–307. <https://doi.org/10.24171/J.PHRP.2017.8.5.03>
- Iglesias-Osores, S., Failoc-Rojas, V., Iglesias-Osores, S., & Failoc-Rojas, V. (2018). Iodamoeba bütschlii. *Revista Chilena de Infectología*, 35(6), 669–670. <https://doi.org/10.4067/S0716-10182018000600669>

- INSTITUTO NACIONAL DE SALUD. (n.d.). *MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE LABORATORIO PARA EL DIAGNÓSTICO DE LOS PARÁSITOS INTESTINALES DEL HOMBRE*. 2014. Retrieved September 12, 2025, from <https://repositorio.ins.gob.pe/server/api/core/bitstreams/b47fe475-130d-496e-9f08-43f9f1f7e09f/content>
- Lannacone, J., Osorio, M., Utia, R., Alvariño, L., Ayala, Y., Águila, C. Del, Huaccho, J., Quiñones, D., Pineda, C., Rojas, V., Chávez, R., Serna, P. La, Cárdenas, J., & Wetzel, E. (2021). *Enteroparasitosis en Perú y su relación con el índice de desarrollo humano*. 59(5), 368–376. <https://www.mendeley.com/catalogue/0ee144f4-1ea2-358a-8750-b3dac7b53cb0/>
- Lara, J. C., Moliner, M. B., Gozalbo, M., Manrique, I., Oliver, C. P., Cifre, A. S., & Sanchis, J. E. (2010). *Parasitosis intestinales en escolares de la ciudad de Valencia. Encuesta de prevalencia*. 18(7), 69–72. <https://www.mendeley.com/catalogue/5661adde-1a8c-329c-8e97-a1c71a3e1d37/>
- Lima, (, Rojas-Jaimes, J. E., Jimmy, :, Ibarra-Trujillo, O., Alvariño, L., & Iannacone, J. (2019). AGUA POTABLE Y DESAGÜE EN EL SANEAMIENTO BÁSICO COMO FACTORES RELACIONADOS A LOS ENTEROPARÁSITOS EN ESCOLARES DE INSTITUCIONES EDUCATIVAS DE LIMA METROPOLITANA, PERÚ. *The Biologist*, 17(1), 95–105. <https://doi.org/10.24039/RTB2019171295>
- Pérez-Cordón, G., Rosales, M. J., Valdez, R. A., Vargas-Vásquez, F., & Cordova, O. (2008). Detección de parásitos intestinales en agua y alimentos de Trujillo, Perú. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 25(1), 144–148. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-46342008000100018&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Salazar-Sánchez, R. S., Ascuña-Durand, K., Ballón-Echegaray, J., Vásquez-Huerta, V., Martínez-Barrios, E., & Castillo-Neyra, R. (2020). Socio-Demographic Determinants Associated with Blastocystis Infection in Arequipa, Peru. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 104(2), 700–707. <https://doi.org/10.4269/AJTMH.20-0631>

- Suntaravitun, P., & Dokmaikaw, A. (2018). Prevalence of Intestinal Parasites and Associated Risk Factors for Infection among Rural Communities of Chachoengsao Province, Thailand. *The Korean Journal of Parasitology*, 56(1), 33–39. <https://doi.org/10.3347/KJP.2018.56.1.33>
- Valero, M. A., Morales-Suarez-Varela, M. M., Marquez-Guzman, D. J., Angles, R., Espinoza, J. R., Ortiz, P., Curtale, F., Bargues, M. D., & Mas-Coma, S. (2025). Helminth/Protozoan Coinfections in Chronic Fascioliasis Cases in Human Hyperendemic Areas: High Risk of Multiparasitism Linked to Transmission Aspects and Immunological, Environmental and Social Factors. *Tropical Medicine and Infectious Disease*, 10(8). <https://doi.org/10.3390/TROPICALMED10080224>
- Villegas, W., Iannaccone, J., Oré, E., & Bazán, L. (2012). PREVALENCIA DEL PARASITISMO INTESTINAL EN MANIPULADORES DE ALIMENTOS ATENDIDOS EN LA MUNICIPALIDAD DE LIMA METROPOLITANA, PERÚ. *Neotropical Helminthology*, 6(2), 255–270. <https://doi.org/10.24039/RNH2012621015>
- Werner Apt, B. (2014). Infecciones por parásitos más frecuentes y su manejo. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 25(3), 485–528. [https://doi.org/10.1016/S0716-8640\(14\)70065-3](https://doi.org/10.1016/S0716-8640(14)70065-3)

ARTÍCULO ORIGINAL

Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales con fines de reutilización en áreas verdes

Design of a wastewater treatment system aimed at reuse in green spaces

De la Cruz, B.¹  y Pérez, L.² 

RESUMEN

El uso de agua potable para el riego de áreas verdes en zonas urbanas constituye una práctica insostenible frente a la creciente demanda hídrica y a la limitada disponibilidad del recurso. En este contexto, la presente investigación tiene como propósito diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales que permita la reutilización del efluente tratado en áreas verdes. El estudio es de tipo aplicado, con enfoque cuantitativo, diseño no experimental y nivel descriptivo. La población considerada es de 456 habitantes, con un caudal promedio de diseño de 1.68 L/s, y el análisis del suelo lo clasifica como arena arcillosa con una capacidad portante de 192 kg/cm². El sistema propuesto integra procesos de tratamiento preliminar, primario, secundario y desinfección, mediante unidades como cámara de rejillas, desarenador, tanque Imhoff, filtro biológico, sedimentador y cámara de cloración. Los resultados del diseño evidencian que el sistema es técnico y ambientalmente viable, permite obtener un efluente apto para el riego de áreas verdes y cumple con la normativa peruana vigente, constituyendo una solución sostenible para contextos urbanos altoandinos, basada en una gestión eficiente del recurso hídrico y principios de economía circular.

Palabras clave: Sostenibilidad Urbana; Gestión del Recurso Hídrico; Efluente Tratado; Infraestructura Sanitaria.

ABSTRACT

The use of potable water for irrigating urban green areas represents an unsustainable practice under increasing water demand and limited water availability. In this context, this research aims to design a wastewater treatment system that enables the safe reuse of treated effluent for irrigating green areas. The study follows an applied approach, with a quantitative methodology, non-experimental design, and descriptive level. The considered population is 456 inhabitants, with an average design flow rate of 1.68 L/s, and the soil is classified as clayey sand with a bearing capacity of 192 kg/cm². The proposed system integrates preliminary, primary, secondary, and disinfection treatment processes, including units such as a screening chamber, grit chamber, Imhoff tank, biological filter, sedimentation unit, and chlorination chamber. The design results indicate that the system is technically and environmentally feasible, produces a treated effluent suitable for irrigation of green areas, and complies with current Peruvian regulations, representing a sustainable solution for high-Andean urban contexts based on efficient water resource management and circular economy principles.

Keywords: Urban Sustainability; Water Resource Management; Treated Effluent; Sanitary Infrastructure.

* Autor para correspondencia

¹Universidad César Vallejo, Perú. Email: bcruzan@ucvvirtual.edu.pe, lperezpe20@ucvvirtual.edu.pe

INTRODUCCIÓN

El acceso al agua constituye uno de los principales retos para la humanidad en las próximas décadas, particularmente en áreas urbanas que enfrentan una creciente escasez de agua debido a la acelerada urbanización, el crecimiento demográfico y los efectos del cambio climático. Estudios recientes proyectan que la población urbana expuesta a situaciones de estrés hídrico podría aumentar de 933 millones en 2016 a entre 1 693 y 2 373 millones para 2050, debido al desbalance entre la disponibilidad hídrica y la demanda de agua en las ciudades a nivel global (He et al., 2021). Asimismo, más del 90 % de las grandes ciudades ya enfrentan desafíos significativos de disponibilidad o calidad del agua, siendo la expansión poblacional y el incremento en la demanda los factores más determinantes de esta situación (Liu et al., 2024). Estas tendencias evidencian la urgencia de soluciones innovadoras para la gestión hídrica urbana, incluida la reutilización de aguas residuales como alternativa sostenible para usos no potables.

En América Latina, la gestión del agua y de las aguas residuales se desarrolla en un contexto normativo caracterizado por avances desiguales y una elevada heterogeneidad entre países, lo que limita la implementación efectiva de estrategias integradas de saneamiento y reutilización a escala urbana (Rodríguez et al., 2022). Estas limitaciones regulatorias, asociadas a la ausencia de estándares técnicos armonizados y a marcos institucionales poco consolidados, restringen la adopción de soluciones de reutilización segura de efluentes tratados. En este escenario, se destaca la necesidad de fortalecer marcos normativos coherentes y técnicamente fundamentados como condición clave para avanzar hacia una gestión hídrica urbana más sostenible en la región (OECD, 2025).

Diversos estudios científicos han demostrado la viabilidad del diseño de sistemas de tratamiento de aguas residuales para su reutilización en el riego de áreas verdes urbanas, incluyendo parques y jardines, al mismo tiempo que resaltan la importancia de considerar aspectos de salud pública asociados a la calidad del efluente. Por ejemplo, la reutilización de aguas residuales tratadas para el riego de espacios verdes urbanos ha sido planteada como una solución sostenible para aliviar la presión sobre fuentes de agua dulce y reducir la escasez hídrica en entornos urbanos (Boukhaffa et al., 2025). Investigaciones globales también señalan que, con tratamientos adecuados que reduzcan contaminantes microbiológicos y físico-químicos, el agua residual tratada puede utilizarse de forma segura para mantener el verde urbano, siempre que se implementen mecanismos de monitoreo y control de calidad (Mishra et al., 2023). Sin embargo, el uso de efluentes tratados con fines de riego implica considerar riesgos microbiológicos, ya que

estos pueden alojar patógenos que afectan la salud humana si no se eliminan adecuadamente durante el proceso de tratamiento, por lo cual el diseño debe incluir etapas de tratamiento que reduzcan la presencia de bacterias, virus y otros agentes patógenos (Ofori et al., 2025). A partir de estas evidencias, el diseño de sistemas de tratamiento con capacidades de producir agua de calidad adecuada para riego urbano se posiciona como una alternativa técnica que, bien implementada, puede combinar sostenibilidad ambiental y protección sanitaria.

Investigaciones en contextos latinoamericanos han demostrado que el diseño y operación de plantas de tratamiento que integran procesos de tratamiento biológico y desinfección puede reducir de manera significativa tanto la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) como la carga microbiológica patógena, lo cual es fundamental para minimizar riesgos de salud pública asociados a la presencia de bacterias y virus en efluentes reutilizados (Ofori et al., 2025). Evaluaciones de ciclo de vida y análisis de riesgos han mostrado que, si bien el uso de agua residual tratada puede reducir la presión sobre fuentes de agua dulce, también puede introducir contaminantes microbiológicos, químicos y otros agentes que afectan la salud pública y el ambiente si no se aplican tratamientos adecuados (Santos & Brás, 2024). Por otra parte, estudios sobre reúso de aguas tratadas han enfatizado que la presencia de patógenos también puede estar vinculada a la proliferación de vectores y a la producción de olores desagradables si los procesos de tratamiento son insuficientes o no incluyen etapas de desinfección adecuadas (Wastewater Treatment and Reuse: a Review of its Applications and Health Implications, 2021).

Estos antecedentes científicos muestran que la incorporación de etapas de tratamiento que reduzcan de forma confiable la carga patógena del agua residual es esencial para garantizar su uso seguro en el riego de parques, jardines y otros espacios verdes urbanos, reforzando así la justificación de diseñar sistemas de tratamiento con criterios técnicos y de salud pública claros.

En este contexto, el presente artículo tiene como objetivo principal diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales orientado a la reutilización segura del efluente tratado en áreas verdes urbanas. La propuesta se desarrolla considerando las condiciones hidráulicas y geotécnicas del sitio, así como criterios técnicos de tratamiento que permitan reducir tanto la carga orgánica como los riesgos sanitarios asociados al reúso del agua.

El diseño planteado busca constituirse en una alternativa técnica viable para el uso racional del recurso hídrico en entornos urbanos, aportando a la gestión sostenible del agua mediante la incorporación de sistemas de tratamiento que permitan disminuir la demanda de agua potable para

el riego de parques y jardines, y que puedan ser replicables en contextos urbanos con características similares.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló en el distrito de Independencia, ubicado en la región Áncash, Perú, caracterizado por un entorno urbano con demanda creciente de agua para el mantenimiento de áreas verdes públicas. El área de estudio corresponde a una zona urbana donde se proyecta la implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales orientado al reúso del efluente tratado en el riego de parques y jardines. La población servida considerada para el diseño fue de 456 habitantes, a partir de la cual se estimó un caudal medio de aguas residuales de 1,68 L/s, valor utilizado como base para el dimensionamiento hidráulico del sistema.

Para el desarrollo del diseño se emplearon los siguientes materiales y fuentes de información:

- Información secundaria proveniente de estudios técnicos y publicaciones científicas relacionadas con el tratamiento y reúso de aguas residuales.
- Resultados de ensayos geotécnicos del terreno, que incluyeron la determinación de la capacidad portante, contenido de humedad y clasificación del suelo según el sistema SUCS.
- Herramientas informáticas, principalmente hojas de cálculo, utilizadas para el procesamiento de datos hidráulicos y el dimensionamiento de las unidades de tratamiento.
- Criterios técnicos y parámetros de diseño comúnmente empleados en sistemas de tratamiento de aguas residuales de pequeña escala reportados en la literatura especializada.

Todas las magnitudes fueron expresadas conforme al Sistema Internacional de Unidades (SI).

El procedimiento seguido para el diseño del sistema de tratamiento se desarrolló de manera secuencial en las siguientes etapas:

1. Caracterización del caudal de diseño, a partir de la población servida y los coeficientes de generación de aguas residuales reportados.
2. Caracterización del terreno, utilizando los resultados de los ensayos geotécnicos para verificar la aptitud del suelo y definir criterios estructurales de las unidades proyectadas.
3. Selección del esquema de tratamiento, considerando procesos preliminares, primarios y secundarios, así como una etapa de desinfección, en función de la calidad requerida del efluente para su reúso en áreas verdes urbanas.

4. Dimensionamiento hidráulico y volumétrico de cada una de las unidades del sistema, aplicando ecuaciones y parámetros de diseño reportados en estudios previos y manuales técnicos especializados.
5. Evaluación del efluente tratado, verificando que el diseño propuesto permita reducir la carga orgánica y microbiológica a niveles compatibles con su aplicación en riego de parques y jardines urbanos.

Los cálculos hidráulicos, volumétricos y geométricos del sistema de tratamiento se realizaron mediante hojas de cálculo, lo que permitió evaluar diferentes escenarios de demanda y verificar la coherencia técnica del diseño propuesto. El análisis se centró en la capacidad del sistema para tratar el caudal estimado y generar un volumen de agua reutilizable adecuado para el riego de áreas verdes.

RESULTADOS

Características de la zona de estudio

El proyecto se localiza en el sector Uquia, distrito de Independencia, provincia de Huaraz, región Áncash. El clima predominante es templado seco de altitud, con temperaturas promedio anuales entre 11 °C y 18 °C. Se realizó un levantamiento topográfico considerando los linderos existentes del predio designado para la planta. Se pudo definir un perímetro de 231.16 m y un área de 3,430.28 m². El análisis altimétrico mostró un pendiente natural promedio de 16.09 %, con inclinaciones moderadas y sin cambios bruscos. Esta condición resultó favorable para el diseño hidráulico, al permitir el flujo por gravedad, minimizando el uso de bombeo.

Referente al análisis de suelos, se realizó una calicata con una profundidad de 2.00 m y su clasificación SUCS determinó un suelo SC (grava bien graduada semi compactada). Los principales resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 1

Propiedades físicas y mecánicas del suelo en el área de estudio

Parámetro	Valor
Profundidad de calicata	2.00 m
Pasa malla N° 200	27.1 %
Límite líquido	28 %
Índice plástico	19
Contenido de humedad	13.46 %
Peso específico	1.941 g/cm ³
Capacidad portante	1.29 kg/cm ²
Clasificación SUCS	SC

Nota. Esta tabla presenta los principales resultados del estudio de suelos, permitiendo evaluar la resistencia del terreno y su comportamiento mecánico.

Caudal de diseño

La urbanización proyectada en Independencia, Áncash, cuenta con 76 viviendas, considerando una densidad de 6 habitantes por vivienda (según RNE OS.090), lo que da una población futura de 456 habitantes. Se identificaron tres tipos de usuarios: viviendas domésticas, instituciones (educativas y de salud), y una unidad comercial. Se adoptó una dotación de 180 litros/hab·día para zonas frías.

Con base en los cálculos realizados, se determinaron los caudales característicos que permiten dimensionar correctamente la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR). A continuación, se presentan los valores del caudal máximo, promedio y mínimo de diseño, que consideran los aportes domésticos, no domésticos e infiltraciones conforme a la normativa vigente:

Tabla 2

Caudales mínimo, promedio y máximo considerados para el diseño de la PTAR

Tipo de caudal	Ecuación utilizada	Valor	Unidad
Q _{máx} diseño	$Q_{MHscd} + Q_{MHscnd} + Q_{inf}$	1.68	L/s
Q _{promedio} diseño	$Q_{Pscd} + Q_{MHscnd} + Q_{inf}$	0.92	L/s
Q _{mín} diseño	$Q_{minscd} + Q_{MHscnd} + Q_{inf}$	0.54	L/s

Nota. Esta tabla resume los caudales críticos utilizados en el dimensionamiento del sistema de tratamiento.

Pretratamiento

El pretratamiento del sistema considera tres componentes esenciales: cámara de rejas para retención de sólidos gruesos, desarenador para partículas sedimentables, y canal Parshall para medición del caudal. Estas unidades garantizan un ingreso controlado al sistema, reduciendo el riesgo de obstrucciones y facilitando la operación hidráulica de las etapas posteriores.

Tabla 3*Parámetros principales del sistema de pretratamiento*

Componente	Parámetro	Valor	Unidad
Cámara de rejillas	Número de barras	9	und
	Altura total de reja	0.70	m
Desarenador	Longitud del canal	2.60	m
	Altura útil del canal	0.50	m
Canal Parshall	Ancho de garganta	0.15	m

Nota. Estas unidades aseguran la remoción inicial de residuos sólidos y materiales pesados, además del control de caudal.

Tratamiento primario

En esta etapa se diseñó un tanque Imhoff que permite separar sólidos sedimentables y estabilizarlos mediante digestión anaerobia. Su capacidad fue dimensionada para cubrir las necesidades de la población proyectada al horizonte de diseño.

Tabla 4*Dimensiones esenciales del tanque Imhoff*

Parámetro	Valor	Unidad
Volumen de sedimentación	6.62	m ³
Volumen de digestión	31.92	m ³
Altura total del tanque	6.10	m

Nota. El tanque Imhoff cumple funciones duales de sedimentación y digestión primaria, optimizando espacio y facilitando el manejo de lodos sin necesidad de equipos mecánicos.

Tratamiento secundario

El tratamiento secundario incluye un filtro biológico percolador para la degradación de materia orgánica disuelta, seguido por un sedimentador tipo Dortmund que remueve los sólidos generados durante el proceso biológico.

Tabla 5*Parámetros clave del tratamiento biológico secundario*

Componente	Parámetro	Valor	Unidad
Filtro biológico	Volumen del reactor	206.96	m ³
	Altura del medio filtrante	3.00	m
Sedimentador Dortmund	Volumen útil total	9.07	m ³
	Altura del sedimentador	2.20	m

Nota. Esta combinación permite una alta remoción de DBO y sólidos en suspensión, manteniendo la eficiencia del sistema sin necesidad de recirculación de lodos.

Tratamiento terciario

Para garantizar la calidad sanitaria del efluente tratado, se diseñó una cámara de cloración provista de baffles que aseguran el tiempo de contacto necesario para la desinfección.

Tabla 6*Características de la cámara de cloro*

Parámetro	Valor	Unidad
Volumen total	1.65	m ³
Número de baffles	6	und
Largo útil de contacto	2.28	m

Nota. El diseño permite reducir significativamente los coliformes fecales, cumpliendo con los valores límites establecidos para el reúso en riego de áreas verdes.

Gestión de lodos

La gestión de lodos contempla un lecho de secado natural y un pozo de percolación para infiltrar excedentes líquidos. Ambas unidades fueron dimensionadas para operar sin intervención mecánica.

Tabla 7*Parámetros representativos del sistema de manejo de lodos*

Componente	Parámetro	Valor	Unidad
Lecho de secado	Volumen por ciclo	4.36	m ³
	Área total	14.54	m ²
Pozo de percolación	Diámetro	3.00	m
	Altura efectiva	2.50	m

Nota. El sistema pasivo de secado y percolación permite un manejo económico y eficiente de los subproductos sólidos y líquidos del tratamiento.

Balance de masa

La comparación entre las condiciones de entrada y salida del sistema evidencia el rendimiento de la planta, demostrando el cumplimiento de los estándares nacionales para reúso.

Tabla 8

Resumen del balance de masa del sistema de tratamiento

Parámetro	Entrada	Salida	Unidad
DBO ₅	287.02	14.06	mg/L
Sólidos suspendidos	516.64	9.30	mg/L
Coliformes fecales	1.15 × 10 ⁸	114.81	NMP/100 mL
Oxígeno disuelto (OD)	0.30	5.00	mg/L

Nota. El sistema alcanza eficiencias superiores al 95 % en remoción de materia orgánica y sólidos, asegurando condiciones óptimas para la reutilización segura del agua tratada.

DISCUSIÓN

Las condiciones geotécnicas del terreno influyen directamente en la estabilidad y desempeño estructural de las unidades que conforman un sistema de tratamiento de aguas residuales. Estudios recientes indican que la capacidad portante y el tipo de suelo determinan la distribución de cargas y el riesgo de asentamientos en cimentaciones superficiales, especialmente en infraestructuras enterradas (Keba Lukueta & Isobe, 2024). Asimismo, investigaciones en suelos con matrices finas y comportamiento mixto han demostrado que una adecuada caracterización geotécnica permite prever un comportamiento estructural estable bajo cargas operativas (Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 2025). En este contexto, la capacidad portante obtenida en el terreno evaluado resulta compatible con la implantación de las unidades proyectadas, siempre que el diseño estructural considere las propiedades mecánicas del suelo identificadas.

El caudal de diseño determinado en este estudio integra aportes domésticos, no domésticos e infiltración, lo cual es coherente con enfoques actuales de diseño que recomiendan considerar la variabilidad real del influente para evitar subdimensionamientos hidráulicos. Estudios recientes sobre planificación de plantas de tratamiento señalan que la incorporación de coeficientes de

retorno y factores adicionales asociados a usos no residenciales mejora la representatividad del caudal de entrada y la confiabilidad operativa del sistema (Kolpakova et al., 2024). En este contexto, el caudal estimado resulta técnicamente consistente con prácticas de diseño aceptadas para sistemas de tratamiento orientados al reúso de aguas residuales en entornos urbanos.

El diseño de las unidades del sistema se sustenta en las etapas convencionales del tratamiento de aguas residuales descritas en la literatura científica. La inclusión de rejillas y desarenadores permite reducir la carga de sólidos gruesos e inorgánicos, protegiendo las unidades posteriores y mejorando la eficiencia operativa del sistema (Fernandes et al., 2024). Asimismo, la incorporación de una etapa de desinfección es considerada esencial para disminuir la carga microbiológica del efluente antes de su reúso en áreas verdes, siempre que se garantice un adecuado control del proceso (Shamshad & Ur Rehman, 2025). El manejo de lodos mediante técnicas de secado forma parte integral del tratamiento, al facilitar una disposición más segura y reducir el volumen de residuos generados (Shamshad & Ur Rehman, 2025).

Los altos porcentajes de remoción de DBO₅, sólidos suspendidos y coliformes estimados para el sistema propuesto guardan consistencia con investigaciones sobre el desempeño de plantas de tratamiento orientadas al reúso de efluentes. Estudios recientes que evaluaron plantas de tratamiento urbanas reportan que, bajo condiciones operativas controladas, es posible alcanzar eficiencias elevadas en la remoción de materia orgánica y sólidos, así como reducciones marcadas en indicadores microbiológicos cuando se incorpora una etapa de desinfección adecuada, lo cual respalda la aplicabilidad de los efluentes tratados para usos no potables como el riego de áreas verdes (Federigi et al., 2024).

CONCLUSIONES

El sistema de tratamiento de aguas residuales diseñado demostró ser técnica y ambientalmente viable para la reutilización del agua tratada en áreas verdes urbanas. El análisis geotécnico evidenció que las condiciones del terreno, con suelo tipo SC (arena arcillosa), capacidad portante adecuada y tasas de percolación favorables, permiten la construcción segura de las unidades del sistema. Por su parte, el análisis hidráulico y la estimación de caudales máximos, promedio y mínimos garantizaron un dimensionamiento preciso de las unidades de tratamiento, incluyendo la cámara de rejillas, desarenador, tanque Imhoff, sedimentador secundario tipo Dortmund, cámara de cloración y lecho de secado, asegurando eficiencia en la remoción de sólidos, materia orgánica y microorganismos patógenos, así como un manejo seguro de los lodos generados. Los resultados obtenidos muestran que la propuesta permite reducir significativamente

la carga contaminante del efluente, asegurando su calidad para reúso en riego de áreas verdes, lo que contribuye a una gestión hídrica más eficiente y sostenible. Asimismo, la investigación evidencia que la integración de criterios técnicos, hidráulicos y geotécnicos en el diseño de sistemas de tratamiento en contextos urbanos altoandinos constituye un aporte relevante al conocimiento sobre la reutilización de aguas residuales y la implementación de soluciones sostenibles de economía circular en entornos urbanos, reforzando la importancia de estrategias técnicas adaptadas a las condiciones locales para optimizar el uso de los recursos hídricos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Boukhaffa, C., Lafdil, M., Chkird, F. et al. (2025). Reusing Treated Wastewater for Irrigation in Urban Areas: Challenges and Opportunities for Green Spaces: Review. *E3S Web Conf.*, 632, 01011. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202563201011>
- Federigi, I., Salvadori, R., Lauretani, G., Leone, A., Lippi, S., Marvulli, F., Pagani, A., Verani, M., & Carducci, A. (2024). Wastewater Treatment Plants Performance for Reuse: Evaluation of Bacterial and Viral Risks. *Water*, 16(10), 1399. <https://doi.org/10.3390/w16101399>
- Fernandes, J., Ramísio, P. J., & Puga, H. (2024). A Comprehensive Review on Various Phases of Wastewater Technologies: Trends and Future Perspectives. *Eng*, 5(4), 2633-2661. <https://doi.org/10.3390/eng5040138>
- Feng, S., Xiao, H., Liu, R., & Liu, M. (2022). Single-Side Shear Bond Strength and OTZ Microstructure of UHPC Repair Materials with Concrete Substrate
- He, C., Liu, Z., Wu, J., Pan, X., Fang, Z., Li, J., & Brett A., B. (2021). Future global urban water scarcity and potential solutions. *Nat Commun*, 12, 4667. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-25026-3>
- Kesari, K.K., Soni, R., Jamal, Q.M.S. et al. (2021). Wastewater Treatment and Reuse: a Review of its Applications and Health Implications. *Water Air Soil Pollut* 232, 208. <https://doi.org/10.1007/s11270-021-05154-8>
- Keba Lukueta, E., & Isobe, K. (2024). Bearing Capacity of a Shallow Foundation above the Soil with a Cavity Based on Rigid Plastic Finite Element Method. *Applied Sciences*, 14(5), 1975. <https://doi.org/10.3390/app14051975>
- Kolpakova, V., Yeremeyeva, Y., Anapyanova, S., et al. (2024). Design and construction of wastewater treatment facilities for small sewerage facilities. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 9, 2666-0164. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.100774>

- Liu, Z., Ying, J., He, C. et al. (2024). Scarcity and quality risks for future global urban water supply. *Landsc Ecol*, 39, 10. <https://doi.org/10.1007/s10980-024-01832-0>
- Mishra, S., Kumar, R., & Kumar, M. (2023). Use of treated sewage or wastewater as an irrigation water for agricultural purposes- Environmental, health, and economic impacts. *Environment Research Themes*, 6, 100051. <https://doi.org/10.1016/j.totert.2023.100051>.
- OECD (2025), The Circular Water Economy in Latin America, *OECD Urban Studies*, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/a0508572-en>.
- Ofori, S., Di Leto, Y., Smrčková, S., et al. (2025). Treated wastewater reuse for crop irrigation: a comprehensive health risk assessment. *Environ. Sci.: Adv.*, 4, 252-269. <http://dx.doi.org/10.1039/D4VA00274A>
- Rodríguez, C., García, B., Pinto, C., Sánchez, R., Serrano, J., & Leiva, E. (2022). Water Context in Latin America and the Caribbean: Distribution, Regulations and Prospects for Water Reuse and Reclamation. *Water*, 14(21), 3589. <https://doi.org/10.3390/w14213589>
- Santos, L., Brás, I., Ferreira, M., Domingos, I., & Ferreira, J. (2024). Life Cycle Assessment of Green Space Irrigation Using Treated Wastewater: A Case Study. *Sustainability*, 16(13), 5696. <https://doi.org/10.3390/su16135696>
- Shamsad, J., & Ur Rehman, R. (2025). Innovative approaches to sustainable wastewater treatment: a comprehensive exploration of conventional and emerging technologies. *Environ. Sci.: Adv.* 4(2). <http://dx.doi.org/10.1039/D4VA00136B>
- Shi, X., Miao, X., Xiong, H., & Bian, X. (2025). Estimation of bearing capacity of bimsoils under shallow foundations. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 17(9), 1674-7755. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2024.11.009>

ARTÍCULO ORIGINAL

Análisis de rotura de presa para simular la propagación e impacto del flujo de descarga, presa Limón, San Felipe, Perú 2023

Dam break analysis to simulate the propagation and impact of the discharge flow, Limón Dam, San Felipe, Perú 2023

Mejía, E.¹ 

RESUMEN

Este estudio tiene como propósito simular la propagación y magnitud del caudal generado por la ruptura de la presa Limón, una estructura tipo CFRD (Concrete Face Rockfill Dam) de 43 metros de altura, 332 metros de longitud y 10 metros de ancho en la cresta. El embalse asociado posee una capacidad de almacenamiento de 14.63 millones de metros cúbicos (año 2022). La investigación se desarrolló en dos fases: primero, se realizó un análisis de rotura de presa mediante el software EMBREA, lo que permitió estimar las dimensiones de la brecha y generar los hidrogramas de ruptura. Luego, estos hidrogramas fueron utilizados en la modelación hidráulica con HEC-RAS 6.3.1 para evaluar la propagación de las caudales aguas abajo, sobre el río Huancabamba. En el primer escenario, se obtuvo un caudal pico de 15,134.88 m³/s, una superficie inundada de 29.09 km² y un tiempo de llegada al último punto de control de 14:10. En el segundo escenario, el caudal pico fue de 16,653.30 m³/s, con una inundación de 33.04 km² y una llegada a las 16:10. En ambos casos, se identificaron 82 localidades afectadas por el evento.

Palabras clave: Presa, rotura de presa, predicción de brecha, modelamiento hidráulico.

ABSTRACT

This study aims to simulate the propagation and magnitude of the discharge flow produced by the rupture of the Limón dam, the CFRD type dam is 43 meters high, 332 meters long and has a crest of 10 meters, the reservoir has a storage capacity of 14.63 MMC (year 2022). This study was developed in two important parts, firstly, a dam break analysis was carried out using the EMBREA software, with which it was possible to predict the dimensions of the breach and the break hydrograph, then, taking the break hydrographs obtained, we proceeded with hydraulic modeling in the HEC-RAS 6.3.1 software to evaluate the propagation of flows downstream of the Huancabamba river dam. For the first scenario, a peak flow of 15134.88 m³/s was found at the time of the rupture, a flood that covers 29087685.19 m², an arrival time to the last control point of 14:10, likewise for the second scenario a peak flow of 16653.30 m³/s at the time of the rupture, a flood of 33035546.8 m² and an arrival time at the last control point of 16:10. Finally, for both scenarios, 82 affected localities were quantified.

Keywords: Dam, Dam break, breach prediction, hydraulic modeling.

* Autor para correspondencia

¹ Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Perú. Email: emejiah.1507@gmail.com

INTRODUCCIÓN

Se conoce que históricamente las civilizaciones han tenido interés por aprovechar el agua para encaminar su desarrollo económico y satisfacción de sus necesidades, en la actualidad este recurso permanece siendo de gran interés y atención dada su escasez o exceso.

Proyecciones muestran que en las siguientes décadas, la demanda de agua será del 2% a 3% cada año, ante esta realidad, administrar el agua supone la construcción de presas para su almacenamiento, mundialmente se conoce que se han edificado aproximadamente 58713 presas para cubrir la necesidad en irrigación (50%), producción de energía (20%), consumo humano (11%), y control de inundaciones (9%), y otras industrias de menor demanda (ICOLD, 2020, pág. 1).

En el campo de la ingeniería se acepta la categorización de ICOLD que propone que una presa grande tiene una altura igual o mayor a 15 metros o cuyo almacenamiento sea mayor a 3 MMC si la altura es menor de 15 metros y 3 metros como mínimo. (ICOLD, 2011), Tal clasificación la toma la adopta el gobierno peruano para plasmarlo dentro de una normativa que pretende regular la operación y seguridad de las presas de agua (ANA, 2018, pág. 3)

En este contexto es importante reconocer que la existencia de una presa supone un peligro que se asocia al riesgo de inundaciones, si bien un embalse tiene la capacidad de atenuar eficazmente crecidas en los ríos, si por alguna razón una presa emplazada dentro de un río llega a fallar las inundaciones producidas serán de magnitudes significativamente mayores a las que naturalmente puede producir la cuenca, por lo que se supone la ocurrencia de daños materiales y pérdidas humanas. España, (Dirección General del Agua, 2021, pág. 9)

El fenómeno de rotura se ha dado a nivel mundial, es muy conocida la falla de la Presa Teton, cuya construcción culminó en noviembre del año 1975, la falla se produjo el 5 de junio de 1976 ocasionando daños en las ciudades de Sugar y Reburg en los Estados Unidos, esta tragedia marco un hito en el desarrollo en el campo de la seguridad de presas en EE. UU. Escudero Bueno et al. (2014, pág. 23)

ICOLD establece como rotura de presa al colapso parcial o total que sufre el cuerpo de una presa, esta institución especializada ha encontrado que la falla de presas representa 2,2% de las existentes hasta el año 1950, en adelante ha disminuido a 0,5%, además el 70% se han dado en los primeros 10 años de su funcionamiento y los motivos más recurrentes están relacionados a problemas de la fundación, erosión interna y poca resistencia al corte de la fundación, lo cual barca un 21%. (ICOLD, 1995, pág. 25).

En el Perú, se inicia un desarrollo de normativas en torno a esta temática en el año 1972 al publicarse una norma orientada a la seguridad de Presas y Reservorios, posteriormente en 2003, se pretendió aprobar el Reglamento de seguridad de presas, sin embargo, esto fue posible en el año 2017 cuando se aprueba: “Normas y Reglamentos de seguridad de presas en el Perú” (ANA, 2017, pág. 1).

La presa que es materia de evaluación en este trabajo es la Presa Limón de tipología CFRD con un tamaño de 43 metros y una capacidad de almacenamiento inicial de 36 MMC (2012) y actualmente de 14.63 MMC (año 2022), está ubicada sobre el río Huancabamba, localidad de San Felipe, Cajamarca, el proyecto del que forma parte es el proyecto de irrigación Olmos que tiene como principal objetivo suplir con la demanda hídrica en áreas de sembrío de Olmos, la presa cuenta con una obra de aliviadero tipo móvil que dispone de 03 compuertas radiales con capacidad de 1 740 m³/s, además un túnel de trasvase de 20 km. (Concesionaria Trasvase Olmos S.A., 2019, pág. 10).

Para desarrollar el estudio de rotura de presa se debe ser abordado entendiendo al embalse como un ente regulador y de almacenamiento que asocia un peligro potencial de inundaciones, esta es una grande presa y de categoría A en respecto con su riesgo potencial según normativa peruana (Concesionaria Trasvase Olmos, 2017, pág. 6)

Para operar una presa es necesario diversos documentos de guía, tales como manuales de operación, programas de mantenimiento y uno importante, un plan de acción de emergencia que se gesta a partir de un análisis de rotura, de esta manera es posible conocer el desarrollo de inundaciones en terminos de magnitud, además las consecuencias que se pueden presentar sobre las areas vulnerables, de esta manera se podrá elaborar instrumentos de gestión necesarios para una buena actuación ante una emergencia de tal manera que se disminuya el riesgo de rotura al mismo tiempo que se salvaguarda la vida humana (ANA, 2017, pág. 22)

Esta investigación se basa en la necesidad de planificar actividades relacionadas con situaciones de emergencia y la necesidad de comprender las consecuencias de la falla de una presa, contando con herramientas informáticas capaces de modelar y simular tales fenómenos. (US Army Corps Of Engineers, 2022, pág. 21). De esta forma, es posible comprender el alcance del impacto, delimitar las zonas de inundación y comprender el momento del movimiento del pico de las olas, facilitando la planificación de acciones y la prevención en caso de emergencia. (ICOLD - EC, 2017, pág. 22).

A partir de las preguntas formuladas se delinea el objetivo general: simular la distribución y magnitud del derrame resultante de la ruptura de la Presa Limón. Además, objetivos específicos:

- Simular la liberación de inundaciones por la rotura de una presa.
- Simulación de niveles de inundación provocados por la liberación de agua durante la rotura de una presa.
- Simular el tiempo de propagación del tráfico pico en diferentes puntos estratégicos.
- Determinar el alcance del impacto de las inundaciones.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación, de tipo aplicada y diseño cuasi experimental, se desarrolló con el propósito de simular la rotura de la presa Limón y evaluar la propagación del flujo de descarga aguas abajo. La presa Limón, ubicada en la cuenca baja del río Huancabamba, fue seleccionada como muestra mediante muestreo no probabilístico, dirigido a criterio del investigador. La variable independiente fue el análisis de rotura de presa, definida operativamente por sus características geométricas, estructurales y parámetros de brecha; mientras que la variable dependiente fue la simulación de la propagación del flujo, evaluada mediante área de inundación, caudal pico, velocidad, profundidad y tiempo de llegada.

Para la recopilación de datos se empleó la técnica de observación directa, registrando información en fichas diseñadas en Excel. La validez de los instrumentos fue confirmada por tres expertos con coeficientes de 0.9, considerados dentro del rango de “validez perfecta” según Herrera (1998). La confiabilidad se garantizó mediante el uso de software especializado de libre acceso, incluyendo HEC-RAS 6.3.1, QGIS 3.28.5 y EMBREA Lite.

El modelamiento de la brecha se realizó en EMBREA, software desarrollado por HR Wallingford, que permite simular la formación de brechas en presas con materiales de distinta erosionabilidad. Se consideraron dos escenarios: rotura en buen tiempo (época seca) y rotura en mal tiempo (época lluviosa), obteniendo para cada uno el hidrograma de descarga correspondiente.

Con los hidrogramas generados, se procedió al modelamiento hidráulico en HEC-RAS, estableciendo condiciones de flujo, coeficientes de rugosidad y límites de entrada y salida. Los resultados permitieron delimitar áreas de inundación, tiempos de propagación y poblaciones afectadas.

Tabla 1.*Características geométricas de la presa Limón*

Nivel de coronación de la presa	1 123 m.s.n.m.
NAMO	1 120 m.s.n.m.
Longitud de presa	332 m
Ancho en la corona	10 m
Tamaño de la presa	43 m
Talud de cara aguas arriba	V:H = 1:1,5
Talud de cara aguas abajo	V:H = 1:1,5
Ancho de la berma	10 m
Pantalla de concreto	0,55 – 0,42 m
Cortina de impermeabilización	40 m
Volumen del cuerpo de la presa	830 000 m ³

Nota. La tabla muestra datos propios de la presa. Tomado del MOM 2019 Presa Limón.

La presa en estudio se denomina (Presa Limón) es una presa de material suelto con enrocado y pantalla de concreto, o CFRD, una presa que se adapta a diversas condiciones geográficas y geológicas.

La granulometría de la presa Limón, esta está clasificada con material del tipo 2A a 4^a, las especificaciones del material de zonificación de presas CFRD está descrito por el ICOLD publicado en el Boletín 141: “Concrete Face Rockfill Dams – Cocepts for design and construcción”. (ICOLD, 2010).

Se partió realizando un análisis de rotura con el fin de determinar las dimensiones de la brecha y en consecuencia también el hidrograma que define el desembalse durante la falla, el desarrollo de la rotura es altamente sensible al volumen de agua almacenado, material de la presa, altura y tipo de falla. (SPANCOLD-CNEGP 2013, pág. 64)

La información necesaria para proceder con la elaboración del modelo, consideran datos de la geometría de la presa, granulometría del material de la presa, volumen de almacenamiento. Ver tabla 2.

El análisis de rotura y determinación de brecha se utilizó el modelo EMBREA debido a la calidad de sus resultados y la consideración de características de la presa y escenarios de rotura.

Tabla 2.*Especificaciones del material de cuerpo de la presa*

Diámetro medio d50 (mm)	57	Fuerza de Tensión (Kn/m2)	0
Ángulo de fricción (°)	45	Índice de plasticidad	0
Porosidad	0,15	Coefficiente de Erosionabilidad (cm3/N. S)	17,7
Cohesión (kN/m2)	0	Esfuerzo cortante crítico (N/m2)	0
Peso específico seco (kN/M3)	22	Coefficiente de Rugosidad (Ven Te Chow, 1995)	0,03

Nota. La tabla muestra los datos considerados para el análisis.

Se definió 2 escenarios de falla para evaluar la rotura, el primer escenario supone condiciones meteorológicas con escasa presencia de lluvias en temporada seca y con el embalse hasta el NAMO y el segundo escenario supone condiciones meteorológicas adversas, lluvias y crecida de gran magnitud y el embalse hasta la cota 1113 msnm, se ha considerado la crecida de diseño de 1 740 m3/s. En la tabla 3 puede observarse el planteamiento de los escenarios.

Tabla 3.*Escenarios de falla*

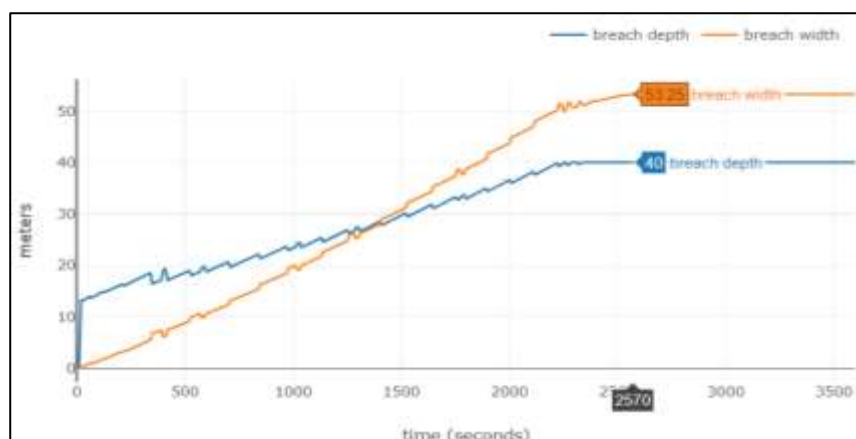
Escenario	Escenario 01	Escenario 02
Tipo de falla	Tubificación	Tubificación
Caudal de ingreso	Caudal medio anual de 26,88 m3/s	Crecida: 1 740 m3/s
Nivel Inicial del Embalse (msnm)	1120,00	1113,00
Nivel Inicial de brecha (msnm)	1100,00	1100,00

Nota. La tabla muestra el detalle de los escenarios planteados.

RESULTADOS

Determinación de la Brecha de rotura

Luego de correr algunos modelos de prueba se estableció un tiempo de cálculo para el primer escenario se fijó un tiempo de 3 600 segundos mientras que para el segundo escenario un tiempo de 10 800 segundos, esto se explica dado que el segundo escenario parte de un nivel de embalse más bajo y tarda más en iniciar el proceso de rotura.

Figura 1*Desarrollo de la brecha para el escenario 01*

Nota. La figura muestra el inicio de la brecha y su desarrollo en “Embrea Lite”.

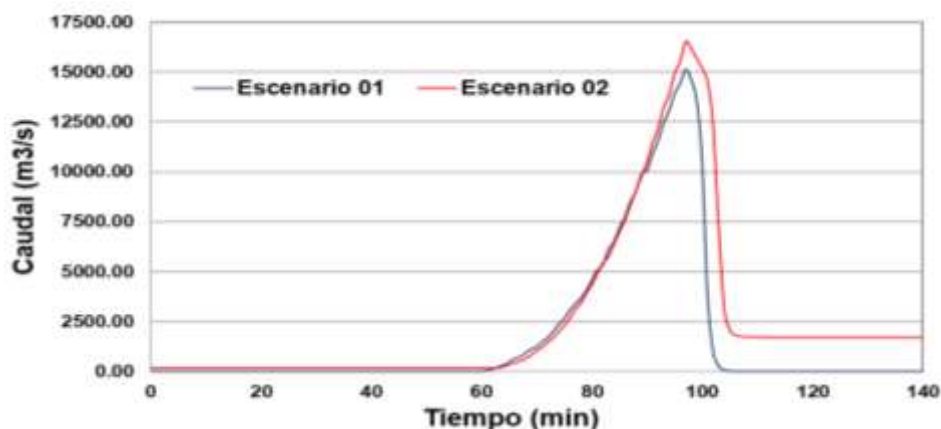
Después de correr nuestros modelos con EMBREA Lite, se obtuvieron las características de la brecha y el hidrograma de rotura que el programa entrega para cada escenario. Se encuentra que el escenario 02 es el mas desfavorable dada la magnitud del caudal pico, tal como se detalla en la tabla 4.

Tabla 4.

Parámetros de la brecha

Parámetro	Escenario 01	Escenario 02
Caudal máximo (m ³ /s):	15 134,88	16 653,30
Tiempo al caudal pico (s):	2 220,00	11 100,00
Cota del Embalse (msnm):	1 112,50	1 114,63
Ancho de la Brecha (m):	53,25	63,92
Altura de la Brecha (m):	40,00	40,00

Nota. La tabla muestra los resultados del análisis de rotura para ambos escenarios.

Figura 2*Hidrogramas de rotura (Escenarios 1 y 2)*

Nota. La figura muestra la evolución del caudal de rotura para los escenarios plantados.

Modelamiento hidráulico de la propagación del flujo.

Para el modelamiento hidráulico se ha utilizado el software HEC RAS en su versión 6.3.1.

La modelo hidráulica tomo como data de ingreso los hidrogramas de rotura, la información del terreno se considera información satelital, se incluyó la rugosidad para el terreno y el eje del rio mediante SIG.

Para cubrir la superficie del rio para evaluar la inundación, se obtuvieron 190 imágenes raster con una resolución de píxel de 10 metros, desde la plataforma web de Eos Data Analytics.

Se creó la geometría desde la presa Limón hasta el puente Corral Quemado. El paso siguiente fue generar la malla computacional, dentro del área de interés, este polígono se digito en QGIS, el tamaño de celda de la malla computacional se estableció en 20 metros.

El coeficiente de rugosidad se ha estimado para la superficie de inundación esto engloba el cauce del río, las riberas y las laderas, los usos de suelo son en su mayoría.

El cálculo de la rugosidad “n” se ha realizado mediante el método propuesto por Cowan (1956), la ecuación se presenta a continuación: Río Cauce (0,056), Cultivos (0,040), Árboles (0,089), Quebrada (0,086), Poblado (0,110), Carretera (0,020), Laderas (0,060), Presa (0,058).

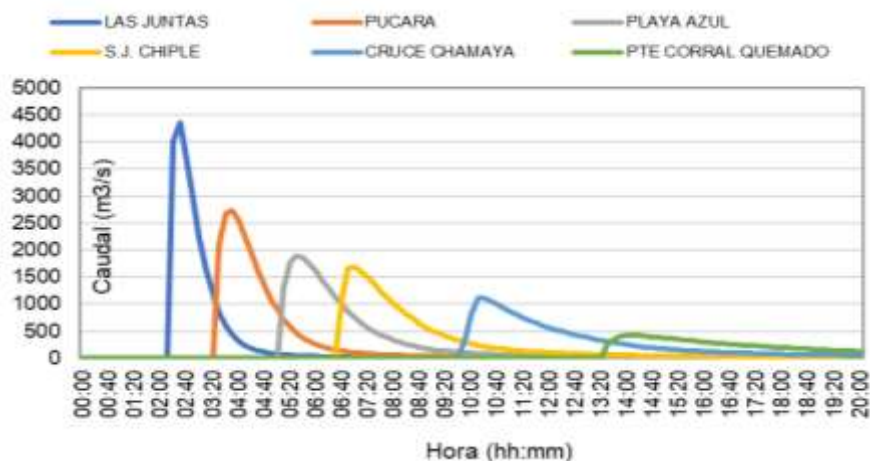
Para evaluar la propagación se estableció 06 secciones a lo largo del tramo del rio aguas debajo de la presa, estas se encuentran en las siguientes localidades: Las Juntas, Pucara, Playa Azul, Cruce Chamaya, Puente C. Quemado.

Propagación del caudal pico.

La propagación del caudal pico y todo el flujo en general está directamente asociado a las velocidades producidas en el modelo, la evaluación de la propagación del flujo de descarga, consideró cinco puntos de interés aguas abajo de la presa Limón.

Figura 3

Propagación de caudales pico Escenario 01



Nota. La figura muestra el tiempo que tarda en llegar el máximo caudal a cada punto de control.

Para el escenario 01 la propagación de los caudales de descarga y el caudal pico han evolucionado como se muestra en la figura 3.

Los tiempos de propagación del caudal pico se muestran en la tabla 5, para los escenarios planteados se ha encontrado la propagación de los caudales de descarga y el caudal pico en cada sección de control.

Tabla 5.

Tiempos de propagación (Escenario 01 y Escenario 02)

Sección control	Caudal (m3/s) (escenario 01)	Tiempo (hh:mm) (escenario 01)	Caudal (m3/s) (escenario 02)	Tiempo (hh:mm) (escenario 02)
Las Juntas	4 351,537	02:30	5547.608	02:20
Pucara	2 724,449	03:50	3717.389	03:30
Playa Azul	1 887,698	05:30	2781.872	05:10
S.J. Chiple	1 688,828	07:00	2586.145	06:30
Cruce Chamaya	1 115,375	10:20	2042.231	09:20

Puente C.	424,805	14:10	1628.594	16:10
Quemado				

Nota. En la tabla se muestran los resultados de caudal pico y tiempo de llegada a la sección de control.

Áreas de Inundación

El área de inundación que resultó del modelamiento hidráulico corresponde a todo el terreno que fue cubierto por el paso del flujo de descarga, es términos de HEC-RAS el área inundable se representa por los niveles máximo alcanzados por el paso del caudal pico a lo largo y ancho de la malla computacional.

Se determinó las áreas de inundación para el tramo de 114 km del río desde la presa Limón hasta el puente Corral Quemado, en la figura 4 se muestra la inundación máxima sobre el área de estudio.

Figura 4

Áreas de inundación máxima Escenario 01



Nota. La imagen muestra la inundación en el modelo HEC-RAS.

Para el escenario 01 se determinó un área de inundación que asciende a 2 908 685,19 metros cuadrados, o 2 908,77 hectáreas y profundidades que alcanzan los 18,59 metros como máximo. Para el escenario 02, se determinó un área de inundación que asciende a 33 035 546,8 metros cuadrados, o 3 303,56 hectáreas y profundidades que alcanzan los 19,63 metros como máximo.

Poblaciones afectadas

Se extrajo los centros poblados que estaban dentro y alrededor del polígono de inundación, cuyas áreas aledañas se vieron afectadas por las áreas de inundación.

Finalmente se determinaron los poblados afectados por la rotura de la presa, usando herramientas SIG. En total se encontró 81 centros poblados pertenecientes a las provincias de Jaen, Cutervo, y Utcubamba, además 1 distrito (Pucará), tal como se presenta en la tabla 6.

Tabla 6.

Relación de poblados vulnerables a una rotura de presa

Cantidad	Distrito	Provincia	Departamento
17	Pomahuaca	Jaen	Cajamarca
23	Pucara	Jaen	Cajamarca
3	Querocotillo	Cutervo	Cajamarca
5	Callayuc	Cutervo	Cajamarca
6	Colasay	Jaen	Cajamarca
1	Santa Cruz	Cutervo	Cajamarca
12	Choros	Cutervo	Cajamarca
2	Pimpingos	Cutervo	Cajamarca
10	Jaen	Jaen	Cajamarca
3	Cumba	Utcubamba	Amazonas

Nota. De la relación mostrada todos corresponden a centros poblados afectados.

El área urbana del caserío Las Juntas ubicado a 14 kilómetros río abajo presenta una afectación completa para el escenario de rotura en mal tiempo. La zona urbana del distrito de Pucará se ubica en las áreas adyacentes al río Huancabamba la afectación se daría de forma parcial para ambos escenarios de rotura, con una ligera superioridad del escenario de rotura en mal tiempo. En Playa Azul, aunque su zona urbana no sería afectada por la rotura de la presa, la estación de bombeo del Oleoducto Nor Peruano sufriría afectación total. San Juan de Chiple no presentaría daños urbanos, ya que las áreas inundables están fuera de su perímetro. Cuica tendría afectación parcial en viviendas cercanas al río. Puente Chamaya II vería más del 50 % de sus viviendas urbanas inundadas. Mesones Muro, en Jaén, tendría afectación mínima en viviendas próximas al cauce. Chamaya, también en Jaén, sufriría afectación parcial en su zona urbana, especialmente en viviendas cercanas al río.

DISCUSIÓN

El primer objetivo fue simular la magnitud de los caudales de descarga por rotura de presa. Según Costa (1985), el caudal pico está directamente relacionado con la altura y volumen del embalse; Verma et al. (2023) añaden que también influyen parámetros hidráulicos, geométricos y geotécnicos. Este estudio obtuvo caudales pico de 15,134.88 m³/s (buen tiempo) y 16,653.30 m³/s (mal tiempo), con una diferencia del 10.03%. Gaagai et al. (2022), en Argelia, reportan 8,768 m³/s para una presa similar, pero con menor volumen (5.7 MMC), lo que explica la discrepancia.

El segundo objetivo abordó la simulación del nivel de inundación. ICOLD (2003) y la DGA (2021) señalan que las fallas estructurales u operativas generan inundaciones severas. Este estudio identificó áreas inundadas de 29.09 km² y 33.04 km², con profundidades de 18.59 m y 19.63 m. Mihretab G. & Kyungsoo J. (2021), en Etiopía, hallaron 240 km² para un caudal de 6,161.1 m³/s, lo que refleja diferencias topográficas y de volumen de embalse.

El tercer objetivo fue simular los tiempos de propagación del caudal pico. Se aplicaron las ecuaciones WSE recomendadas por ICOLD (1998) e integradas en HEC-RAS. Los tiempos fueron de 14 h 10 min y 16 h 10 min hasta Corral Quemado. Toapaxi y Acero (2021), en Ecuador, reportan 2 h 30 min para 36.2 km, frente a los 114.5 km de este estudio.

Finalmente, se evaluó el nivel de afectación. ICOLD (2003) y DGA (2021) advierten impactos sociales, económicos y ambientales. Se identificaron 81 centros poblados y 1 distrito afectado. Cuaresma et al. (2021) y Bilali et al. (2021) confirman daños similares.

CONCLUSIONES

El análisis de rotura realizado de la presa Limón bajo la premisa de una rotura por erosión interna que propicia un proceso de tubificación, permitió obtener la información necesaria para realizar un modelamiento hidráulico con lo cual se pudo evaluar el desarrollo y la propagación del flujo de descarga para el tramo estudiado y así también los efectos que podría generar este evento.

Para efectos de este estudio, se partió realizando un análisis de rotura con el modelo EMBREA en su versión gratuita, con este elaborado software para predecir brechas de rotura, se determinó las dimensiones de la brecha y se logró predecir los hidrogramas de rotura de la presa Limón, se encontró un caudal pico de 15 134,88 m³/s y 16 653,30 m³/s para los escenarios 1 y 2 respectivamente.

El análisis de rotura de la presa Limón permitió analizar las magnitudes de caudal de descarga, la simulación seguida del fenómeno hidráulico que produce este evento mostró conocer las características de la inundación que podría materializarse, se encontró que la inundación que abarca áreas de: 29 087 685,19 metros cuadrados y 33 035 546,8 metros cuadrados para los escenarios 1 y 2 respectivamente, la diferencia es de solo 13,57% en base al escenario 1, se encontraron profundidades máximas de 18,59 metros y 19,63 metros para los escenarios de rotura 1 y 2 respectivamente.

La propagación de los caudales máximos se logró determinar mediante el modelamiento hidráulico en HEC-RAS usando los hidrogramas de rotura, se establecieron 5 secciones de control en Las Juntas, Pucara, Playa Azul, Cruce Chamaya y Puente C. Quemado. En estos puntos de

interés se estimaron los tiempos de llegada del caudal más alto encontrándose los tiempos de 02:30, 03:50, 05:30, 07:00, 10:20, 14:10 para el primer escenario de rotura y 02:20, 03:30, 05:10, 06:30, 09:20, 16:10 para el segundo escenario, se encuentra una diferencia de dos horas para el último punto considerado entre ambos escenarios, concluyendo que la propagación de caudales es más rápida en el segundo escenario.

Este estudio contempló un breve análisis del nivel de afectación producido una rotura de la presa Limón, dado que la diferencia en cuanto a inundación para ambos escenarios es de solo 13,57%, tal afectación es la misma, se pudo determinar un total de 81 centros poblados y además el distrito de Pucará que son afectados por efectos del tránsito de caudales ante la rotura de la presa Limón, la afectación también se da en áreas agrícolas, viviendas, y zonas de crianza de animales domésticos, se concluye que existe afectación negativa sobre las poblaciones vulnerables aguas debajo de la presa, se puede inferir que también podría haber consecuencias fatales si no se hace una adecuada gestión de los riesgos asociados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA. (2018). *Compendio Nacional de Estadísticas de Recursos Hídricos 2018*. Lima: Ministerio de Agricultura y Riego - PERU. Obtenido de <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/compendio-nacional-estadisticas-recursos-hidricos-2018>
- ANA. (2018). *Reglamento de Seguridad de Presas Públicas de Embalses de Agua*. Lima: Ministerio de Agricultura y Riego - PERU.
- Bello, D., Alcayaga, H., Caamaño, D., & Pizarro, A. (2022). *Influence of Dam Breach Parameter Statistical Definition on Resulting Rupture Maximum Discharge*. CHILE.
- CIGB ICOLD. (2003). *Bulletin 125 - Dams and Floods*. Paris: ICOLD.
- Concesionaria Traslase Olmos. (2017). *Informe de Clasificación de la Presa Limon*. Jaen: CTO.
- Concesionaria Traslase Olmos S.A. (2019). *Manual de Mantenimiento de las Obras Civiles en Las Obras De Traslase Del Proyecto Olmos*. CTO.
- Costa, J. (1985). *Floods from Dam Failures*. USGS - US Geological Survey. Colorado: Open-File Services Section - USGS.
- Escudero Bueno, I., Gonzáles Pérez, J., Altarejos García, L., Ardiles López, L., Castillo Rodríguez, J., Chacon Cano, M., Serrano Lombillo, A. (2014). *Metodología para la Evaluación del Riesgo Hidrológico de Presas y Priorización de Medidas Correctoras*. Valencia, España.

- Gaagai, A., Amir Aouissi, H., Krauklis, A., Burlakovs, J., Athamena, A., Zekker, I., Chenchouni, H. (2022). *Modeling and Risk Analysis of Dam-Break Flooding in a Semi-Arid Montane Watershed: A Case Study of the Yabous Dam*, Northeastern Algeria. Algeria.
- ICOLD - EC. (2017). *Management of Dam Incidents. European Club*, ITALY.
- ICOLD. (1995). *Bulletin 99 - Dam Failures Statical Analysis*. Paris: Imprimerie de Montligeon.
- ICOLD. (1998). *Bulletin 111 - Dam Break Flood Analysis*. Montliegeon - Francia: Imprimerie de Montligeon.
- ICOLD. (2010). *Bulletin 141 - Concrete Face Rockfill Dams: Concepts for Design and Construction*. Paris: ICOLD.
- ICOLD. (2011). *Constitution Status*. Paris: ICOLD. Obtenido de https://www.icold-cigb.org/userfiles/files/CIGB/INSTITUTIONAL_FILES/Constitution2011.pdf
- ICOLD. (2020). *Worl Register Dams - General Synthesis*. Obtenido de https://www.icold-cigb.org/GB/world_register/general_synthesis.asp
- Mihretab G., T., & Kyungsoo Jun, Y. C. (2021). *Flood Mapping from Dam Break Due to Peak Inflow: A Coupled Rainfall–Runoff and Hydraulic Models Approach*. Etiopia.
- SPANCOLD-CNEGP. (2013). *Analisis de Riesgos Aplicado a la Seguridad de Presas y Embalses (Guia Técnica)*. Comité Nacional Español de Grandes Presas. Madrid: Exce Consulting Group.
- Toapaxi Alvarez, J., & Acero Quilumbaquin, A. (2021). *Análisis de Inundación por Rotura de Presa Utilizando el Modelo HEC-RAS 2D: Caso de Estudio de la Presa Mulacorral*, Ecuador.
- US Army Corps Of Engineers. (2022). *HEC-RAS User's Manual*. EE.UU.
- Verma, D., Berwal, P., Amir Khan, M., Raied Saad, A., Alfaisal, F., & Rathnayake, U. (2023). *Design for the Prediction of Peak Outflow of Embankment Breaching Due to Overtopping by Regression Technique and Modelling*. India. doi:<https://doi.org/10.3390/w15061224>

ARTÍCULO ORIGINAL

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

Susceptibility to beta-lactams and resistance due to extended-spectrum beta-lactamases (ESBL) in *Enterobacteriaceae* isolated from hospital surfaces in a hospital in the province of Jaén

Pérez, G.¹ , Carrasco, J.² , De la Cruz, A.³ , Vásquez, N.⁴  y Ortiz, C.⁵ 

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar la presencia de *Enterobacteriaceae* BLEE en superficies hospitalarias de un hospital en la provincia de Jaén y analizar su resistencia a antibióticos. Se recolectaron un total de 110 muestras de superficies como lavabos, grifos, mesas, camas y tablillas de historia clínica, procedentes de las áreas de laboratorio clínico y triaje. Los cultivos bacterianos fueron aislados e identificados mediante técnicas convencionales y se utilizó el método de doble disco para determinar la producción de BLEE. Los resultados mostraron una alta prevalencia de *Enterobacteriaceae* BLEE, con predominancia de *Enterobacter cloacae* (8 cepas) y *Escherichia coli* (8 cepas). Además, la resistencia a imipenem fue notable, destacando la importancia de este antibiótico en el tratamiento de infecciones hospitalarias. Los hallazgos sugieren que las superficies hospitalarias son reservorios clave para la transmisión de bacterias multirresistentes. Se compararon los resultados obtenidos con estudios previos sobre la colonización de superficies hospitalarias por *Enterobacteriaceae* BLEE, confirmando la relevancia del control ambiental en la prevención de infecciones nosocomiales. Estos resultados resaltan la necesidad de implementar mejores prácticas de desinfección y monitoreo en hospitales para reducir la propagación de estas bacterias resistentes, con un enfoque en la vigilancia de superficies de alto contacto.

Palabras clave: Antibióticos, enterobacterias, infecciones nosocomiales, patógenos hospitalarios.

ABSTRAC

The objective of this study was to assess the presence of extended-spectrum beta-lactamase-producing *Enterobacteriaceae* (ESBL-E) on hospital surfaces in a hospital located in the province of Jaén and to analyze their antibiotic resistance. A total of 110 samples were collected from surfaces such as sinks, faucets, tables, beds, and medical record boards, originating from the clinical laboratory and triage areas. Bacterial cultures were isolated and identified using conventional techniques, and the double disc method was employed to determine the production of ESBL. The results showed a high prevalence of ESBL-producing *Enterobacteriaceae*, with a predominance of *Enterobacter cloacae* (8 strains) and *Escherichia coli* (8 strains). Furthermore, resistance to imipenem was notable, emphasizing the importance of this antibiotic in the treatment of hospital-acquired infections. The findings suggest that hospital surfaces serve as key reservoirs for the transmission of multi-drug resistant bacteria. The results were compared with previous studies on the colonization of hospital surfaces by ESBL-producing *Enterobacteriaceae*, confirming the relevance of environmental control in the prevention of nosocomial infections. These results highlight the need to implement improved disinfection practices and monitoring in hospitals to reduce the spread of these resistant bacteria, with a focus on the surveillance of high-contact surfaces.

Keyword: Antibiotics, enterobacteria, nosocomial infections, hospital pathogens.

* Autor para correspondencia

¹ Universidad Nacional de Jaén, Perú. Email: Gildert.perez@est.unj.edu.pe, juan.carrasco@est.unj.edu.pe, ademar.delacruz@est.unj.edu.pe, cristhian.ortiz@est.unj.edu.pe

² Hospital General de Jaén, Perú. Email: tmvasquez14@gmail.com

INTRODUCCIÓN

La Organización Mundial de la Salud (OMS) clasifica a las enterobacterias productoras de betalactamasas de espectro extendido (BLEE) como patógenos de alta prioridad, debido a su resistencia a los antibióticos (Wilson & Török, 2018; Chang et al., 2020). La resistencia antimicrobiana generada por las BLEE representa un desafío creciente para la salud pública global (Tejada et al., 2015). Varios factores de riesgo, particularmente en entornos hospitalarios, como enfermedades concurrentes, comorbilidades, pacientes con el sistema inmunológico comprometido, el uso constante de catéteres y otros dispositivos invasivos, junto con prácticas insuficientes de desinfección y prevención, son responsables de las altas tasas de resistencia antimicrobiana, lo que resulta en un aumento en la morbilidad y mortalidad (Falconí et al., 2018; Ochoa et al., 2022).

La resistencia a los antimicrobianos (RAM) afecta negativamente. En un contexto de creciente resistencia, la evolución de la resistencia causada por las BLEE ha generado un aumento en la morbilidad, mayor duración de las hospitalizaciones y tratamientos más costosos. Las bacterias BLEE contienen los genes responsables de estas enzimas en sus plásmidos o cromosomas. Estas bacterias producen β -lactamasas hidrolizadoras, y la OMS las clasifica como uno de los patógenos más difíciles de tratar. Las enterobacterias BLEE-E muestran resistencia a penicilina, aztreonam y las cefalosporinas de primera, segunda y tercera generación, aunque no afectan a la cefamicina ni a los carbapenémicos. El carbapenem ha sido tradicionalmente el tratamiento de elección para infecciones causadas por BLEE-E (Castanheira, Simner, & Bradford, 2021; Husna et al., 2023).

El principal mecanismo de resistencia a los antibióticos β -lactámicos es la hidrólisis de estos fármacos, llevada a cabo por la enzima β -lactamasa, la cual es utilizada por diversas bacterias, entre ellas *Escherichia*, *Klebsiella*, *Morganella*, *Citrobacter*, *Proteus*, *Enterobacter* y *Serratia*. Además, se ha demostrado que otras bacterias no pertenecientes a esta familia, como *Pseudomonas aeruginosa* y *Acinetobacter baumannii*, también producen β -lactamasa (Fadare & Okoh, 2021; Abay et al., 2025).

Las BLEE surgen a partir de genes vinculados con betalactamasas de espectro estrecho, mediante mutaciones que modifican la estructura de los aminoácidos alrededor del sitio activo de la enzima (Fadare & Okoh, 2021). Comúnmente, los plásmidos, que se transfieren fácilmente entre diferentes especies bacterianas, son los que codifican los genes responsables de las betalactamasas.

Estas enzimas son producidas principalmente por bacterias de la familia *Enterobacteriaceae*, especialmente las especies de *Escherichia coli* y *Klebsiella sp.*. Las BLEE se

han identificado como patógenos críticos debido a su alto riesgo para la salud humana (Abay et al., 2025). Los genes *bla* SHV, *bla* TEM y *bla* CTX-M son los principales causantes de la producción de BLEE. El gen CTX-M predomina, y su prevalencia varía según la región. Por ejemplo, en África, el genotipo más común es blaCTX-M₁₅. Además de estos genotipos, existen otros menos prevalentes de ESBL (PER, GES y VEB) y carbapenemasas como KPV, IMP, VIM, OXA-48-like y OXA-1-like (Ling et al., 2021; Abay et al., 2025).

Se han documentado brotes de infecciones provocadas por bacterias BLEE en diversos entornos de atención sanitaria, como los causados por *Klebsiella oxytoca* en unidades médicas y de cuidados intensivos en Toronto, Canadá, y por *Enterobacter cloacae* en una sala de hematología en Dijon, Francia. En el Reino Unido, se identificaron bacterias productoras de BLEE en el ambiente de un gran hospital universitario, destacándose los desagües de los lavabos para lavado de manos como una fuente especialmente problemática. (Kelly et al., 2024; Muzslay et al., 2017).

El entorno hospitalario juega un papel crucial en la transmisión de *Enterobacteriaceae* productoras de BLEE. Chia et al. (2020) destacan la asociación entre las condiciones del entorno hospitalario y la propagación de estas bacterias resistentes, subrayando que las superficies hospitalarias pueden servir como reservorios para su diseminación. Además, el estudio de Riccio et al. (2021) resalta cómo estas bacterias no solo se transmiten en el hospital, sino que también continúan propagándose en el hogar tras el alta hospitalaria, lo que amplifica el alcance de la infección. Vurayai et al. (2022) también subrayan la importancia de la vigilancia ambiental en unidades de cuidados intensivos neonatales, donde la carga biológica de estas bacterias es alta, lo que refuerza la necesidad de un monitoreo constante para prevenir la transmisión en áreas críticas de los hospitales.

El objetivo de esta investigación fue evaluar la presencia de *Enterobacteriaceae* productoras de betalactamasas de espectro extendido (BLEE) en superficies hospitalarias de un hospital en la provincia de Jaén, y analizar su resistencia a diferentes antibióticos.

MATERIAL Y MÉTODOS

Toma de muestra

Durante el primer trimestre de 2025, se obtuvieron un total de 110 muestras de superficies hospitalarias. Las muestras fueron tomadas de superficies como (lavabos, grifos, mesas, camas y tablillas de historia clínica), de las áreas de laboratorio clínico y triaje. Para la recolección, se utilizaron hisopos estériles humedecidos en solución salina estéril; luego, mediante el método de

hisopado de superficies, se rotaron sobre las áreas a muestrear y fueron introducidas en tubos con caldo infusión cerebro corazón (BICB) y transportadas al Laboratorio de Microbiología Médica de la Escuela Profesional de Tecnología Médica de la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad Nacional de Jaén (UNJ) para su procesamiento inmediato.

Aislamiento e identificación de *Enterobacteriaceae*

En el laboratorio, los hisopos fueron retirados de las superficies hospitalarias y los tubos con caldo infusión cerebro corazón (BICB) se incubaron a 37°C durante 24 horas. Al término de este periodo, las muestras se sembraron por estrías en agar sangre y agar McConkey, y se volvieron a incubar por 24 horas a 37°C. Se verificó el crecimiento y luego se procedió a realizar una tinción de Gram para confirmar la morfología y la pureza de los cultivos. Una vez determinada la morfología y pureza, se efectuó la prueba de oxidasa para distinguir las *Enterobacteriaceae* (negativas) de los bacilos gramnegativos no fermentadores (positivos), continuando posteriormente con la identificación bioquímica utilizando métodos convencionales (Procop, Church, Hall, & Janda, 2020).

Determinación de producción de BLEE

Se utilizó el método del doble disco para la detección de producción de BLEE (Das, Mahapatra, & Mazumder, 2023). Para ello, se prepararon suspensiones bacterianas de *Enterobacteriaceae* en solución salina fisiológica estéril al 0,85%, ajustando la turbidez al nivel del tubo 0,5 del Nefelómetro de MacFarland (1.5×10^8 UFC/mL). Posteriormente, las suspensiones fueron inoculadas en agar Mueller-Hinton. En la prueba, se colocó un disco de AMC (20/10 µg) en el centro de las placas, y alrededor de éste, a una distancia de 20 mm, se colocaron discos de CAZ (30 µg), CTX (30 µg), CRO (30 µg), ATM (30 µg), AMP (10 µg), KF (30 µg), FOX (30 µg) y IPM (10 µg). Las placas fueron incubadas a 37°C durante 24 horas.

La presencia de BLEE se confirmó mediante el efecto sinérgico de los inhibidores, observando un efecto tapón de corcho en la ampliación del halo alrededor de uno o varios de los betalactámicos utilizados en la prueba (Procop, Church, Hall, & Janda, 2020).

Análisis de datos

Los datos fueron procesados utilizando software estadístico, específicamente SPSS, para realizar el análisis de varianza (ANOVA) y evaluar las diferencias en los valores promedio de los halos de inhibición generados por los antibióticos sobre las cepas de *Enterobacteriaceae* BLEE. Además, la medición de los halos de inhibición se realizó utilizando un calibrador digital, y los resultados fueron registrados y analizados para determinar la efectividad de los antibióticos seleccionados contra las cepas aisladas de superficies hospitalarias. La significancia estadística de

los resultados se evaluó comparando los halos de inhibición formados por las diferentes cepas utilizando la prueba ANOVA (Mayorga et al., 2021).

RESULTADOS

A partir de las muestras obtenidas de superficies hospitalarias, se recuperaron, aislaron e identificaron un total de 90 cultivos de *Enterobacteriaceae* de importancia clínica: 28 *Enterobacter cloacae*, 22 *Escherichia coli*, 10 *Citrobacter freundii*, 8 *Klebsiella pneumoniae* y 22 de otros géneros. De un total de 110 muestras procesadas, 20 no mostraron crecimiento bacteriano.

Tabla 1.

Distribución de Enterobacteriaceae aisladas de superficies hospitalarias y producción de BLEE.

Microorganismo	Superficies hospitalarias muestreadas					Total	BLEE+
	Lavabo	Grifo	Mesa	Cama	Tablilla		
<i>Enterobacter cloacae</i>	-	2	8	14	4	28	8
<i>Escherichia coli</i>	2	2	10	8	-	22	8
<i>Citrobacter freundii</i>	2	2	-	4	2	10	-
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	2	-	-	6	-	8	2
<i>Hafnia spp.</i>	-	-	4	2	-	6	-
<i>Serratia spp.</i>	-	-	-	2	2	4	-
<i>Yersinia spp.</i>	-	-	-	2	2	4	2
<i>Providencia spp.</i>	-	-	-	2	-	2	-
<i>Enterobacter spp.</i>	-	2	-	-	-	2	2
<i>Proteus spp.</i>	2	-	-	-	-	2	2
<i>Salmonella spp.</i>	-	-	-	2	-	2	-
TOTAL	8	8	22	42	10	90	24

Nota. La tabla 1 muestra la distribución de las *Enterobacteriaceae* aisladas de superficies hospitalarias y la producción de BLEE. Entre los microorganismos más comunes se encuentran *Enterobacter cloacae*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Yersinia spp.*, *Enterobacter spp.* y *Proteus spp.* La tabla también indica las cepas que producen BLEE, destacando que *Enterobacter cloacae* y *Escherichia coli* son los principales productores de BLEE en las muestras de superficies hospitalarias.

Tabla 2.

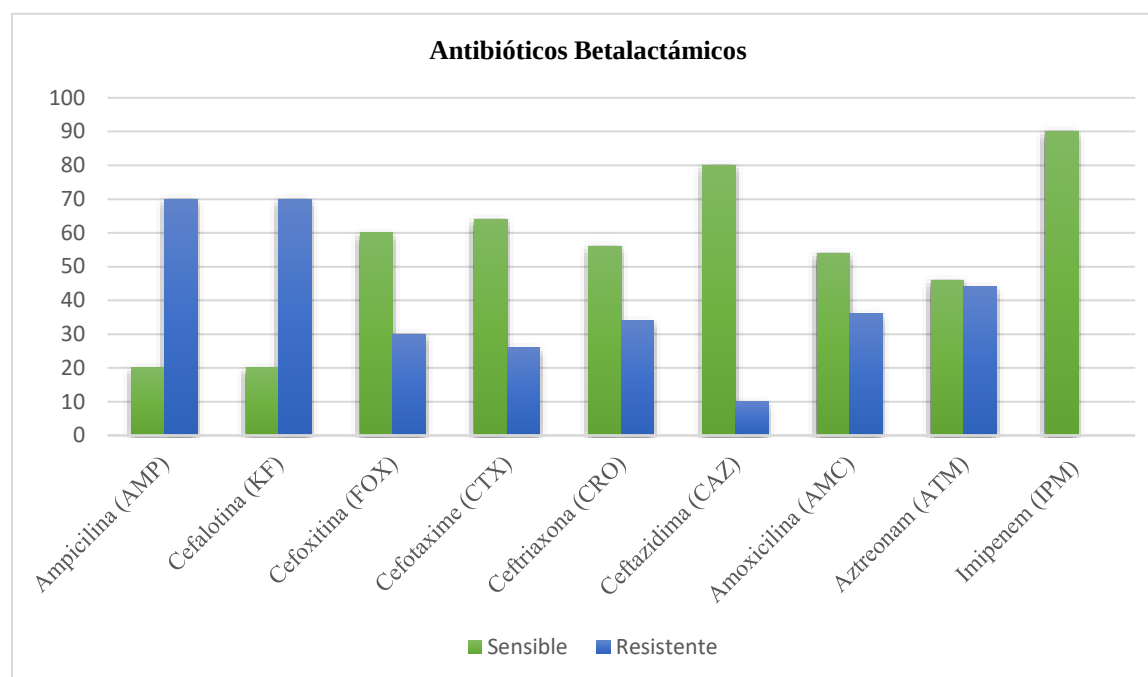
Frecuencia de aislamientos de Enterobacteriaceae según superficies hospitalarias estudiadas.

Ítems	Laboratorio clínico (n = 66)	Triaje (n = 44)
Total de aislamientos	40	50
1 aislamiento por superficie	28	30
2 aislamientos por superficie	20	12
Superficies con cultivos negativos	18	02
Aislamientos BLEE positivos	08	16

Nota. La tabla 2 muestra la frecuencia de aislamiento de *Enterobacteriaceae* en superficies hospitalarias de dos áreas: Laboratorio Clínico (n = 66) y Triaje (n = 44). Se detalla el número total de aislamientos obtenidos, la cantidad de superficies con un solo aislamiento y las que presentaron dos aislamientos diferentes. Además, la tabla incluye los reservorios con cultivos negativos y la frecuencia de aislamientos BLEE positivos en ambas áreas. Los datos indican que, en Triaje, hay un mayor número de aislamientos BLEE positivos en comparación con Laboratorio Clínico.

Figura 1.

Respuesta a betalactámicos en *Enterobacteriaceae* aisladas.



Nota. La figura 1 muestra la resistencia y sensibilidad de diversas cepas de *Enterobacteriaceae* aisladas de superficies hospitalarias, en relación con varios antibióticos.

DISCUSIÓN

Esta presente investigación analizó el aislamiento de *Enterobacteriaceae* productoras de BLEE en superficies hospitalarias del área de laboratorio clínico y triaje de un hospital en la provincia de Jaén, de las cuales fueron identificadas *Enterobacter cloacae*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Yersinia spp.*, *Enterobacter spp.* y *Proteus spp.*. Asimismo, Sebre et al. (2022) investigó superficies inanimadas en unidades de cuidados intensivos de un hospital en Addis Ababa, identificando un 24,7% de muestras positivas para *Enterobacteriaceae* productoras de BLEE, mayormente *Escherichia coli* (41,7%) y *Klebsiella pneumoniae* (25%) y detectando genes como blaCTX-M, blaTEM, blaSHV.

Ante lo mencionado, se evaluaron superficies de triaje y del laboratorio clínico para aislar *Enterobacteriaceae* y probar susceptibilidad frente a betalactámicos, siendo imipenem el antibiótico con mayor sensibilidad. Hanafiah et al. (2024) realizaron un perfil amplio de microbioma y genes de resistencia (ARGs) en superficies hospitalarias de Malasia (piscinas de pacientes, mostradores de personal), encontrando que los genes de resistencia a betalactámicos fueron los de mayor frecuencia y detectaron incluso el gen mcr-10. De igual manera, Nieto et al. (2024) analizó superficies de hospitales neonatales en múltiples países de ingresos medios y bajos,

hallando colonización de superficies por bacterias productoras de BLEE y carbapenemasas (genes blaCTX-M-15, blaNDM, blaOXA-48-like, blaKPC) y además identificaron clonación de cepas idénticas a las que causaron sepsis. También, Gashaw et al. (2024) investigó residuos hospitalarios como fuente de bacterias multirresistentes productoras de BLEE. Esto amplió el foco ambiental al considerar otros reservorios fuera de las superficies directas de contacto.

CONCLUSIÓN

El estudio evidenció una alta prevalencia de *Enterobacteriaceae* productoras de BLEE en superficies hospitalarias en el área de laboratorio clínico y triaje, lo que resalta el papel crucial de estas superficies como reservorios de bacterias resistentes. La resistencia a antibióticos, particularmente a imipenem, subraya la necesidad de mejorar las medidas de control de infecciones en hospitales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abay, G. K., Shfare, M. T., Teklu, T. G., et al. (2025). Producción de β -lactamasas de espectro extendido y resistencia a los antimicrobianos entre enterobacterias causantes de infecciones clínicas en África: una revisión sistemática y un metaanálisis (2012-2020). *European Journal of Medical Research*, 30, 14. <https://doi.org/10.1186/s40001-024-02267-8>
- Aranda, J., (2024). Identificación de *Enterobacteriaceae* en estetoscopios clínicos utilizados por médicos, enfermeras y obstetras del hospital de nivel II Jorge Reategui Delgado. Piura [Universidad Nacional de Piura]. <http://repositorio.unp.edu.pe/handle/20.500.12676/5206>
- Aranda Alvarado, J. G. (2025). Bacterias potencialmente patógenas multirresistentes en estetoscopios utilizados por médicos, enfermeros y obstetras en el Hospital Jorge Reátegui Delgado, Piura. *Revista Científica Pakamuros*, 13(3), 18-26. <https://doi.org/10.37787/ntnet394>
- Castanheira, M., Simner, PJ y Bradford, PA (2021). β -lactamasas de espectro extendido: actualización sobre sus características, epidemiología y detección. *JAC-antimicrobial resistance*, 3 (3), dlab092. <https://doi.org/10.1093/jacamr/dlab092>
- Chang, K., Rattanaovong, S., Mayxay, M., Keoluangkhot, V., Davong, V., Vongsouvath, M, et al. (2020). Bacteriemia causada por infección prolongada-Espectro Beta-Lactamasa-Productor *Enterobacteriaceae* en Vientiane, República Democrática Popular Lao: Un estudio de 5 años. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 102(5), 1137-1143. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.19-0304>

- Chia, P., Sengupta, S., Kukreja, A., et al. (2020). El papel del entorno hospitalario en la transmisión de microorganismos gramnegativos multirresistentes. *Antimicrobial Resistance & Infection Control*, 9, 29. <https://doi.org/10.1186/s13756-020-0685-1>
- Das, P., Mahapatra, D., & Mazumder, S. S. (2023). A Guide Towards the Phenotypic Detection of Extended-spectrum β -lactamases Production in Enterobacteriaceae: Alone or in Presence of Other Interfering Enzymes. *J Pure Appl Microbiol*, 17(3), 1410-21. <https://doi: 10.22207/JPAM.17.3.31>
- Fadare, F. T., & Okoh, A. I. (2021). The abundance of genes encoding ESBL, pAmpC and non- β -lactam resistance in multidrug-resistant Enterobacteriaceae recovered from wastewater effluents. *Frontiers in Environmental Science*, 9, 711950. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.711950>
- Falconí Sarmiento, A., Nolasco Mejia, M., Bedoya Rozas, A., Amaro Giraldo, C., & Málaga, G. (2018). Frecuencia y factores de riesgo para bacteriemia por enterobacterias productoras de betalactamasas de espectro extendido en pacientes de un hospital público de Lima, Perú. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 35(1), 62-67. <https://doi.org/10.17843/rpmesp.2018.351.3601>
- Gashaw, M., Gudina, EK, Tadesse, W., Froeschl, G., Ali, S., Seeholzer, T., Kroidl, A. y Wieser, A. (2024). Los desechos hospitalarios como fuentes potenciales de bacterias productoras de BLEE resistentes a múltiples fármacos en un hospital terciario de Etiopía. *Antibióticos*, 13 (4), 374. <https://doi.org/10.3390/antibiotics13040374>
- Hanafiah, A., Sukri, A., Yusoff, H., Chan, CS, Hazrin-Chong, NH, Salleh, SA y Neoh, H.-m. (2024). Perspectivas sobre el microbioma y los genes de resistencia a antibióticos en superficies ambientales hospitalarias: una fuente principal de resistencia antimicrobiana. *Antibiotics*, 13 (2), 127. <https://doi.org/10.3390/antibiotics13020127>
- Husna, A., Rahman, M. M., Badruzzaman, A. T. M., Sikder, M. H., Islam, M. R., Rahman, M. T., Alam, J., & Ashour, H. M. (2023). Extended-Spectrum β -Lactamases (ESBL): Challenges and Opportunities. *Biomedicines*, 11(11), 2937. <https://doi.org/10.3390/biomedicines11112937>
- Kelly, SA, O'Connell, NH, Thompson, TP, Dillon, L., Wu, J., Creevey, C., ... y Dunne, CP (2024). Una nueva caracterización de *Pseudocitrobacter* sp. multirresistente, aislada de un paciente colonizado durante su ingreso en un hospital universitario de tercer nivel. *Journal of Hospital Infection*, 145, 193-202. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2023.12.010>

- Ling, W., Furuya-Kanamori, L., Ezure, Y., Harris, P. N., & Paterson, D. L. (2021). Adverse clinical outcomes associated with infections by Enterobacterales producing ESBL (ESBL-E): a systematic review and meta-analysis. *JAC-antimicrobial Resistance*, 3(2), dlab068. <https://doi.org/10.1093/jacamr/dlab068>
- Mayorga-Ponce, R. B., Monroy-Hernández, A., Hernández-Rubio, J., Roldán-Carpio, A., & Reyes-Torres, S. B. (2021). Programa SPSS. Educación y Salud: Boletín Científico Instituto de Ciencias de la Salud Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 10(19), 282–284. <https://doi.org/10.29057/icsa.v10i19.7761>
- Muzslay, M., Moore, G., Alhussaini, N. y Wilson, APR (2017). Organismos gramnegativos productores de BLEE en el entorno sanitario como fuente de material genético para la resistencia en infecciones humanas. *Journal of Hospital infection*, 95 (1), 59-64. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2016.09.009>
- Nieto-Rosado, M., Sands, K., Portal, E. A. R., et al. (2024). Colonización de superficies hospitalarias en países de ingresos bajos y medios por bacterias productoras de β -lactamasas y carbapenemasas de espectro extendido. *Nature Communications*, 15, 2758. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-46684-z>
- Ochoa Ochoa, GE, López Cisneros, CL, y Martínez León, MDR (2022). Enterobacteriaceae productoras de betalactamasas de espectro extendido aisladas en hemocultivos de pacientes tratados en diferentes áreas hospitalarias. *Anatomía Digital*, 5 (3.3), 76-92. <https://doi.org/10.33262/anatomiadigital.v5i3.3.2332>
- 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
- Riccio, M. E., Verschuuren, T., Conzelmann, N., Martak, D., Meunier, A., Salamanca, E., Delgado, M., Guthrie, J., Peter, S., Paganini, J., Martischang, R., Sauser, J., de Kraker, M. E. A., Cherkaoui, A., Fluit, A. C., Cooper, B. S., Hocquet, D., Kluytmans, J. A. J. W., Tacconelli, E., Rodríguez-Baño, J., Harbarth, S., & MODERN WP2 study group. (2021). Household acquisition and transmission of extended-spectrum β -lactamase (ESBL)-producing Enterobacteriaceae after hospital discharge of ESBL-positive index patients. *Clinical Microbiology and Infection*, 27(9), 1322–1329. <https://doi.org/10.1016/j.cmi.2020.12.024>

- Sebre, S., Erku Abegaz, W., Seman, A., Awoke, T., Mihret, W., Desalegn, Z., Abebe, T., & Mihret, A. (2022). Molecular characterization of extended-spectrum beta-lactamase-producing Enterobacteriaceae isolates collected from inanimate hospital environments in Addis Ababa, Ethiopia. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 1369, 69-80. https://doi.org/10.1007/5584_2021_646
- Tejada-Llacs, P. J., Huarcaya, J. M., Melgarejo, G. C., Gonzales, L. F., Cahuana, J., Pari, R. M., & Alabama. (2015). Caracterización de infecciones por bacterias productoras de BLEE en un hospital de referencia nacional. *Un médico fac*, 76(2), 161-166.
- Vurayai, M., Stryko, J., Kgomanyane, K., et al. (2022). Caracterización de la carga biológica de organismos productores de BLEE en una unidad neonatal mediante medios de cultivo cromogénicos: un método de muestreo ambiental viable y eficiente. *Antimicrobial Resistance & Infection Control*, 11, 14. <https://doi.org/10.1186/s13756-021-01042-2>
- Wilson, H., & Török, M. E. (2018). Extended-spectrum β -lactamase-producing and carbapenemase-producing Enterobacteriaceae. *Microbial genomics*, 4(7), e000197. <https://doi.org/10.1099/mgen.0.000197>

ARTÍCULO ORIGINAL

Ruta metodológica para la validación de instrumentos en investigación de ingeniería

Methodological pathway for instrument validation in engineering research

Abanto, R.¹ , Cabrera, F.² , Gonzáles, J.³ , Ruiz, J.⁴ , y Rodríguez, J.⁵ 

RESUMEN

El proceso de validación de instrumentos de medición es fundamental en la investigación, particularmente en el campo de la ingeniería, para garantizar que los datos obtenidos sean confiables, este proceso consta de dos fases principales: una cualitativa y una cuantitativa, la fase cualitativa se basa en el juicio de expertos, quienes evalúan la pertinencia del instrumento, para cuantificar este consenso y reducir la subjetividad, se emplea el coeficiente V de Aiken, posteriormente, la fase cuantitativa se enfoca en medir la fiabilidad interna del instrumento utilizando el Alfa de Cronbach, con un valor aceptable entre 0.7 y 0.9 tras la validación, se evalúa la normalidad de los datos utilizando pruebas como la de Shapiro-Wilk para muestras pequeñas (menos de 50) o la de Kolmogorov-Smirnov para muestras grandes (50 o más), esta evaluación es crucial para la selección de las pruebas estadísticas adecuadas: si los datos siguen una distribución normal, se aplican pruebas paramétricas como la t de Student; de lo contrario, se opta por pruebas no paramétricas como la U de Mann-Whitney.

Palabras clave: Coeficiente V de Aiken; Alfa de Cronbach; Prueba de normalidad.

ABSTRACT

The process of validating measurement instruments is fundamental to research, especially in engineering, to ensure that the data obtained is reliable. This process consists of two main phases: a qualitative and a quantitative one. The qualitative phase is based on the judgment of experts, who evaluate the instrument's relevance. To quantify this consensus and reduce subjectivity, Aiken's V coefficient is used. Subsequently, the quantitative phase focuses on measuring the instrument's internal reliability using Cronbach's Alpha, with an acceptable value between 0.7 and 0.9. After validation, the normality of the data is evaluated using tests such as Shapiro-Wilk for small samples (less than 50) or Kolmogorov-Smirnov for large samples (50 or more). This evaluation is crucial for selecting the appropriate statistical tests: if the data follows a normal distribution, parametric tests like the t-Student are applied; otherwise, non-parametric tests like the Mann-Whitney U are chosen.

Keywords: Coefficient V of Aiken's; Cronbach's Alpha; Normality Test.

* Autor para correspondencia

¹ Universidad Nacional de Trujillo, Perú. Email: rabantod@unitru.edu.pe ; jgonzalez@unitru.edu.pe; jrodriguezmon@unitru.edu.pe; jsirlopu@unitru.edu.pe

² Universidad Señor de Sipán, Perú. Email: csernaquelflorro@uss.edu.pe

INTRODUCCIÓN

La validación de instrumentos es fundamental en la investigación, especialmente en ingeniería, para asegurar la credibilidad y fiabilidad de las mediciones (Santos et al., 2025), por ello se presenta una ruta para validar y analizar la consistencia de los instrumentos de investigación en ingeniería, este proceso garantiza que el instrumento evalúe lo que se diseñó y asegura la calidad y fiabilidad de los datos (Lages y Martínez, 2023), lo que impacta la validez de los resultados; la construcción de un instrumento incluye fases cualitativas y cuantitativas (Díaz y Terrazas, 2023) para evaluar la claridad, pertinencia y suficiencia de los ítems. La consistencia interna y la validación son clave para obtener resultados confiables y relevantes (Cascaes et al., 2015).

Esta ruta, centrada en técnicas como, el juicio de expertos asegura la adecuación y fiabilidad de los instrumentos (Galicia et al., 2017), pues especialistas evalúan la claridad, coherencia, relevancia y suficiencia de los ítems (Rodríguez, 2021), apoyado en las herramientas virtuales, que han optimizado este proceso al facilitar la organización y registro de opiniones, agilizando tiempos y reduciendo ambigüedades (Molina et al., 2016; López et al., 2019). Para cuantificar el consenso entre expertos se usa el coeficiente V de Aiken, esta medida robusta incorpora un enfoque probabilístico que reduce la subjetividad y permite calcular intervalos de confianza, generalmente con el método score de Wilson, mejorando la precisión (Rodríguez, 2015), evaluando la validez de contenido, cuantificando el acuerdo sobre la relevancia de los ítems en una escala de 0 a 1, destacando por su simplicidad y solidez metodológica (Robles, 2018).

Una vez validado el contenido, es esencial evaluar la fiabilidad del instrumento, específicamente su consistencia interna, usando el Alfa de Cronbach (Roco et al., 2024), un valor entre 0.7 y 0.9 es generalmente aceptable, aunque desde 0.6 puede ser tolerable en ciertos contextos, por ello es importante determinar los intervalos de confianza del Alfa (Caycho, 2017), ya que ofrecen una visión más precisa de su valor real. El Alfa puede variar por factores como el número de opciones en escalas Likert, la presencia de valores atípicos y el tamaño muestral (Toro et al., 2022).

Para una validación integral, se consideran otras pruebas estadísticas:

Pruebas de normalidad (Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk); esenciales para evaluar si los datos siguen una distribución normal, basándose en la hipótesis nula de normalidad (Roco et al., 2023). Kolmogorov-Smirnov con corrección de Lilliefors evalúa el ajuste a una distribución

normal mediante la prueba de significancia de la hipótesis nula (Domínguez, 2018). *Pruebas de correlación (Pearson y Spearman)*, que evalúa relaciones lineales, mientras que Spearman analiza relaciones monotónicas sin requerir linealidad (Apaza et al., 2022).

Test de Chi-cuadrado; útil para analizar la relación entre variables cualitativas, comparando datos observados con los esperados bajo la hipótesis de independencia; el valor del estadístico y su p-valor indican la existencia de asociación (Cerdeira y Villaroel, 2007).

En consecuencia, el objetivo de esta investigación es proponer y describir una ruta metodológica para la validación de instrumentos en ingeniería, integrando el juicio de expertos y el análisis de consistencia interna, este estudio se centra en la propuesta procedimental, validando su operatividad técnica mediante el cálculo de intervalos de confianza y la verificación de supuestos de normalidad para asegurar la fiabilidad de los datos en ciencias aplicadas

Es importante precisar que la ruta metodológica propuesta en este trabajo está diseñada primordialmente para investigaciones cuantitativas en el ámbito de la ingeniería que requieren el uso de instrumentos estructurados de medición, si bien los procedimientos descritos proporcionan un marco robusto para garantizar la validez y fiabilidad técnica, su aplicación en enfoques de carácter cualitativo o mixto debe considerarse de forma parcial y complementaria, quedando siempre condicionada al paradigma epistemológico que sustente la investigación; asimismo, aunque esta ruta es transversal a diversos campos de la ingeniería donde se empleen escalas de medición de actitudes, conocimientos o percepciones, su validez se circunscribe a contextos donde la cuantificación de variables sea el eje central del análisis estadístico, previniendo así extrapolaciones indebidas en estudios de naturaleza puramente fenomenológica o interpretativa

MATERIALES Y MÉTODOS

Para garantizar la calidad y fiabilidad de los resultados, se valida el instrumento mediante juicio de expertos utilizando el coeficiente V de Aiken, que mide el consenso sobre la relevancia de los ítems. Participaron entre 5 expertos, quienes evaluaron relevancia, claridad y coherencia en escala ordinal (1 a 5). Se aplicó la fórmula original de Aiken y la modificada por Penfield y Giacobbi (2004), además del intervalo de confianza del valor V según el método de Wilson. Los criterios de interpretación serán: liberal ($V_0=0.50$), moderado ($V_0=0.70$) y estricto ($V_0=0.80$). La

fiabilidad interna se mide con el Alfa de Cronbach, que evalúa la consistencia entre ítems. Se considerará aceptable un valor entre 0.70 y 0.90, y admisible desde 0.60 en ciertos casos, según Nunnally y Bernstein (1994), se calcula también intervalos de confianza del Alfa con el método de Feldt (1965), factores como el tipo de escala Likert, valores atípicos y tamaño muestral pueden influir en su valor. A través de una prueba piloto, que incluya al menos 30 encuestados; previo al análisis inferencial, se verificará la normalidad de los datos. Para muestras < 50 , se usará la prueba de Shapiro-Wilk; para muestras ≥ 50 , la Kolmogorov-Smirnov con corrección de Lilliefors. Si $p > 0.05$, se asume distribución normal; si $p \leq 0.05$, se rechaza la normalidad. Según los resultados, se aplicarán pruebas paramétricas (como t de Student y correlación de Pearson) o no paramétricas (como Mann-Whitney U, Kruskal-Wallis y correlación de Spearman).

Validación por juicio de expertos (V de Aiken)

Fórmula original de Aiken (1980, 1985)

$$V = \frac{\sum_{i=1}^r (r_i - l)}{n(c - 1)}$$

r_i Puntuación otorgada por el juez i
 c Número de categorías de la escala
 l Valor mínimo de la escala
 n Número total de jueces

El coeficiente V de Aiken para determinar la validez de contenido del instrumento, un panel de entre 3 y 10 expertos en la temática evaluó la relevancia, claridad y coherencia de cada ítem, en una escala ordinal (de 1 a 5).

V de Aiken modificado (Penfield y Giacobbi, 2004)

$$V = \frac{\bar{X} - l}{k}$$

Donde:

V Índice de validez de contenido (modificado)

$\bar{X}$ Media de las puntuaciones asignadas por los jueces al ítem

l Valor mínimo posible en la escala de calificación

k Rango efectivo de la escala, definido como $c - 1$, es decir, el número total de opciones menos 1

Intervalo de confianza de V (score de Wilson)

El intervalo de confianza (IC) indica con qué grado de certeza podemos afirmar que el valor de V se encuentra dentro de un rango determinado.

Límite inferior

$$L = \frac{2nkV + z^2 - z * \sqrt{4nkV(1 - V) + z^2}}{2 * (nk + z^2)}$$

Límite superior

$$L = \frac{2nkV + z^2 + z * \sqrt{4nkV(1 - V) + z^2}}{2 * (nk + z^2)}$$

Donde:

L, U	Límite inferior y superior del intervalo de confianza, respectivamente
n	Número de jueces
k	Rango de la escala (k=c-1)
V	Valor del coeficiente V de Aiken modificado
z	Valor crítico de z según el nivel de confianza (por ejemplo: 1.96 para 95%)

No existe una "única tabla oficial" universal de intervalos de confianza (IC) para el V de Aiken, pero sí hay tablas críticas desarrolladas por Aiken (1985) para valores mínimos aceptables de V según el número de jueces y categorías de la escala, basadas en el valor crítico de V = 0.50; sin embargo, con la propuesta de Penfield y Giacobbi (2004) y Soto y Segovia (2009), se reemplazan esas tablas por intervalos de confianza contruidos analíticamente, usando el método de Wilson.

Dicho eso, algunos autores sí presentan tablas prediseñadas de límites inferiores críticos de V para diferentes combinaciones de jueces y categorías, como orientación.

Tabla de referencia: Valores críticos del límite inferior del IC95% de V de Aiken, (*Rango de escala: 1-5; k = 4*)

Tabla 1

Valores mínimos aceptables del límite inferior del Intervalo de Confianza (IC 95%) para el coeficiente V de Aiken según el número de jueces.

N.º de jueces (n)	Límite inferior Mínimo aceptable (IC95%)
3	0.75
4	0.78
5	0.79
6	0.80
7	0.81
8	0.82
9	0.83
10	0.84

Nota: El coeficiente V de Aiken, que solía depender de tablas críticas, ahora se analiza con intervalos de confianza (IC) para mayor precisión. A pesar de esto, las tablas siguen siendo útiles como guía, ya que establecen el límite inferior mínimo aceptable del IC según el número de jueces, facilitando la validación de un instrumento.

Tabla 2

Criterios para el nivel de V

Nivel de V_0	Nombre del criterio	Significado
$V_0=0.50$	Criterio liberal Vincent, (1981)	Acepta ítems con baja concordancia entre jueces. Útil en estudios exploratorios o con pocas restricciones. Mayor tolerancia a ítems con validez moderada.
$V_0=0.70$	Criterio moderado o recomendado Charter, (2003)	Considera válidos solo ítems con alta concordancia entre jueces. Es el criterio más comúnmente usado en validación de instrumentos.
$V_0=0.80$	Criterio estricto	Exige muy alta concordancia, se usa en estudios donde se requiere máxima precisión o rigurosidad (evaluación clínica, psicometría avanzada, educación de alta calidad).

Nota: El coeficiente V de Aiken tiene tres criterios de validación: el liberal ($V_0=0.50$) para estudios exploratorios con baja concordancia; el moderado ($V_0=0.70$), el más común, que exige alta concordancia; y el estricto ($V_0=0.80$), que requiere la máxima concordancia para estudios de alta precisión.

EVALUACIÓN DE FIABILIDAD INTERNA (ALFA DE CRONBACH)

El análisis de consistencia interna es un proceso que evalúa la fiabilidad de una prueba, examinando cómo cada ítem contribuye al conjunto, y puede complementarse con herramientas gráficas que permiten visualizar patrones de respuesta y el impacto de incluir o eliminar ítems en la escala (Ledesma et al., 2022).

De acuerdo con Soler y Soler (2012), el análisis de consistencia interna permite evaluar la fiabilidad de un instrumento identificando ítems problemáticos y mostrando cómo su eliminación

o la estandarización de escalas mejora la coherencia de las respuestas, optimizando así la precisión del instrumento.

Para Oviedo y Campo (2005), la consistencia interna como la medida de la correlación entre ítems de una escala, evaluada principalmente mediante el alfa de Cronbach. Este coeficiente debe aplicarse en escalas unidimensionales y su valor puede variar según la población, por lo que debe interpretarse con cautela y reportarse en cada estudio.

Posterior a la aplicación piloto del instrumento (mínimo 30 encuestados), se calcula el coeficiente alfa de Cronbach para estimar la consistencia interna del instrumento.

$$\alpha = \frac{k}{k-1} \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^k \sigma_i^2}{\sigma_T^2} \right)$$

α Coeficiente alfa de Cronbach

k Número de ítems del instrumento

σ_i^2 Varianza de cada ítem

σ_T^2 Varianza total del test (suma total de ítems por persona)

Tabla 3

El valor del alfa fue interpretado como sigue:

Valor de α	Interpretación (Nunnally & Bernstein, 1994)
$\alpha < 0.6$	Mala consistencia (debe revisarse el instrumento)
$0.6 \leq \alpha < 0.70$	Aceptable en estudios exploratorios
$0.7 \leq \alpha < 0.80$	Buena consistencia
$0.8 \leq \alpha < 0.90$	Muy buena consistencia
$\alpha \geq 0.9$	Excelente, aunque podría implicar redundancia

Nota: Se considera aceptable $\alpha \geq 0.70$, deficiente $\alpha < 0.60$ y posible redundancia $\alpha \geq 0.90$, según Nunnally & Bernstein (1994).

Método basado en la distribución F (Feldt, 1965)

Este es el método clásico y el más utilizado. El intervalo se calcula usando fórmulas relacionadas con la distribución F de Fisher (Feldt, 1965).

Fórmulas (IC del 95%):

Si α es el valor calculado, con k ítems y n sujetos, el intervalo de confianza al 95% se estima así:

$$\text{Límite inferior} = 1 - \left(\frac{(1-\alpha)F_{1-\frac{\alpha}{2}, v_1, v_2}}{\alpha} \right); \text{Límite superior} = 1 - \left(\frac{(1-\alpha)F_{\frac{\alpha}{2}, v_1, v_2}}{\alpha} \right)$$

Donde:

$$v_1 = n - 1$$

$$v_2 = (n - 1)(k - 1)$$

F_{p,v_1,v_2} = es el valor crítico de la distribución F para el nivel de confianza deseado

PRUEBA DE NORMALIDAD

Antes de realizar el análisis estadístico inferencial, se verificó la distribución de los datos mediante pruebas de normalidad:

Tabla 4

Pruebas de normalidad

Prueba	Tamaño muestral	ventajas
Shapiro-Wilk	$n < 50$	Más potente para muestras pequeñas
Kolmogorov-Smirnov	$n \geq 50$	Bueno para distribuciones generales
Anderson-Darling	Cualquier n	Sensible en las colas
Lilliefors	$n \geq 50$	Adaptación de KS para μ y σ desconocidos

Nota: Normalidad evaluada con prueba de Shapiro-Wilk ($n < 50$). Se asumió distribución normal si $p > 0.05$ y no normal si $p \leq 0.05$.

Shapiro-Wilk ($n < 50$)

El **p-valor** fue el criterio de decisión:

- Si $p > 0.05$: los datos se asumen con distribución normal
- Si $p \leq 0.05$: se rechaza la hipótesis de normalidad

La prueba de Shapiro-Wilk fue desarrollada por Samuel Shapiro y Martin Wilk (1965). Evalúa si una muestra proviene de una población con distribución normal, comparando el orden de los datos observados con los valores esperados de una distribución normal.

Es una prueba muy potente y sensible para tamaños de muestra pequeños o moderados (usualmente $n < 50$, aunque puede usarse hasta $n \approx 2000$ en software como SPSS o R).

$$W = \frac{(\sum_{i=1}^n a_i x_{(i)})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

$x_{(i)}$ Valores ordenados de menor a mayor (orden estadístico)

$\bar{x}$ Media de la muestra

a_i Constantes derivadas de los coeficientes esperados de los cuantiles de la normal

n Tamaño de la muestra

W Estadístico de Shapiro-Wilk (varía entre 0 y 1)

Kolmogorov-Smirnov ($n \geq 50$)

La prueba de Kolmogorov-Smirnov (K-S) compara la distribución empírica acumulada de los datos observados con la función de distribución acumulativa de una distribución teórica

(normal, uniforme, etc.). Fue desarrollada por Kolmogorov (1933) y extendida por Smirnov (1939).

Para que sea adecuada como prueba de normalidad, se aplica normalmente con la corrección de Lilliefors, ya que los parámetros (media y desviación estándar) son estimados de la muestra, no fijados.

$$D = \sup_x |F_n(x) - F(x)|$$

Donde

D Estadístico de la prueba

$F_n(x)$ Función de distribución acumulada empírica (de los datos)

$F(x)$ Función de distribución acumulada teórica (normal estándar)

$\sup$ Supremum: el valor máximo de la diferencia entre ambas funciones

SELECCIÓN DE PRUEBAS ESTADÍSTICAS

La elección de pruebas estadísticas depende de la distribución de los datos:

(Flores Ruiz, Miranda Novales, & Villasís Kever, 2017), la prueba estadística adecuada garantiza resultados válidos y confiables, depende del diseño del estudio, tipo de variables y distribución de datos, un mal uso puede invalidar el análisis y afectar la credibilidad científica.

(Sánchez Solís, Raquí Ramírez, Huaroc Ponce, & Huaroc Ponce, 2024), la prueba de normalidad asegura un análisis estadístico válido. Shapiro-Wilk se usa en muestras <50 y Kolmogorov-Smirnov en >50. Determina si aplicar pruebas paramétricas o no paramétricas, y combinar métodos numéricos y gráficos mejora su precisión.

A) Si los datos son normales (paramétricas):

Comparación de medias: t de Student,

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}}$$

Donde:

$\bar{X}_1, \bar{X}_2$ Medias de los grupos 1 y 2.

s_1^2, s_2^2 Varianzas muestrales de los grupos.

n_1, n_2 Tamaños de las muestras.

Grados de libertad (df):

$$df = \frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}\right)^2}{\frac{(s_1^2/n_1)^2}{n_1 - 1} + \frac{(s_2^2/n_2)^2}{n_2 - 1}}$$

(Fórmula de Welch-Satterthwaite para varianzas desiguales).

Casos específicos

a) Muestras con varianzas iguales $s_1^2 = s_2^2$, se usa una varianza combinada s_p^2

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{sp \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}, \text{ donde } s_p^2 = \frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

Grados de libertad (df): $df = n_1 + n_2 - 2$

b) Muestras pareadas (datos dependientes)

Para comparar mediciones antes/después en los mismos sujetos:

Si las varianzas se asumen iguales

$$t = \frac{\bar{D}}{s_D \sqrt{n}}$$

Donde:

$\bar{D}$ Media de las diferencias entre pares.

s_D Desviación estándar de las diferencias

n Número de pares.

Grados de libertad $df = n - 1$

Interpretación

Valor crítico: Comparar el valor t calculado con el valor crítico de la tabla t (según df y nivel de significancia α , ej. 0.05).

Decisión:

Si $|t| > t_{\text{crítico}}$, se rechaza la hipótesis nula H_0 : no hay diferencia entre medias).

Si $p\text{-valor} < \alpha$, la diferencia es significativa.

Correlación: Pearson

$$r = \frac{\sum (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum (X_i - \bar{X})^2 \sum (Y_i - \bar{Y})^2}}$$

Interpretación de r :

+1: Correlación positiva perfecta.

-1: Correlación negativa perfecta.

0: No hay correlación lineal.

Valores intermedios (ej.: 0.7, -0.3): Intensidad de la relación.

B) Si los datos no son normales (no paramétricas):

Comparación de medianas: **Mann-Whitney U, Kruskal-Wallis**

Mann-Whitney U

Es una prueba no paramétrica para comparar dos grupos independientes, alternativa a la prueba t de Student para muestras independientes.

Supuestos:

Muestras independientes

Variables ordinales, de intervalo o razón

No requiere normalidad

Se tienen dos grupos con tamaños n_1 y n_2 . Se combinan todos los datos y se les asignan ranks (rangos).

$$U_1 = n_1 n_2 + \frac{n_1(n_1 + 1)}{2} - R_1$$

$$U_2 = n_1 n_2 + \frac{n_2(n_2 + 1)}{2} - R_2$$

R_1 suma de rangos del grupo 1

R_2 suma de rangos del grupo 2

Se escoge el menor entre U_1 y U_2 como estadístico de prueba

$$U = \min(U_1, U_2)$$

Si las muestras son grandes ($n > 20$), se puede aproximar a una normal:

$$Z = \frac{U - \mu_U}{\sigma_U}$$

Donde

$$\mu_U = \frac{n_1 n_2}{2}, \sigma_U = \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 + 1)}{12}}$$

Kruskal-Wallis H

Es una extensión del Mann-Whitney para más de dos grupos independientes.

Alternativa no paramétrica al ANOVA.

Supuestos:

Grupos independientes

Medición ordinal o superior

No requiere homogeneidad de varianzas

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \sum_{i=1}^k \frac{R_i^2}{n_i} - 3(N+1)$$

N número total de observaciones

k número de grupos

R_i suma de rangos del grupo i

n_i número de observaciones en el grupo i

Corrección por empates

Si hay rangos empatados, se ajusta H :

$$H_{\text{corregida}} = \frac{H}{1 - \frac{\sum T}{N^3 - N}}$$

Donde $T = t^3 - t$ para cada conjunto de empates (t : número de observaciones empatadas)

Distribución:

Para $k \geq 3$ y $n_i \geq 5$, H sigue una distribución χ^2 con $k-1$ grados de libertad.

Correlación Spearman: La correlación de Spearman es una medida no paramétrica del grado de asociación monótona entre dos variables. Evalúa si a medida que una variable aumenta, la otra tiende a aumentar (o disminuir), sin requerir que la relación sea lineal

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)}$$

Donde:

n : Número de observaciones.

$d_i = R(X_i) - R(Y_i)$ diferencia entre los rangos de cada par de valores

Casos especiales:

Si hay empates: Se usa la fórmula de Pearson aplicada a los rangos:

$$r_s = \frac{\text{cov}(R_x, R_y)}{\sigma_{R_x} \sigma_{R_y}}$$

Donde:

R_x, R_y rangos de las variables X y Y

$\text{cov}(R_x, R_y)$ covarianza entre los rangos

$\sigma R_x \sigma R_y$ desviaciones estándar de los rangos

Es fundamental precisar que el presente estudio se define como una evaluación empírica de la ruta metodológica propuesta, por tanto, los análisis estadísticos presentados en las secciones posteriores no pretenden establecer hallazgos sustantivos sobre variables finales de ingeniería, sino que funcionan como evidencia demostrativa del desempeño y rigor de la ruta aplicada a un instrumento piloto, de este modo, el objeto real de evaluación es el procedimiento de validación en sí mismo, asegurando su aplicabilidad y reproducibilidad científica

RESULTADOS

La propuesta de esta ruta metodológica establece de forma secuencial las etapas necesarias para garantizar la validez y fiabilidad de un instrumento de medición en el campo de la ingeniería, se plantea un proceso estructurado que inicia con el juicio de expertos empleando el coeficiente V de Aiken y sus intervalos de confianza mediante el método score de Wilson, considerando criterios liberal, moderado y estricto para la toma de decisiones sobre cada ítem.

Para el Ítem 1 en los criterios de Suficiencia, Relevancia y Claridad.

$$V_{ij} = V_{IS} = \frac{\sum_{i=1}^r (r_i - l)}{n(c - 1)} = \frac{(4 - 1) + (4 - 1) + (5 - 1) + (5 - 1) + (4 - 1)}{5 * (5 - 1)} = 0,850$$

$$V_{ij} = V_{IR} = \frac{\sum_{i=1}^r (r_i - l)}{n(c - 1)} = \frac{(5 - 1) + (4 - 1) + (5 - 1) + (5 - 1) + (5 - 1)}{5 * (5 - 1)} = 0,950$$

$$V_{ij} = V_{IC} = \frac{\sum_{i=1}^r (r_i - l)}{n(c - 1)} = \frac{(4 - 1) + (4 - 1) + (5 - 1) + (4 - 1) + (4 - 1)}{5 * (5 - 1)} = 0,800$$

$V_{ij} = V$ para ítem i y criterio j ; para $i = 1 - 20$ y $J = \text{Suficiencia (S), Relevancia (R) y Claridad (C)}$

Luego, para todos los ítems:

$$V = \frac{\sum_{i=1}^r (r_i - l)}{n(c - 1)} = 0,896$$

Los valores obtenidos mediante el coeficiente V de Aiken confirman una alta validez de contenido del instrumento, al situarse todos por encima de 0,80. El promedio general de 0,896 evidencia un sólido consenso entre los expertos sobre la claridad, relevancia y suficiencia de los ítems, garantizando que el cuestionario es técnicamente apto para medir las variables de investigación de manera precisa.

Tabla 5*Validación del instrumento con V-Aiken*

Variable	Dimensión	Subdimensión	Ítem	Suficiencia	Relevancia	Cla ridad	Pro medio V		
VI	(SD1)	D1	1	0.850	0.950	0	0.80	0.86	
			2	0.900	1.000	0	0.80	0.90	
			3	0.900	0.950	0	0.85	0.90	
			4	0.850	0.850	0	0.85	0.85	
	(SD2)	D1	5	0.950	0.900	0	0.95	0.93	
			6	0.850	0.850	0	0.90	0.86	
			7	0.850	0.950	0	1.00	0.93	
			8	0.900	0.800	0	1.00	0.90	
	(SD3)	D2	9	1.000	0.850	0	0.90	0.91	
			0	0.900	0.900	0	0.90	0.90	
			1	0.850	0.900	0	0.90	0.88	
	VD	(SD1)	D1	1	0.850	0.900	0	0.90	0.86
				2	0.850	0.850	0	0.90	0.86
				3	0.900	0.850	0	0.95	0.90
				4	0.850	0.850	0	0.90	0.86
(SD2)		D1	5	0.950	0.950	0	0.95	0.95	
			6	1.000	0.850	0	0.90	0.91	
			7	0.900	0.850	0	1.00	0.91	
			8	0.800	0.850	0	0.90	0.85	
(SD3)		D2	9	0.900	0.900	0	0.90	0.90	
			0	0.900	0.900	-	-	0.90	
			TOTAL						

Nota: Instrumento diseñado y aplicado a 5 jueces, donde la variable independiente (VI) tiene 2 dimensiones (D), 3 subdimensiones (SD) y 9 ítems; mientras que la variable dependiente (VD) posee 2 dimensiones, 3 subdimensiones y 11 ítems.

Tabla 6*Fiabilidad del instrumento con Alfa de Cronbach*

Encuesta	Ítems																			
do	I	I	I	I	I5	I	I	I	I	I1	I1	I1	I1	I1	I1	I1	I1	I1	I1	I2
	1	2	3	4	1	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
E1	5	2	2	3	5	5	3	3	3	4	4	3	3	3	4	4	4	4	3	3
E2	5	3	3	3	5	5	3	4	4	3	4	3	3	4	4	4	3	3	3	4
E3	5	1	2	4	5	4	3	3	3	3	4	4	3	3	3	3	4	4	3	3
E4	5	1	1	4	5	5	3	3	4	3	3	3	4	3	4	4	3	3	4	3
E5	5	3	3	4	5	4	4	4	3	4	3	3	3	3	3	4	4	4	4	3
E6	5	2	3	2	5	5	4	3	3	3	3	4	4	3	4	3	3	3	3	3
E7	5	2	3	2	5	5	4	4	3	3	3	3	4	3	4	4	3	3	4	3
E8	5	1	1	3	5	4	3	3	3	3	3	4	3	3	3	4	4	4	3	4
E9	5	1	3	3	5	5	3	4	4	3	3	3	4	3	3	4	4	4	4	3
E10	5	3	3	3	5	4	4	3	3	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	3
E11	5	2	3	3	5	5	3	4	3	4	3	3	4	3	4	4	4	4	4	3
E12	5	1	1	3	5	5	4	3	4	3	3	4	4	3	3	3	4	4	3	4
E13	5	1	3	3	5	5	3	4	3	4	4	3	4	3	4	3	3	3	3	4
E14	5	3	3	3	5	5	4	3	4	3	4	4	4	4	3	3	3	3	4	3
E15	5	2	3	3	5	4	4	4	4	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	3
E16	5	1	1	4	4	4	4	4	3	3	4	4	3	4	3	4	3	3	4	4
E17	5	3	3	4	5	4	4	3	4	4	4	4	4	3	3	4	3	3	4	3
E18	5	2	2	1	3	3	4	4	4	4	3	4	3	4	4	3	3	3	4	4
E19	5	3	3	1	5	5	4	3	4	3	3	4	4	3	3	4	3	3	4	4
E20	5	3	3	1	5	5	4	3	3	4	4	3	4	4	3	4	3	3	3	3
E21	5	2	3	1	4	5	3	4	3	4	3	3	4	3	3	3	3	3	3	4
E22	5	2	3	1	5	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	4	3	3	3	4
E23	5	3	3	2	4	5	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	4	4	3	3
E24	5	3	3	2	4	4	4	3	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	3
E25	5	2	3	2	4	4	4	4	3	3	3	4	3	3	4	3	3	3	3	4
E26	5	3	3	2	5	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	4	4	4	3	3
E27	5	3	3	2	5	5	4	4	3	3	3	4	4	4	3	3	3	3	3	4
E28	5	3	3	2	5	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	4	3
E29	5	2	3	2	5	4	4	3	4	3	4	4	4	3	4	4	3	3	3	3
E30	5	3	3	2	5	4	4	4	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	3

$$\alpha = \frac{k}{k-1} \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^k \sigma_i^2}{\sigma_T^2} \right) = \frac{30}{30-1} \left(1 - \frac{21,02}{379,2} \right) =$$

$$\alpha = 1,03448275862069 * 0,944567510548523 = 0,977138804015714$$

El instrumento posee una validez de contenido óptima (V de Aiken = 0,896) y una consistencia interna excelente (Alfa de Cronbach = 0,977), garantizando que es altamente preciso y apto para su aplicación.

Se incorpora la evaluación de la consistencia interna a través del Alfa de Cronbach con sus intervalos de confianza calculados mediante el método de Feldt, lo que permite estimar la estabilidad del instrumento antes de su aplicación definitiva, el diseño contempla la verificación de supuestos estadísticos previos, particularmente la normalidad de los datos (Shapiro-Wilk o Kolmogorov-Smirnov), a fin de seleccionar pruebas paramétricas o no paramétricas de manera justificada; con ello, la ruta metodológica ofrece un marco replicable, ordenado y adaptable a distintos contextos de investigación.

Límites de fiabilidad (F para α IC del 95%) y un alfa de Cronbach 0,977138804015714:

Cálculo de grados de libertad:

F_{p,v_1,v_2} = es el valor crítico de la distribución F con V_1 y V_2 grados de libertad y probabilidad p
 $V_1 = n - 1 = 30 - 1 = 29$; $V_2 = (n - 1)(k - 1) = (30 - 1)(20 - 1) = 551$
 $\alpha/2 = 0,025$

$F_{0,975;29;551}$ = Valor Crítico inferior (2,5%)

$F_{0,025;29;551}$ = Valor Crítico superior (97,5%)

Tabla 7

Valores críticos la fiabilidad

Función Excel	Valor Crítico
=+DISTR.F.INV(0,025;29;551)	1,603418431744420
=+DISTR.F.INV(0,975;29;551)	0,547956532238049

Para una prueba de hipótesis con $\alpha=0.05$ (95% de confianza), los valores críticos de F son:

Rechazamos H_0 si $F < 0,547956532238049$ o $F > 1,603418431744420$

$$\text{Límite inferior} = 1 - \left(\frac{(1-0,977138804015714)(1,603418431744420)}{0,977138804015714} \right) = 1 - 0,0366560630129257$$

$$\text{Límite superior} = 1 - \left(\frac{(1-0,977138804015714)(0,547956532238049)}{0,977138804015714} \right) = 1 - 0,0668959321704030$$

$$IC_{95\%}[0,9331040678295970; 0,9633439369870740]$$

Esto significa que, con un 95% de confianza, el verdadero valor del coeficiente Alfa de Cronbach se encuentra entre 0,9331040678295970 y 0,9633439369870740, lo que confirma la robusta fiabilidad del instrumento.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la validación del instrumento mediante el coeficiente V de Aiken reflejan un alto nivel de consenso entre los expertos, con un valor global de $V = 0,896$, lo que supera ampliamente el criterio moderado ($V_0 = 0,70$) recomendado por Charter (2003) y se acerca al criterio estricto ($V_0 = 0,80$). Esto confirma la validez de contenido del instrumento en cuanto a suficiencia, relevancia y claridad de los ítems, tal como señalan Galicia et al. (2017) y Rodríguez Medina et al. (2021). La consistencia en las evaluaciones de los cinco jueces respalda la adecuación del instrumento para medir las variables de interés en el contexto de la ingeniería, reduciendo la subjetividad mediante un enfoque cuantitativo robusto (Penfield & Giacobbi, 2004; Merino Soto & Livia Segovia, 2009).

La novedad de este estudio reside en la implementación de una ruta metodológica secuencial que optimiza el juicio de expertos mediante herramientas virtuales (Molina et al., 2016) y trasciende el uso convencional del coeficiente V de Aiken al incorporar un enfoque probabilístico con intervalos de confianza de Wilson, permitiendo una toma de decisiones más robusta y precisa (Rodríguez, 2015; Robles, 2018). Esta propuesta integral se complementa con el análisis de la consistencia interna mediante el Alfa de Cronbach y sus intervalos de confianza (Roco et al., 2024; Caycho, 2017), junto con una rigurosa evaluación de la normalidad (Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk) y asociación de variables (Pearson, Spearman y Chi-cuadrado), asegurando que la elección de las pruebas estadísticas finales sea metodológicamente coherente con la naturaleza de los datos.

La fiabilidad interna medida through el alfa de Cronbach resultó en un valor de $\alpha = 0,977$, con un intervalo de confianza del 95% entre 0,933 y 0,963, calculado mediante el método de Feldt (1965); este valor no solo supera el umbral de 0,70 establecido por Nunnally y Bernstein (1994), sino que se sitúa en el rango de excelencia, lo que indica una consistencia interna muy alta, no obstante, como advierten Oviedo y Campo (2005) y Cascaes et al. (2015), valores excesivamente altos pueden sugerir redundancia en los ítems, por lo que en futuras aplicaciones podría

considerarse una revisión para optimizar la longitud del instrumento sin comprometer su confiabilidad.

La metodología propuesta integra validación cualitativa, cuantificación del consenso, evaluación de la fiabilidad y verificación de supuestos, que frece un marco replicable y riguroso para la validación de instrumentos en ingeniería, tal como destacan Lages Ruíz y Martínez Trujillo (2023) y Díaz Vega y Terrazas Rodríguez (2023); este enfoque sistemático no solo mejora la credibilidad de los datos, sino que también facilita la adaptación del instrumento a distintos contextos de investigación.

CONCLUSIONES

La implementación de la ruta metodológica propuesta, que integra de forma secuencial la validación por juicio de expertos mediante el coeficiente V de Aiken y la evaluación de la fiabilidad interna a través del Alfa de Cronbach, demuestra ser un procedimiento robusto y eficaz para garantizar la validez y confiabilidad de instrumentos de medición en el ámbito de la investigación en ingeniería. Los resultados obtenidos, con un V de Aiken global de 0,896 y un Alfa de Cronbach de 0,977 (IC95%: 0,933 - 0,963), confirman que el instrumento desarrollado posee una excelente validez de contenido y una consistencia interna muy alta, superando los criterios establecidos en la literatura especializada.

Este estudio evidencia la importancia de emplear métodos mixtos (cualitativos y cuantitativos) en la validación de instrumentos, tal como recomiendan autores como Díaz y Terrazas (2023) y Cascaes et al. (2015). El uso del coeficiente V de Aiken, complementado con intervalos de confianza mediante el método de Wilson, permitió cuantificar el consenso entre expertos de manera precisa y reducir la subjetividad inherente al juicio de expertos. Asimismo, el cálculo del Alfa de Cronbach junto con sus intervalos de confianza mediante el método de Feldt (1965) proporcionó una estimación más exacta y confiable de la consistencia interna del instrumento.

La aplicabilidad de esta ruta metodológica se extiende más allá del contexto inmediato de este estudio, ofreciendo un marco replicable, ordenado y adaptable para la validación de instrumentos en diversas áreas de la ingeniería y otras disciplinas. La incorporación de pruebas de normalidad y la subsequent selección justificada de pruebas estadísticas (paramétricas o no

paramétricas) aseguran que los análisis inferenciales se basen en supuestos válidos, mejorando así la credibilidad y solidez científica de los hallazgos futuros.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Apaza Zúñiga, E., Cazorla Chambi, S., Condori Carbajal, C., Arpasi Meléndez, F. R., Tumi Figueroa, I., Yana Viveros, W., & Quispe Coaquira, J. E. (2022). La Correlación de Pearson o de Spearman en caracteres físicos y textiles de la fibra de alpacas. *Revista de Investigación Veterinaria*, 33(3), e22908. doi:10.15381/rivep.v33i3.22908
- Oviedo, H. C., & Campo Arias, A. (2005). Aproximación al uso del coeficiente alfa de Cronbach. *Revista Colombiana de Psiquiatría*, 34(2), 572-580.
- Robles Pastor, B. F. (2018). Índice de validez de contenido: Coeficiente V de Aiken. *Pueblo continente*, 29(1), 193-197.
- Aiken, L. R. (1980). Content Validity and Reliability of Single Items or Questionnaires. *Educational and Psychological Measurement*, 44(4), 955-959. doi:10.1177/001316448004000419
- Cascaes da Silva, F., Gonçalves, E., Valdivia Arancibia, B. A., Grazielle Bento, G., da Silva Castro, T. L., Soleman Hernandez, S. S., & da Silva, R. (2015). Estimadores de consistencia interna en las investigaciones en salud: el uso del coeficiente alfa. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*, 32(1), 129-138. Obtenido de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1726-46342015000100019&script=sci_abstract
- Caycho Rodríguez, T. (2017). Confidence Intervals for Cronbach's alpha coefficient: contributions to pediatric research. *Acta Pediátrica de México*, 4, 291-292. doi:10.18233/APM38No4pp291-2941440. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/4236/423659205011/html/>
- Cerda L., J., & Villaroel del P., L. (2007). Interpretación del test de Chi-cuadrado (X²) en investigación pediátrica. *Revista chilena de pediatría*, 414-417. doi:10.4067/S0370-41062007000400010.
- Charter, R. A. (2003). A breakdown of reliability coefficients by test type and reliability method, and the clinical implications of low reliability. *J Gen Psychol*, 130(3), 290-304. doi:10.1080/00221300309601160

- Díaz Vega, G., & Terrazas Rodríguez, L. D. (2023). Construcción y validación de un instrumento para evaluación de crisis familiares. *Acta Médica Peruana*, 40(4), 314-319. doi:10.35663/amp.2023.404.2696
- Dominguez Lara, S. (2018). Magnitud del efecto para pruebas de normalidad en investigación en salud. *Revista en Investigación Médica*, 7(27), 92-93. doi:10.22201/facmed.20075057e.2018.27.1776
- Flores Ruiz, E., Miranda Novales, M. G., & Villasís Keever, M. Á. (2017). El protocolo de investigación VI: cómo elegir la prueba Mestadística adecuada. *Estadística inferencial. Revista alergia México*, 64(3), 364-370. Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-91902017000300364
- Galicia Alarcón, L. A., Balderrama Trápaga, J. A., & Edel Navarro, R. (2017). Validez de contenido por juicio de expertos: propuesta de una herramienta virtual. *Apertura (Guadalajara, Jal.)*, 9(2), 42-53. doi:10.32870/Ap.v9n2.993
- Lages Ruíz, J., & Martínez Trujillo, N. (2023). Validación de instrumentos para estudio de referenciación en enfermería oftalmológica. *Revista Cubana de Enfermería*. 2023, 39, e5652. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03192023000100003
- Ledesma, R., Molina Ibañez, G., & Valero Mora, P. (2022). Análisis de consistencia interna mediante Alfa de Cronbach: un programa basado en gráficos dinámicos. *Revista Psico-USF*, 7(2), 143-152. Obtenido de <https://www.scielo.br/j/psuf/a/psJ44DfZRngHRYRp9C9PTKg/?format=pdf&lang=es>
- López Fernández, R., Avello Martínez, R., Palmero Urquiza, D. E., Sánchez Gálvez, S., & Quintana Álvarez, M. (2019). Validación de instrumentos como garantía de la credibilidad en las investigaciones científicas. *Revista Cubana de Medicina Militar*, 48(2), 441-450. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0138-65572019000500011
- Merino Soto, C., & Livia Segovia, J. (2009). Intervalos de confianza asimétricos para el índice la validez de contenido: Un programa Visual Basic para la V de Aiken. *Anales de psicología*, 25(1), 169-171. Obtenido de <https://revistas.um.es/analesps/article/view/71631/69111>

- Molina Achury, N., Forero Nieto, S., Ramos Caballero, D. M., Benavides Piracón, J., & Quintana Cortés, M. A. (2016). Diseño y validación de un instrumento de evaluación de condiciones de salud y trabajo de los fisioterapeutas en Colombia. *Revista de la Facultad de Medicina Humana*, 64, S59-67. doi: 10.15446/revfacmed.v64n3Supl.51655
- Nunnally, J. C., & Bernstein, I. B. (1994). *Psychometric Theory*. McGraw-Hill Companies, Incorporated. doi:10.1177/014662169501900308
- Penfield, R. D., & Giacobbi, P. R. (2004). Applying a Score Confidence Interval to Aiken's Item Content-Relevance Index. *Measurement in Physical Education and Exercise Science*, 8(4), 213-225. doi:10.1207/s15327841mpee0804_3
- Roco Videla, Á., Vladimir Flores, S., Olguin, M., & Maureira Carsalade, N. (2024). Alpha de Cronbach y su intervalo de confianza. *Nutrición Hospitalaria*, 41(1), 270-271. doi:10.20960/nh.04961
- Roco Videla, Á., Landabur Ayala, R., Maureira Carsalade, N., & Olguin Barraza, M. (2023). ¿Cómo determinar efectivamente si una serie de datos sigue una distribución normal cuando el tamaño muestral es pequeño? *Nutrición hospitalaria*, 40(1), 234-235. doi:10.20960/nh.04519
- Rodríguez Cordón, J. (2015). Analizando la V de Aiken Usando el Método Score con Hojas de Cálculo. 1-7. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/277556053>
- Rodríguez Medina, M. A., Poblano Ojinaga, E. R., Alvarado Tarango, L., González Torres, A., & Rodríguez Borbón, M. I. (2021). Validation by Expert Judgment of an Evaluation Instrument for Evidence of Conceptual Learning. *RIDE Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 12(22), e240. doi:10.23913/ride.v11i22.960
- S. Feldt, L. (1965). The Approximate Sampling Distribution of Kuder-Richardson Reliability Coefficient Twenty. *Psychometrika*, 30(3), 589-600. doi:10.1007/BF02289499
- Sánchez Solís, Y., Raquí Ramírez, C. E., Huaroc Ponce, E. J., & Huaroc Ponce, N. M. (2024). Importancia de Conocer la Normalidad de los Datos Utilizados en los Trabajos de Investigación por Tesis. *Revista Tecnológica-Educativa Docentes*(17), 404-413. doi:10.37843/rted.v17i2.554
- Santos, P. A., Chuquisengo, E., & Vasquez, A. E. (2025). Diseño y validación de un instrumento para medir el uso de la herramienta Julius AI en estudiantes universitarios peruanos. *Revista Espacios*, 46(2), 204-212. doi:10.48082/espacios-a25v46n02p16

- Soler Cárdenas, S. F., & Soler Pons, L. (2012). Usos del coeficiente alfa de Cronbach en el análisis de instrumentos escritos. *Revista Médica Electrónica*, 34(1), 1-6. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1684-18242012000100001
- Toro, R., Peña Sarmiento, M., Avendaño, B. L., & Mejía Vélez, S. (2022). Análisis Empírico del Coeficiente Alfa de Cronbach según Opciones de Respuesta, Muestra y Observaciones Atípicas. *Revista Iberoamericana de Diagnostico y Evaluacion Psicologica*, 2(63), 17-30. doi:10.21865/RIDEP63.2.02
- Vincent Cicchetti, D., & Sparrow, S. A. (1981). Developing Criteria for Establishing Interrater Reliability of Specific Items: Applications to Assessment of Adaptive Behavior. *American Journal of Mental Deficiency*, 86(2), 127-37.

ARTÍCULO ORIGINAL**Prototipo de aerogenerador de eje vertical para bajas velocidades de viento en Cruz Grande, Jaén****Prototype vertical axis wind turbine for low wind speeds in Cruz Grande, Jaén**Fuentes, F. ¹ , Sánchez, J. ² , Palacios, R. ³  y Núñez, L. ⁴ **RESUMEN**

La limitada disponibilidad de energía eléctrica en zonas alejadas de la red pública motiva la evaluación del recurso eólico como alternativa para el abastecimiento energético local. En este contexto, la investigación tuvo como objetivo implementar y evaluar un prototipo de aerogenerador de eje vertical diseñado para operar con bajas velocidades de viento en el caserío Cruz Grande, distrito de Jaén. El estudio fue de tipo aplicado, con diseño experimental. Para el dimensionamiento se consideró una velocidad de viento de 2.72 m/s, una densidad del aire de 1.09 kg/m³ y un coeficiente de potencia c_p de 0.35; bajo estas condiciones, para alcanzar una potencia de 12.15 W se obtuvo un rotor de 3.91 m², conformado por cinco aspas semicilíndricas de 0.50 m de diámetro. En la etapa de evaluación, mediante un sistema embebido con sensores se registró que, a una velocidad de 2.72 m/s, el rotor alcanzó 14 RPM y generó una potencia de 1.12 W. El análisis económico reportó un VAN de -S/. 5021.50, una TIR de -31 % y una relación beneficio-coste de 0.069, por lo que se concluye que el proyecto no es económicamente viable y no se recomienda su implementación a gran escala sin mejoras sustanciales en eficiencia o en las condiciones del recurso eólico.

Palabras clave: potencial eólico, aerogenerador, sistema embebido, prototipo.

ABSTRACT

The limited availability of electric power in areas far from the public grid motivates the assessment of wind energy as an alternative for local energy supply. In this context, the objective of the research was to implement and evaluate a vertical-axis wind turbine prototype designed to operate at low wind speeds in the village of Cruz Grande, district of Jaén. The study was applied in nature, with an experimental design. For the sizing, a wind speed of 2.72 m/s, an air density of 1.09 kg/m³ and a power coefficient c_p of 0.35 were considered; under these conditions, to reach a power of 12.15 W, a rotor area of 3.91 m² was obtained, consisting of five semicylindrical blades with a diameter of 0.50 m. During the evaluation stage, using an embedded system with sensors, it was recorded that at a wind speed of 2.72 m/s the rotor reached 14 RPM and generated an electrical power of 1.12 W. The economic analysis reported an NPV of -S/. 5021.50, an IRR of -31% and a benefit-cost ratio of 0.069, therefore it is concluded that the project is not economically viable and its large-scale implementation is not recommended without substantial improvements in efficiency or in the conditions of the wind resource.

Keywords: wind potential, wind turbine, embedded system, prototype

* Autor para correspondencia

^{1.} Universidad Nacional de Jaén-1, Perú. Email: jingfrans@unj.edu.pe, jefer.sanchez@est.unj.edu.pe, rodohi.palacios@est.unj.edu.pe, lenin_nunez@unj.edu.pe

INTRODUCCIÓN

El calentamiento global, la escasez de energía y el agotamiento de combustibles fósiles han impulsado la adopción de energías renovables, destacando la eólica como una de las más prometedoras. Aunque los aerogeneradores de eje horizontal (HAWT) han liderado grandes proyectos, presentan limitaciones en áreas urbanas y semiurbanas debido al ruido, impacto visual y restricciones de espacio. En contraste, los aerogeneradores de eje vertical (VAWT) ofrecen menor impacto ambiental, operan con bajas velocidades de viento y se integran fácilmente en entornos urbanos (Li et al., 2016; Yang et al., 2016; Khorsand et al., 2015). Según el Ministerio de Energía y Minas [MINEM] (2016), la energía eólica es una fuente madura y competitiva; sin embargo, los VAWT han sido menos investigados que los HAWT. La crisis climática y la necesidad de micro y nano generación han renovado el interés por ellos, especialmente en zonas aisladas sin acceso a redes eléctricas (Alave-Vargas et al., 2022).

En el caserío Cruz Grande, ante la ausencia de electricidad, surge la propuesta de implementar un prototipo de VAWT para aprovechar las bajas velocidades de viento. Este tipo de equipo es compacto, silencioso y adecuado para zonas rurales. Sus beneficios incluyen: Técnico-científicos: fomento de energías renovables y autoconsumo, validación del funcionamiento real y medición de la potencia generada en distintas velocidades de viento, Económicos: reducción de costos energéticos a largo plazo, menor dependencia de combustibles fósiles, acceso a subsidios, generación de empleo y mejora en la resiliencia energética, Sociales: mejora de calidad de vida, acceso a educación y comunicación, cohesión comunitaria, reducción de migración y concientización ambiental y Ambientales: uso de energía limpia que contribuye al desarrollo sostenible.

Estudios previos respaldan esta iniciativa: Altmimi et al. (2021) hallaron que un rotor de 4 palas supera al de 3 en eficiencia; Potosi (2021) desarrolló un VAWT que genera potencia útil desde 4 m/s; Gómez (2024) diseñó un sistema de monitoreo de turbinas con software libre; Caballero y Gallardo (2022) implementaron un sistema híbrido eólico-solar para una demanda de 4874.8 kWh/año; López (2021) optimizó un prototipo Savonius modificado, aumentando un 159% su eficiencia; y Suárez (2021) evaluó un Savonius para Jaén, concluyendo su baja rentabilidad económica.

El objetivo general de esta investigación es implementar un prototipo de aerogenerador de eje vertical para bajas velocidades de viento en Cruz Grande, Jaén, con el fin de generar energía eléctrica. Los objetivos específicos son: determinar parámetros de diseño, evaluar su funcionamiento y realizar la evaluación económica del proyecto.

MATERIALES Y MÉTODOS

El objeto de estudio fue la implementación de un prototipo de aerogenerador de eje vertical (AEV) diseñado para aprovechar bajas velocidades de viento con el fin de producir energía eléctrica en condiciones rurales. El caso de aplicación se situó en el caserío Cruz Grande, distrito de Jaén, donde el acceso a energía eléctrica presenta limitaciones y el recurso eólico es moderado pero continuo. El prototipo se concibió con fines demostrativos y como base para futuras estrategias de electrificación distribuida en zonas rurales.

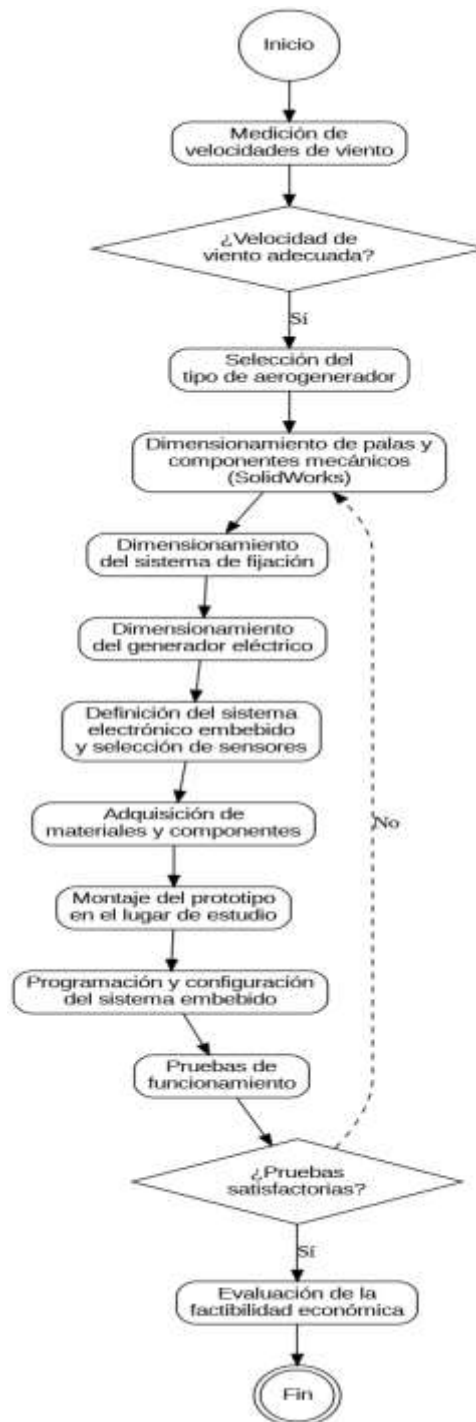
La implementación y prueba del prototipo se llevó a cabo en el caserío Cruz Grande, provincia de Jaén, departamento de Cajamarca (Perú). El emplazamiento seleccionado se localiza en las coordenadas aproximadas -5.722079 de latitud y -78.82066 de longitud, en una zona con relieve ligeramente accidentado y presencia de vientos de baja a media intensidad. El lugar se eligió considerando: (1) disponibilidad de espacio libre de obstáculos para el flujo de viento, (2) cercanía a viviendas potencialmente beneficiarias del sistema y (3) accesibilidad logística para el transporte de materiales, montaje y posterior mantenimiento del prototipo.

En el marco del estudio, la población estadística se definió como el conjunto de valores de velocidad del viento presentes en el área de estudio. Dado que la variable de mayor interés para el diseño del AEV es el régimen eólico local, se tomó como referencia la recomendación de Manwell et al. (2010), que plantean la necesidad de contar con múltiples mediciones para captar la variabilidad del recurso. Se estableció una muestra de 40 mediciones puntuales de velocidad de viento, obtenidas con un anemómetro en el sitio seleccionado, distribuidas a lo largo de un periodo de observación de cuarenta días consecutivos. A partir de este conjunto de datos se calculó la velocidad media del viento, así como parámetros básicos de dispersión (desviación estándar y rango), que se emplearon para, estimar la densidad de potencia eólica disponible en el sitio, dimensionar el rotor y el generador eléctrico del prototipo, verificar la factibilidad técnica de operar el aerogenerador a bajas velocidades de viento. El muestreo fue de tipo no probabilístico por conveniencia, condicionado por la accesibilidad y las condiciones climáticas del caserío.

A continuación, se presenta el diagrama de flujo del procedimiento metodológico seguido para el diseño, construcción y evaluación del aerogenerador de eje vertical. En él se sintetizan de manera secuencial las etapas principales, desde la medición del recurso eólico hasta la evaluación de la factibilidad económica del prototipo.

Figura 1

Diagrama de flujo del procedimiento realizado en la investigación



Nota. La Figura 1 se muestra el diagrama de flujo del procedimiento metodológico seguido para el desarrollo del prototipo de aerogenerador de eje vertical. El proceso se inicia con la medición de las velocidades de viento en el sitio de estudio y una primera decisión sobre la adecuación del recurso eólico. Cuando la velocidad resulta suficiente, se procede a la selección del tipo de aerogenerador y al dimensionamiento de las palas y componentes mecánicos en SolidWorks, seguido por el dimensionamiento del sistema de fijación y del generador eléctrico.

A continuación, se define el sistema electrónico embebido y se seleccionan los sensores, para luego adquirir los materiales y componentes necesarios.

Posteriormente, se realiza el montaje del prototipo en el lugar de estudio y la programación y configuración del sistema embebido. Una vez ensamblado el sistema, se ejecutan las pruebas de funcionamiento, tras las cuales se toma una segunda decisión: si los resultados no son satisfactorios, el procedimiento retorna al bloque de dimensionamiento mecánico para introducir ajustes; si las pruebas cumplen los criterios establecidos, se pasa a la evaluación de la factibilidad económica del proyecto, con lo que se da por concluido el procedimiento.

Componentes constructivos del aerogenerador

Las aspas del rotor se construyeron con plancha de acero laminado en frío recubierta con Aluzinc AZ150 de 0,35 mm, material elegido por su alta resistencia a la corrosión y a la oxidación, según especificaciones del proveedor (2,68 kg por lámina estándar y 1,20 m de ancho). El eje se fabricó con barra maciza de acero estructural de 1¼", conforme a las normas ASTM A36/A36M y SAE 1045, dimensionada para soportar los esfuerzos de flexión y torsión y protegida con pintura anticorrosiva.

El conjunto se completó con un soporte de eje en tubo redondo de acero y una torre de tubos cuadrados estructurales, diseñada para resistir peso propio, cargas de viento y vibraciones, considerando factores de seguridad frente a pandeo, flexión y fatiga. Como sistema de conversión se empleó un generador de imanes permanentes con bobinados de cobre e imanes de neodimio, capaz de entregar tensiones útiles aun a bajas velocidades de giro, adecuado para sitios con vientos moderados.

Sistema de control y electrónica

El sistema de conversión y control se compuso de tres elementos principales: un controlador de carga, encargado de regular la energía hacia el banco de baterías y protegerlo de sobrecarga y sobredescarga; un banco de baterías, priorizando tecnologías de ion-litio por su mayor densidad energética y vida útil, con la opción de plomo-ácido como alternativa económica; y una placa ESP32, que actuó como unidad central del sistema embebido para registrar velocidad del viento, tensión, corriente y rpm, además de ejecutar la lógica de control del prototipo.

Sistema de montaje y fijación

Para asegurar la estabilidad del aerogenerador se dispuso un sistema de montaje y fijación basado en elementos mecánicos y civiles. Se utilizaron tornillos y pernos de acero inoxidable, seleccionados por su resistencia mecánica y su buen desempeño frente a la corrosión, lo que reduce los requerimientos de mantenimiento. La estructura se ancló a bases de concreto que actúan como

cimientos, proporcionando rigidez al conjunto y garantizando la resistencia frente a esfuerzos de vuelco y deslizamiento producidos por el viento.

Cables, conectores y sensores

Los conductores eléctricos utilizados son de cobre con aislamiento en PVC o polietileno, lo que asegura buena conductividad y protección frente a la radiación solar, la humedad y otros agentes ambientales. Para la monitorización del sistema se emplearon sensores específicos: un transmisor RS485 para la velocidad del viento, un encoder infrarrojo FC-03 para los rpm del eje, el ZMPT101B para la tensión y el ACS712ELCTR-5A-T para la corriente. El registro conjunto de estas variables permitió analizar el desempeño eléctrico del prototipo en condiciones reales de operación.

Instrumentos de medición

En las etapas de construcción, montaje y puesta en marcha se utilizaron diversos instrumentos de medición. Un anemómetro permitió registrar la velocidad del viento en el lugar de instalación. Una pinza amperimétrica se empleó para medir los valores de tensión y corriente del sistema en distintas condiciones de carga. Para la verificación geométrica se utilizaron una cinta métrica (guincha) y un nivel de burbuja, con los que se comprobaron dimensiones, verticalidad y alineamientos de la estructura.

Software de ingeniería

El diseño, análisis y documentación del prototipo se apoyó en diversas herramientas de software con licencia académica o en versión de prueba. El programa AutoCAD 2023 se utilizó para la elaboración de planos y detalles constructivos; SolidWorks 2023 permitió el modelado tridimensional de palas, rotor y estructura; Proteus 8.13 se empleó para la simulación de los circuitos electrónicos y del sistema de control todos estos softwares fueron versión estudiantil; y Arduino IDE 8.3.4 se utilizó para la programación de la placa ESP32.

Máquinas y herramientas de construcción

La fabricación del prototipo se llevó a cabo en un taller metal mecánico equipado con maquinaria convencional. Se utilizó una amoladora angular (Dewalt DWE4324N) para operaciones de corte y desbaste, una sierra de arco (SABI SM-18) para cortes precisos en perfiles metálicos y un taladro percutor-atornillador (Bosch GSB16RE) para la perforación y el ensamblaje mecánico. Las uniones soldadas se realizaron con una soldadora eléctrica (ESAB LHN240IPLUS), y el corte de secciones de acero estructural se efectuó mediante una tronzadora (Dewalt D28730). El proceso de pintado se apoyó en una compresora de aire (Einhell TC-AC112508). Adicionalmente, se utilizaron herramientas auxiliares, como pelacables y escobillas

metálicas, para el acabado de soldaduras, la preparación de superficies y el acondicionamiento de conductores eléctricos.

El estudio se enmarca dentro de la categoría de investigación aplicada, puesto que se recurre a conocimientos de diseño de máquinas y de sistemas de conversión energética para dar respuesta a un problema concreto: el aprovechamiento del recurso eólico en una zona rural con limitaciones de acceso a la red eléctrica. En esta perspectiva, la investigación no se orienta únicamente a generar nuevos conocimientos teóricos, sino a desarrollar una solución tecnológica funcional que pueda ser implementada en condiciones reales de operación, coherente con la definición de investigación aplicada planteada por Vásquez et al. (2023), quienes la vinculan con la formulación de respuestas prácticas a partir de bases científicas consolidadas.

En cuanto al diseño, la investigación adoptó un enfoque experimental. Se procedió a la construcción de un prototipo físico de aerogenerador de eje vertical y a la evaluación de su desempeño bajo condiciones controladas de operación en el campo. El comportamiento del sistema se analizó en función de variables técnicas previamente definidas (velocidad de viento, potencia generada, comportamiento eléctrico y respuesta estructural), contrastando los resultados obtenidos con los criterios de diseño y con el desempeño reportado en la literatura para aerogeneradores de características similares. De acuerdo con Cevallos et al. (2017), el diseño experimental se caracteriza por la manipulación deliberada de variables técnicas dentro de rangos establecidos, con el propósito de estudiar su efecto sobre variables de respuesta; en este caso, se consideraron como salidas principales la potencia eléctrica producida y los indicadores económicos asociados a la viabilidad del sistema.

Se desarrolló un análisis documental exhaustivo, basado en una revisión sistemática de literatura en bases de datos científicas (ScienceDirect, SciELO, PubMed), libros especializados, tesis y documentos técnicos de organismos oficiales. Este proceso permitió identificar criterios y parámetros de diseño para aerogeneradores de eje vertical, experiencias en el aprovechamiento de vientos de baja velocidad y metodologías para la evaluación técnica y económica. La información obtenida sirvió como base para definir los rangos de operación del prototipo, dimensionar el rotor y el generador, seleccionar materiales y equipamiento electrónico, y estructurar el esquema de análisis económico.

Además, se aplicó observación directa con mediciones de campo para caracterizar el recurso eólico en el lugar de instalación. Mediante un anemómetro se registró la velocidad del viento durante 40 días consecutivos, siguiendo un protocolo fijo de altura y horarios. Los datos fueron procesados en hojas de cálculo para obtener la velocidad media y otros indicadores

estadísticos, a partir de los cuales se estimó la potencia eólica disponible y se verificó la factibilidad técnica del sistema, ajustando el dimensionamiento del aerogenerador y sirviendo de referencia para interpretar su desempeño energético.

RESULTADOS

En esta sección se presentan los principales resultados obtenidos durante la construcción y evaluación del prototipo de aerogenerador de eje vertical. En primer lugar, se muestran los parámetros técnicos logrados en el diseño y la puesta en marcha del sistema. A continuación, se analizan el comportamiento aerodinámico y eléctrico del prototipo bajo distintas condiciones de velocidad de viento, así como los indicadores de desempeño energético y económico asociados a su operación en el caserío de estudio.

Determinación de los parámetros de diseño de un prototipo de aerogenerador de eje vertical

1. Densidad del viento: $\rho = 1.09 \text{ kg/m}^3$
2. Velocidad del viento: $V_{media} = 2.72 \text{ m/s}$
3. Potencia eléctrica de salida: $P_{carga} = 12.15 \text{ W}$
4. Dimensionamiento del prototipo del aerogenerador:

Para calcular las dimensiones del rotor se utilizó la fórmula $P_{electrica} = \frac{1}{2} \cdot n_e \cdot n_m \cdot C_p \cdot \rho \cdot A \cdot v^3$, considerando un $C_p = 0.35$ se obtiene un área de barrido del rotor de 3.91 m^2 con 5 aspas semicilíndricas distribuidas en partes iguales alrededor del eje. Entonces:

- Diámetro: $d = 1.60 \text{ m}$; Altura: $h = 2.45 \text{ m}$
- Aspa del rotor: Cada aspa es de 50 cm de diámetro por 2.45 m de altura haciendo una masa teórica de 9.236 kg.
- Velocidad de rotación y torque: $\omega = 3.40 \text{ rad/s}$ y $T = 8.85 \text{ N.m}$
- Fuerza del viento en las aspas: $P = 78.48 \text{ Pa}$
- Fuerza producida en las aspas debido a la rotación: $F = 59.79 \text{ N}$
- Trasmisión mecánica multiplicadora de RPM: $d_{polea \text{ generador}} = 2''$ y $d_{polea \text{ rotor}} = 12''$
- Selección del generador Eléctrico

Tabla 1

Especificaciones técnicas del generador eléctrico

Modelo	G-200,3Ø
Potencia nominal	1000 W
Velocidad nominal de rotación	300 rpm
Voltaje nominal	100 V
Corriente nominal	10A
Eficiencia	0.90
Material	Imanes permanentes
Peso	8 kg

Nota. Dimensionamiento de baterías: Batería Bulk (modelo: BK NS60L) de 9 Ah. El prototipo de aerogenerador de eje vertical fue dimensionado bajo condiciones de operación representativas del sitio, considerando una densidad del aire de 1,09 kg/m³ y una potencia eléctrica ideal estimada de 12,15 W para la condición de diseño.

Según la tabla 1, para la conversión electro-mecánica se seleccionó un generador de imanes permanentes modelo G-200,3Ø, con potencia nominal de 1000 W, velocidad nominal de 300 rpm, voltaje nominal de 100 V, corriente nominal de 10 A y eficiencia de 0,90

5. Diseño de las partes del aerogenerador

- **Aspas:** Se seleccionó Aluzinc de 0.35 mm de espesor para la construcción, pero estas resultan ser flexibles por lo que se diseñó un soporte de acero estructural para cada una de estas rolado exactamente a 50 cm de diámetro.
- **Eje:** Se seleccionó un eje de 1 ¼”, haciendo mecanizar un orificio roscado en la parte superior para fijar la brida. Además, se tornearon los extremos del eje con el fin de acoplar adecuadamente chumaceras de 1”.
- **Soporte de eje(carrete):** Soporta el eje y su conjunto a través de 2 chumaceras para evitar la flexión, y transmitir la carga hacia la torre. Se seleccionó tubo de acero estructural circular de 2.5 pulgadas soldado con bridas circulares en ambos extremos para la fijación en la torre
- **Brida:** Une las aspas con el eje a través de pernos para formar un conjunto estable y seguro, para ello se realizó 10 agujeros donde irán los pernos de unión del aspa, un agujero central y se soldó una nuez de sujeción para fijar la brida en el eje.
- **Estructura de soporte (torre):** Se construyó una torre de 6 m de altura de tubo cuadrado estructural unida con peldaños soldados a las dimensiones requeridas para lograr estabilidad a lo largo de la estructura.

6. Sistema de control

El sistema de adquisición y monitoreo está conformado por un sensor de viento RS485 para medir la variabilidad de la velocidad del viento, un sensor de RPM tipo encoder infrarrojo FC-03 (MOCH22A) para cuantificar las revoluciones del eje del generador, un sensor de voltaje ZMPT101B para registrar el voltaje de línea y un sensor de corriente ACS712ELCTR-5A-T (5 A) para medir la corriente entregada a la carga; además, incorpora un módulo RTC DS3221 por I2C para asociar cada registro con fecha y hora, y un módulo lector microSD (74LVC125A) para almacenar las mediciones. Todo el procesamiento y la gestión de datos se realizan con un ESP32 DEVKIT V1, mientras que la visualización en tiempo real se efectúa mediante un display LCD TFT de 2.4" con interfaz I2C, permitiendo supervisar las variables eléctricas y mecánicas del sistema durante la operación.

7. Evaluación del funcionamiento del aerogenerador

Para la respectiva evaluación del aerogenerador se realizó la implementación del prototipo. Las aspas se construyeron de Aluzinc de 0.35 mm de espesor y se fijó a través de remaches en la estructura de soporte para evitar la flexión. Luego se procedió a realizar el torneado del eje para fijar con las chumaceras hacia el carrete y este en la torre. Seguidamente se realizó el montaje de la brida con el eje con sus respectivos prisioneros, y finalmente se realizó el montaje de las aspas con sus respectivos pernos en la brida.

Figura 2

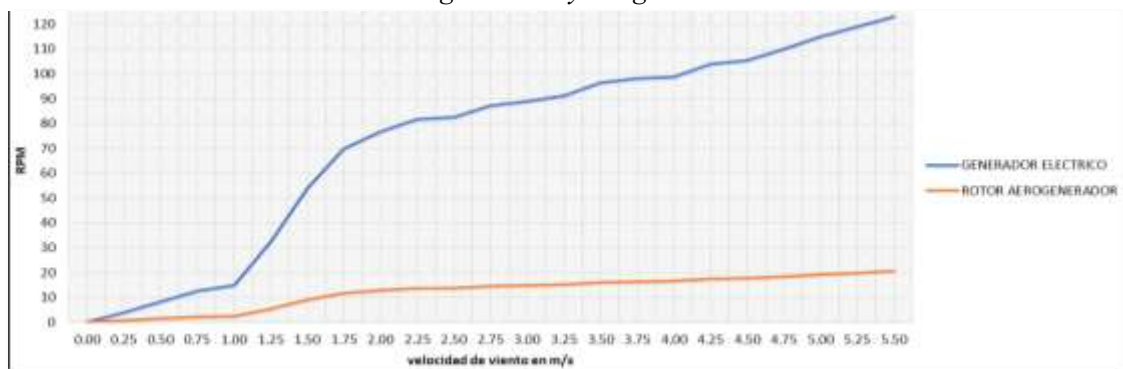
Prototipo de aerogenerador de eje vertical



Nota. Según la figura 2, el prototipo fue construido e instalado con aspas de aluzinc de 0,35 mm reforzadas con soportes de acero estructural; se montó el conjunto eje–chumaceras–carrete, la brida de unión y la torre de 6 m de altura, asegurando rigidez y estabilidad del sistema durante operación. El monitoreo se realizó mediante un sistema embebido durante 5 días, registrando datos cada 30 s y almacenándolos en tarjeta micro-SD para su posterior procesamiento en Excel. La instrumentación incluyó sensor de viento RS485, sensor de RPM (FC-03), sensor de voltaje (ZMPT101B) y

Figura 3

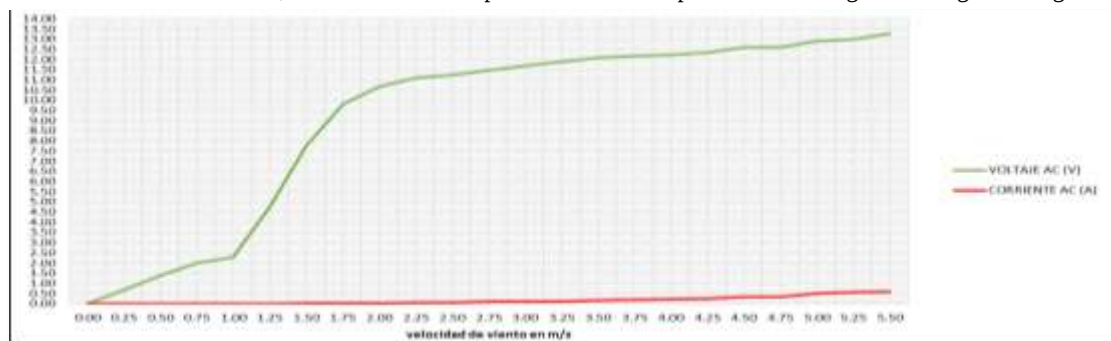
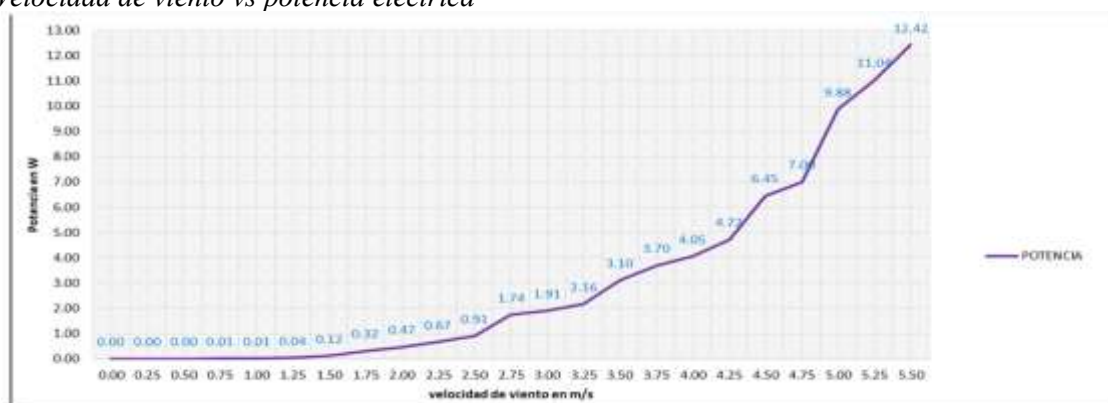
Velocidad del viento vs RPM del aerogenerador y del generador eléctrico



Nota. Según la figura 3, se observó un incremento de las RPM del rotor conforme aumentó la velocidad del viento. Adicionalmente, el generador presentó un aumento más pronunciado de revoluciones debido a la relación de transmisión 1:6. Respecto a la condición de diseño, se estimó que a 2,72 m/s el rotor alcanzaría 32 RPM; sin embargo, en la evaluación experimental a dicha velocidad se registró aproximadamente 14 RPM, evidenciando una diferencia entre el desempeño ideal y el real bajo condiciones de campo.

Figura 4*Velocidad del viento vs voltaje e intensidad de corriente*

Nota. Según la figura 4, el voltaje y la corriente medidos bajo carga mostraron una tendencia creciente con el incremento de la velocidad del viento, indicando una respuesta eléctrica dependiente del régimen de giro del generador.

**Figura 5***Velocidad de viento vs potencia eléctrica*

Nota. Según la figura 5, la potencia eléctrica medida aumentó con la velocidad del viento (Figura 5). A 2,72 m/s se obtuvo 1,74 W, lo que representa una reducción del 85% respecto a la potencia ideal estimada (12,15 W). Durante el periodo de monitoreo, la potencia promedio fue 0,12 W, asociada a una velocidad promedio de viento de 1,54 m/s, lo cual explica el bajo rendimiento observado en condiciones reales de bajas velocidades.

Tabla 2*Estadística descriptiva de las variables medidas en función de la velocidad del viento*

Variable	Unidad	n	Media	DE	Min	Max
Velocidad del viento	m/s	23	2.75	1.70	0.00	5.50
RPM rotor	rpm	23	12.34	7.13	0.00	20.54
RPM generador	rpm	23	74.82	41.94	0.54	123.24
Voltaje AC	V	23	9.38	4.84	0.07	13.37
Corriente AC	A	23	0.11	0.18	0.00	0.58
Potencia	W	23	2.59	3.45	0.00	12.42

Nota. La Tabla 2 presenta la estadística descriptiva de las variables evaluadas en las curvas experimentales en función de la velocidad del viento. Se incluye el número de puntos considerados ($n = 23$), así como la media, desviación estándar (DE) y los valores mínimo y máximo de cada variable (velocidad del viento, RPM del rotor, RPM del generador, voltaje AC, corriente AC y potencia). En el rango analizado (0,00–5,50 m/s), la velocidad media fue 2,75 m/s y se observó un incremento del régimen de giro y de la respuesta eléctrica conforme aumenta el viento, alcanzándose valores máximos de 20,54 rpm en el rotor, 123,24 rpm en el generador, 13,37 V de voltaje, 0,58 A de corriente y 12,42 W de potencia. La dispersión cuantificada por la DE refleja la variabilidad de la respuesta del sistema a lo largo del rango de velocidades evaluado.

Evaluación económica del proyecto.

La inversión total ascendió a S/ 5027,96 y el ingreso anual estimado fue S/ 0,865. Los indicadores obtenidos fueron VAN = -S/ 5021,50, TIR = -31% y relación Beneficio/Costo = 0,069, lo que evidencia inviabilidad económica bajo el escenario de operación evaluado.

DISCUSIÓN

La presente sección discute los resultados obtenidos en el diseño, construcción y evaluación del aerogenerador de eje vertical, contrastándolos con la evidencia reportada en investigaciones previas.

López (2021) desarrolló un estudio experimental para optimizar la captación de energía eólica con prototipos Savonius, comparando una turbina clásica de dos etapas y un diseño modificado de una sola etapa con cuatro álabes semicilíndricos, ensayados entre 2.9 y 4.8 m/s. El diseño modificado mostró un mejor desempeño, por lo que en el presente trabajo se adoptaron palas semicilíndricas, fabricadas en Aluzinc por su resistencia a la corrosión y bajo peso. El prototipo se dimensionó considerando una densidad del aire de 1.09 kg/m^3 y una velocidad media de viento de 2.72 m/s, obteniéndose un área de barrido de 3.91 m^2 y una potencia ideal proyectada de 12.15 W.

Altmimi et al. (2021) compararon rotores de eje horizontal con distinto número de palas, encontrando que configuraciones de 4 y 5 palas eran más eficientes que el clásico rotor de 3, aunque el de 5 palas fallaba a TSR elevados. A partir de estos resultados, se diseñó un rotor de 1.60 m de diámetro, cinco palas semicilíndricas de radio 0.25 m y altura de 2.45 m, priorizando mayor torque de arranque a vientos moderados. Se obtuvo un torque de $8.85 \text{ N}\cdot\text{m}$ y 32 rpm en condiciones iniciales, incorporándose un sistema de transmisión por poleas para aumentar la velocidad de giro del generador. No obstante, se observaron pérdidas mecánicas y dificultades de arranque a bajas velocidades, lo que refuerza la necesidad de generadores diseñados para operar directamente a bajas rpm y alto torque, en línea con Potosí (2021), quien logró eficiencias cercanas al 59 % con un generador axial adaptado al potencial eólico disponible.

En la instrumentación, se implementó un sistema embebido con sensores RS485 para la velocidad del viento, encoder FC-03 para rpm, módulo ZMPT101B para tensión y ACS712ELCTR-5A-T para corriente, gestionados por dos ESP32 y un módulo microSD para registro de datos cada 30 segundos durante 5 días, además de una pantalla LCD táctil de 2.4". Esta estrategia, inspirada en la propuesta de Gómez (2024), permitió un monitoreo continuo y preciso

con tecnología accesible y de código abierto, superando las limitaciones de métodos manuales tradicionales en términos de precisión y tiempo de procesamiento.

Durante la evaluación experimental, a una velocidad media de 2.72 m/s se obtuvo una potencia real de 1.74 W, aproximadamente un 85 % por debajo de la potencia ideal, evidenciando pérdidas importantes en el sistema mecánico y eléctrico. El multiplicador por poleas (1:6) ligeramente incrementó la velocidad de entrada al generador, pero introdujo pérdidas adicionales y un par resistente significativo, limitando el arranque y la operación. Estos resultados confirman que, en contextos de viento bajo, la solución más eficiente es emplear generadores específicamente diseñados para bajas revoluciones, evitando multiplicadores que incrementen la inercia y las pérdidas.

Caballero y Gallardo (2022) mostraron que un sistema híbrido eólico–solar permite cubrir demandas energéticas relevantes (4874.8 kWh/año) con un aerogenerador Darrieus de 3.5 kW operando a 12.7 m/s y paneles fotovoltaicos complementarios. En contraste, en el presente estudio la velocidad media del viento de 1.54 m/s solo permitió generar alrededor de 0.12 W, muy por debajo de los 12.15 W mínimos para iniciar la carga de baterías, lo que evidencia la baja eficacia de un sistema exclusivamente eólico en estas condiciones. En coherencia con Suárez (2021), quien reportó indicadores económicos negativos (VAN, TIR, B/C) para un sistema similar en Jaén con vientos promedios de 1.03 m/s, la evaluación financiera de este proyecto también arrojó VAN y TIR negativos, confirmando su no viabilidad económica bajo el régimen de viento estudiado. Estos hallazgos, en línea con lo planteado por Duffie y Beckman (2013), subrayan que en escenarios de baja disponibilidad eólica resulta más adecuado considerar soluciones híbridas (eólico–solar) u otras fuentes renovables que permitan mejorar tanto el rendimiento energético como la viabilidad económica del sistema.

CONCLUSIONES

La implementación del sistema embebido de adquisición de datos permitió una medición precisa, continua y en tiempo real de las variables críticas del prototipo, superando ampliamente a los métodos manuales tradicionales. El uso de sensores especializados, almacenamiento digital y visualización en pantalla táctil demostró ser una solución accesible, escalable y eficaz para el monitoreo de sistemas eólicos a pequeña escala.

A partir de una densidad del aire de 1.09 kg/m³ y una velocidad media de viento de 2.72 m/s se estimó una potencia teórica de 12.15 W, definiéndose un rotor de 1.60 m de diámetro, 2.45 m de altura y un torque de diseño de 8.85 N·m. Sin embargo, la potencia real obtenida fue

significativamente menor, debido a pérdidas mecánicas y eléctricas, en especial las asociadas al sistema de transmisión por poleas y al par resistente de la carga.

Los resultados muestran que la estrategia más eficiente para mejorar el rendimiento del sistema consiste en emplear un generador diseñado para operar directamente a bajas revoluciones y alto torque, prescindiendo de multiplicadores mecánicos que incrementan la inercia y las pérdidas.

En el contexto de bajas velocidades de viento del sitio de estudio, un sistema exclusivamente eólico no logra cubrir las necesidades energéticas planteadas. La evaluación económica arrojó un VAN y una TIR negativos, lo que confirma la no viabilidad financiera del proyecto en estas condiciones y refuerza la conveniencia de considerar soluciones híbridas (eólico-solar) u otras fuentes renovables complementarias.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alave-Vargas, E. M., Lafuente, R. O., & Sempértegui-Tapia, D. F. (2022). Estado del arte sobre aerogeneradores de eje vertical (Monografía). *Revista Investigación & Desarrollo*, 22(1), Article 1. <https://doi.org/10.23881/idupbo.022.1-13i>
- Altmimi, A., Alaskari, M., Abdullah, O., & Sherza, J. (2021). Diseño y optimización de aerogeneradores de eje vertical utilizando QBlade. *Applied System Innovation*, 4(4), 74. <https://doi.org/10.3390/asi4040074>
- Caballero, R. J., & Gallardo, R. J. (2022). *Aerogenerador hibrido de eje vertical para abastecer de energía eléctrica al laboratorio general de Biotecnología de la UNPRG* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. Repositorio Institucional UNPRG. <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/10760>
- Cevallos, A. F., Polo Luna, E. F., Salgado Chasipanta, D. J., & Orbea Vergara, M. S. (2017). *Métodos y técnicas de investigación*. Grupo compás. <http://142.93.18.15:8080/jspui/handle/123456789/498>
- Gómez, C. A. (2024). *Prototipado y análisis comparativo de dos turbinas eólicas de eje vertical para generación eléctrica a pequeña escala* [Tesis de postgrado, Universidad Tecnológica de Pereira]. Repositorio Institucional UTP. <https://hdl.handle.net/11059/15277>
- Jimenez, F., Espinosa, C., & Fonseca, L. (2007). *Ingeniería Económica*. Editorial Tecnologica de CR. https://www.google.com.pe/books/edition/Ingenier%C3%ADa_Econ%C3%B3mica/LVLZA74NNwwC?hl=es&gbpv=0
- Khorsand, I., Kormos, C., MacDonald, E. G., & Crawford, C. (2015). Wind energy in the city: An interurban comparison of social acceptance of wind energy projects. *Energy Research & Social Science*, 8, 66-77. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2015.04.008>

- López, E. J. (2021). *Construcción de prototipo de aerogenerador savonius a nivel de banco para optimizar captación de energía eólica* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión]. Repositorio Institucional UNJFSC. <https://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/20.500.14067/5469>
- Ministerio de Energía y Minas (MINEM). (2016). *Atlas eólico del Perú*. [http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/Electricidad/publicaciones/Atlas Eolico Final.pdf](http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/Electricidad/publicaciones/Atlas_Eolico_Final.pdf) 131
- Potosi, F. L. (2021). *Construcción de un prototipo de generador eólico de baja potencia con eje vertical en el edificio de la carrera de electricidad de la Universidad Técnica del Norte* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio Institucional UTN. <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/11555>
- Suárez, N. J. M. (2021). *Diseño de un Aerogenerador Eólico para Cubrir la Demanda Eléctrica al Laboratorio de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Nacional de Jaén* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Jaén]. Repositorio Institucional UNJ. <http://repositorio.unj.edu.pe/jspui/handle/UNJ/162>
- Vásquez, A. A. V., Guanuchi, L. M., Cahuana, R. C., Vera, R. V., & Holgado, J. H. (2023). Métodos de investigación científica. En *Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú*. Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú. <https://doi.org/10.35622/inudi.b.094>
- Villarrubia, M. (2012). *Ingeniería de la energía eólica* (1 edición). Marcombo. https://books.google.com.pe/books?id=GW_jEgJJSdcC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false

ARTÍCULO ORIGINAL

Resistencia y capacidad portante del suelo en Los Portales, Montegrande y Miraflores (Jaén) para diseño de cimentaciones

Soil Resistance and Bearing Capacity in Los Portales, Montegrande, and Miraflores (Jaén) for Foundation Design

Fuentes, F.¹ , Damián, L.² , García, J.³ , Silva, W.⁴ , Machado, D.⁵ , Coronel, J.⁶  y Alamo, Á.⁷ 

RESUMEN

Se evaluó la resistencia y capacidad portante del suelo en los sectores Los Portales, Montegrande y Miraflores del distrito de Jaén (Cajamarca, Perú), debido al crecimiento urbano y a la necesidad de sustentar técnicamente el diseño de cimentaciones en zonas con condiciones geotécnicas variables. El objetivo fue determinar parámetros geotécnicos que permitan definir criterios de diseño óptimo de cimentaciones superficiales. La metodología incluyó exploración mediante calicatas a cielo abierto hasta 2,00 m, descripción estratigráfica, muestreo representativo y ensayos de laboratorio para humedad natural, granulometría, límites de Atterberg, clasificación SUCS, resistencia al corte por corte directo y evaluación química (sales solubles, sulfatos y cloruros). Los resultados indicaron suelos granulares en Montegrande (GC) y Miraflores (SC), con ángulos de fricción cercanos a 30° y presiones admisibles de 1,86 y 1,78 kg/cm², respectivamente; mientras que Los Portales presentó suelo fino cohesivo (CL), menor fricción ($\approx 20,6^\circ$) y presión admisible de 0,77 kg/cm². Los asentamientos inmediatos estimados fueron menores a 0,5 cm. Se concluye que Montegrande y Miraflores son favorables para cimentaciones superficiales convencionales, y que Los Portales requiere mayor área de apoyo o soluciones de mayor rigidez para cumplir capacidad portante.

Palabras clave: suelo, resistencia al corte, capacidad portante, cimentaciones superficiales, Jaén.

ABSTRACT

The strength and bearing capacity of the soil in the Los Portales, Montegrande and Miraflores sectors of the Jaén district (Cajamarca, Peru) was evaluated due to urban growth and the need to technically support the design of foundations in areas with variable geotechnical conditions. The objective was to determine geotechnical parameters that would allow the definition of optimal design criteria for shallow foundations. The methodology included exploration using open-pit test pits up to 2.00 m deep, stratigraphic description, representative sampling and laboratory tests for natural moisture content, grain size distribution, Atterberg limits, SUCS classification, direct shear strength and chemical evaluation (soluble salts, sulphates and chlorides). The results indicated granular soils in Montegrande (GC) and Miraflores (SC), with friction angles close to 30° and allowable pressures of 1.86 and 1.78 kg/cm², respectively; while Los Portales had fine cohesive soil (CL), lower friction ($\approx 20.6^\circ$) and an allowable pressure of 0.77 kg/cm². The estimated immediate settlements were less than 0.5 cm. It is concluded that Montegrande and Miraflores are favourable for conventional shallow foundations, and that Los Portales requires a larger support area or more rigid solutions to meet bearing capacity requirements.

Keywords: soil, shear strength, bearing capacity, shallow foundations, Jaén.

* Autor para correspondencia

¹ Universidad Nacional de Jaén, Perú. Email: ingfrans@unj.edu.pe, ldamiansandoval@unj.edu.pe, jandry.garcia@est.unj.edu.pe, winstler.silva@est.unj.edu.pe, delcy.machado@est.unj.edu.pe, joel.coronel@est.unj.edu.pe, angel.alamo@est.unj.edu.pe

INTRODUCCIÓN

El suelo es un material natural heterogéneo compuesto por partículas sólidas y vacíos que pueden estar ocupados por agua y/o aire. La interacción entre estas fases condiciona su comportamiento mecánico y explica por qué, ante cargas estructurales, el terreno puede responder con deformaciones y fallas de distinta magnitud según su granulometría, plasticidad, estructura y estado de humedad. En ingeniería civil, estas características son críticas porque las cimentaciones constituyen el vínculo directo entre la superestructura y el terreno; por tanto, el diseño exige estimar con confiabilidad parámetros geotécnicos como resistencia al corte, rigidez y capacidad portante para garantizar estabilidad, servicio y durabilidad (Sacravilca Ladera, 2024).

En el Perú, el crecimiento urbano y la expansión de infraestructura pública y privada han incrementado la ocupación de áreas con condiciones geotécnicas variables. En muchas ciudades intermedias, la velocidad de construcción supera la generación de información técnica del subsuelo, lo que eleva la incertidumbre en el diseño de cimentaciones (Vásquez Eneque, 2023). En este contexto, la normativa nacional establece que el diseño debe sustentarse en estudios de mecánica de suelos que determinen las características del terreno y los parámetros necesarios para cimentaciones; cuando estos estudios se omiten o se realizan de forma insuficiente, se incrementa el riesgo de inconsistencias de diseño y de problemas en servicio, tales como asentamientos diferenciales, fisuración y sobrecostos por correcciones no previstas (MVCS, 2018). A nivel local, el distrito de Jaén (Cajamarca) muestra un crecimiento constructivo sostenido asociado al aumento poblacional y a la demanda de vivienda y equipamiento urbano. Sin embargo, parte de ese crecimiento ocurre en áreas con habilitación urbana incompleta o con limitada planificación técnica. Antecedentes vinculados a procesos de urbanización destacan que la regularización y el desarrollo urbano requieren estudios básicos de ingeniería como soporte técnico para decisiones de diseño, principalmente porque el suelo condiciona la seguridad y el desempeño de las edificaciones (Castro Casas & Chanamé Gómez, 2021).

La literatura y trabajos recientes relacionados con la problemática coinciden en que la incertidumbre del subsuelo originada por variabilidad de estratos, propiedades y modelos condiciona directamente la toma de decisiones en el diseño geotécnico; cuando la caracterización es limitada, aumentan los riesgos de selección no óptima de la cimentación y de deformaciones en servicio, además de incrementarse la probabilidad de correcciones no previstas (Phoon et al., 2022). En esa misma línea, investigaciones contemporáneas han reforzado el uso de enfoques comparativos y computacionales para mejorar la estimación de parámetros de diseño y reducir la incertidumbre en capacidad portante; por ejemplo, mediante la comparación de métodos analíticos,

modelación numérica y enfoques basados en datos para estimar la capacidad última en cimentaciones superficiales, especialmente en suelos granulares (Dehghanbanadaki & Motamedi, 2024). Del mismo modo, se ha resaltado que la predicción de asentamientos en cimentaciones superficiales constituye un criterio de control del diseño, y que la incorporación de información proveniente de ensayos in situ (como CPT) puede mejorar la confiabilidad de las estimaciones en contextos con incertidumbre geotécnica (Zhang et al., 2025). En suelos finos, se reporta también la utilidad de enfoques integrados que vinculan capacidad portante y asentamientos mediante modelación teórica–numérica, apoyada en datos de exploración y ensayos de laboratorio, para fortalecer la toma de decisiones (Lopez & Quevedo, 2022). Asimismo, en suelos no saturados se ha evidenciado que variables hidro-mecánicas como el contenido de agua y la succión matricial pueden modificar la resistencia efectiva y, por ende, la capacidad portante, reforzando la necesidad de considerar el estado del suelo y su variabilidad durante el diseño (Yilmazoglu et al., 2023) y (Bhardwaj & Sharma, 2022).

Sobre la base de estos antecedentes, el estudio se orienta a aportar información geotécnica aplicable al diseño de cimentaciones en sectores urbanos específicos de Jaén. En términos metodológicos, una evaluación geotécnica confiable integra: (1) exploración y reconocimiento del terreno; (2) muestreo representativo por estratos; y (3) ensayos normalizados para determinar propiedades índices (granulometría, límites de Atterberg, humedad natural) y propiedades mecánicas (parámetros de resistencia), debido a que estos elementos permiten clasificar el suelo, estimar su capacidad portante y sustentar la selección de cimentaciones con criterios verificables. En el caso peruano, la Norma Técnica E.050 “Suelos y Cimentaciones” orienta la investigación del suelo y el diseño geotécnico, mientras que las Normas Técnicas Peruanas (NTP) respaldan la ejecución de ensayos de laboratorio y campo (MVCS, 2018).

El alcance de la investigación se circunscribe a los sectores Los Portales, Montegrande y Miraflores del distrito de Jaén, con énfasis en la caracterización del estrato de interés para cimentaciones superficiales a partir de exploración, muestreo y ensayos geotécnicos normalizados, con la finalidad de derivar parámetros útiles de diseño y sustentar alternativas de cimentación acordes con las condiciones del terreno. En cuanto a limitaciones, el estudio se restringe a los puntos investigados y a las condiciones representadas por la campaña de exploración realizada (profundidad y ubicación), por lo que los resultados deben interpretarse dentro del ámbito espacial y estratigráfico analizado. Además, la variabilidad natural del suelo puede requerir ampliaciones de exploración para proyectos de mayor envergadura o para zonas no incluidas en esta evaluación;

no obstante, los hallazgos constituyen una base técnica aplicable al diseño de cimentaciones en obras civiles locales y una referencia para futuras ampliaciones de estudios en el distrito.

el objetivo general de la investigación es evaluar la influencia de la resistencia del suelo en los sectores Los Portales, Montegrande y Miraflores del distrito de Jaén, a fin de determinar un diseño óptimo de cimentaciones que garantice la seguridad y eficiencia en obras de ingeniería civil, considerando la variabilidad geotécnica identificada entre sectores.

MATERIALES Y MÉTODOS

1. Diseño de investigación y enfoque

El estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo y un diseño no experimental, basado en la exploración del terreno, muestreo y ensayos normalizados para obtener parámetros físicos y mecánicos del suelo. La estrategia metodológica combinó investigación de campo mediante calicatas y ensayos de laboratorio para caracterización geotécnica, enfoque comúnmente aplicado en estudios de evaluación de suelos para cimentaciones superficiales (Falae & Ogundana, 2022).

2. Área de estudio

Se ejecutaron calicatas a cielo abierto en los sectores Los Portales, Montegrande y Miraflores, con registro estratigráfico (tipo de suelo, color, textura, humedad) y extracción de muestras representativas por estrato. El empleo de calicatas (trial pits) como técnica de reconocimiento superficial y obtención de muestras para ensayos de clasificación y resistencia ha sido reportado como una alternativa válida para caracterizar el estrato de cimentación en proyectos de edificación, especialmente cuando se requiere verificación visual de estratos y muestreo directo (Falae & Ogundana, 2022).

3. Población y muestra

La población estuvo conformada por los suelos representativos de los sectores Los Portales, Montegrande y Miraflores, estratos relevantes para la evaluación de cimentaciones superficiales. Se tomó una muestra de $n = 9$ muestras (3 por cada sector), siguiendo el criterio técnico y la Norma Técnica E.050 de la Reglamento Nacional de Edificaciones.

4. Muestreo

Se empleó un muestreo no probabilístico por conveniencia, seleccionando puntos de exploración representativos por sector en función de la accesibilidad y seguridad. Las

muestras fueron elegidas para reflejar las condiciones geotécnicas predominantes en cada zona de estudio.

5. Materiales y equipos

- Para la ejecución de calicatas

Palanas y barretas

Guantes de seguridad

Cinta métrica y rotuladores para estratificación

- Para la recolección y embalaje de muestras

Sacos/bolsas plásticas

Rafia, cinta film y etiquetas de identificación

Herramientas de extracción manual de muestras

- Equipos de laboratorio (equipo de laboratorio privado de mecánica de suelos)

Equipos para medición de humedad, granulometría y límites de Atterberg

Tamices, balanza y accesorios de laboratorio

Equipos Proctor para análisis de compactación

Prensa para ensayo de corte directo

Equipos para análisis de propiedades químicas del suelo (sales solubles, sulfatos, cloruros).

6. Procedimiento

6.1. Exploración y recolección de muestras

Las calicatas y puntos de muestreo fueron ubicados estratégicamente dentro de cada sector de estudio (Los Portales, Montegrande y Miraflores), considerando la representatividad de las condiciones geotécnicas predominantes y la homogeneidad superficial del terreno. La selección de los puntos se realizó en zonas accesibles y seguras, evitando áreas con rellenos recientes, acumulación de desmonte o alteraciones antrópicas evidentes, con el fin de asegurar que las muestras obtenidas correspondan al estrato natural de interés para cimentaciones superficiales. En ese sentido se siguió las siguientes actividades:

1. Se delimitó el área de estudio en los sectores Los Portales, Montegrande y Miraflores.
2. Se seleccionaron y ubicaron 3 puntos de exploración por sector.

-
3. Se realizó una excavación de calicatas (1,0 m x 1,0 m) hasta una profundidad de 2,0 m para registrar la estratigrafía del suelo, observando capas, color, estructura y contenido de humedad.

6.2. Muestreo y transporte de muestras

4. Se extrajeron muestras representativas de cada estrato mediante herramientas manuales.
5. Las muestras fueron rotuladas y transportadas al laboratorio bajo condiciones que evitaron la alteración de sus propiedades físicas.

6.3. Ensayos de laboratorio

Las muestras fueron analizadas mediante ensayos índice (humedad, granulometría, finos, límites de Atterberg y clasificación) y ensayos mecánicos para estimar parámetros de resistencia al corte. En particular, la determinación de límites de consistencia y su empleo en clasificación del suelo constituye una base ampliamente utilizada para interpretar el comportamiento de suelos finos y transicionales en ingeniería geotécnica (O'Kelly & Soltani, 2025).

Ensayos estándar:

- Humedad natural – NTP 339.127
- Granulometría – NTP 339.128
- Material que pasa tamiz N° 200 – NTP 339.132
- Límites de Atterberg (LL, LP, IP) – NTP 339.129
- Clasificación del suelo (SUCS) – NTP 339.134

Ensayos especiales:

La resistencia al corte se evaluó mediante ensayo de corte directo, obteniéndose parámetros c y ϕ , empleados posteriormente para interpretar el comportamiento resistente del suelo y su implicancia en capacidad portante. El uso del corte directo como procedimiento de laboratorio para estimación de parámetros de resistencia es ampliamente reportado en investigaciones de mecánica de suelos, particularmente para mantener consistencia entre medición experimental y parámetros de diseño (Ly & Pham, 2020).

- Resistencia al corte (c y ϕ) – NTP 339.171

6.4. Procesamiento e interpretación de resultados

- Los resultados de laboratorio fueron procesados para obtener los parámetros de resistencia al corte (c , ϕ), clasificación del suelo, y demás propiedades geotécnicas, las cuales fueron integradas con la información de campo para generar perfiles geotécnicos por sector.
- Se determinaron los parámetros geotécnicos de diseño (capacidad portante, presión admisible, etc.) y se establecieron alternativas de cimentación basadas en las características del terreno.

6.5. Procesamiento estadístico

Se aplicó estadística descriptiva para organizar los resultados, como promedios, rangos y comparaciones sectoriales. Al ser un estudio de tipo cuantitativo, los datos obtenidos fueron tratados y analizados para establecer conclusiones técnicas sobre la capacidad portante y las soluciones de cimentación más adecuadas para cada sector.

RESULTADOS

Los resultados corresponden al estudio geotécnico realizado en los sectores Montegrande, Miraflores y Los Portales del distrito de Jaén, a partir de calicatas hasta 2,00 m de profundidad (C-01) y ensayos de laboratorio ejecutados conforme a normas NTP y la Norma Técnica E.050.

1. Propiedades índice y clasificación del suelo

Tabla 1

Resultados de clasificación de suelo por sector

LOCALIZACIÓN	MONTEGRANDE	MIRAFLORES	LOS PORTALES
Calicatas	C-01	C-01	C-01
Estrato	E-01	E-01	E-01
Prof. (m)	0.00–2.00	0.00–2.00	0.00–2.00
Hum. Natural %	5.96%	3.30%	19.66%
Límite Líquido	42	25	45
Límite Plástico	21	15	19
Índice de Plasticidad	21	11	26
Índice de Grupo	2	0	14
% de Gravas	39.70%	34.70%	6.30%
% de Arenas	31.80%	46.70%	22.40%
% de Finos	28.50%	18.60%	71.20%
Clasificación SUCS	GC	SC	CL

Fuente: resultados de laboratorio

La Tabla 1 muestra los resultados de humedad natural, límites de Atterberg, granulometría, índice de grupo y la clasificación SUCS del estrato E-01 (0,00–2,00 m). Se observa un comportamiento contrastante entre sectores: Montegrande y Miraflores presentan predominio de fracciones granulares, mientras que Los Portales evidencia una alta proporción de finos y mayor plasticidad. En Montegrande, la humedad natural fue 5,96 %, con LL=42, LP=21 e IP=21, y una distribución con 39,70 % gravas, 31,80 % arenas y 28,50 % finos, clasificándose como GC. En Miraflores, la humedad natural fue 3,30 %, con LL=25, LP=15 e IP=11, y fracciones 34,70 % gravas, 46,70 % arenas y 18,60 % finos, clasificándose como SC. En Los Portales, la humedad natural fue 19,66 %, con LL=45, LP=19 e IP=26, y predominio de finos (71,20 %), clasificándose como CL.

2. Parámetros de resistencia al corte y capacidad portante

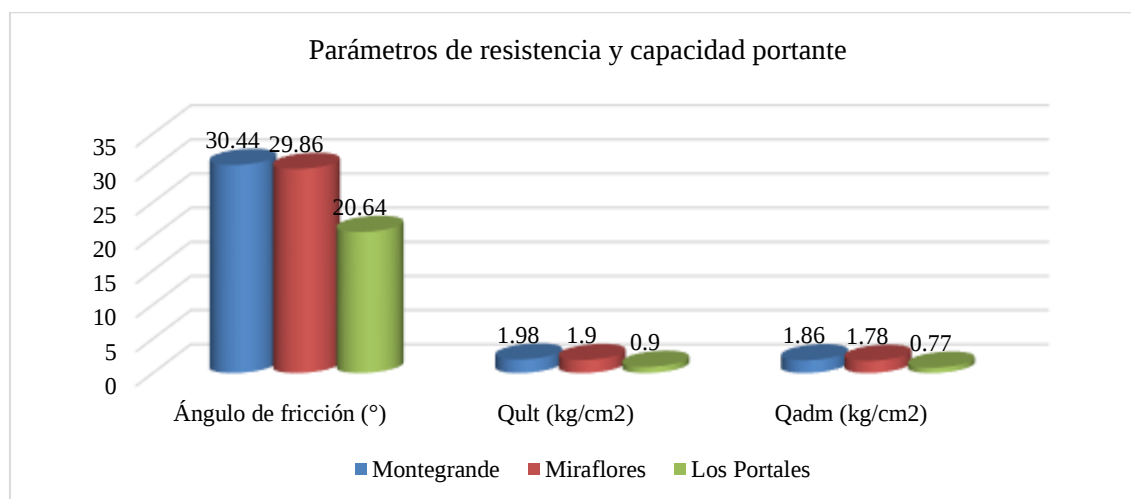
Tabla 2

Resultados de corte por calicata y sector

LOCALIZACIÓN	MONTEGRANDE	MIRAFLORES	LOS PROTALES
Calicata	C-01	C-01	C-01
Estrato	E-01	E-01	E-01
Prof. (m)	0.00–2.00	0.00– 2.00	0.00–2.00
Clasificación SUCS	GC	SC	CL
Áng. Fricción interna	30.44	29.86	20.64
Peso específico del suelo (γ) (kN/m ³)	17.45	17.71	20.67
Qult. (kg/cm ²)	1.98	1.9	0.9
Qadm. (kg/cm ²)	1.86	1.78	0.77

Fuente: resultados de laboratorio

La Tabla 2 muestra los parámetros obtenidos del ensayo de corte (ángulo de fricción interna y peso específico) y las capacidades de carga última (Qult) y admisible (Qadm) para el estrato E-01. En Montegrande (GC) se obtuvo $\phi = 30,44^\circ$, $\gamma = 17,45$ kN/m³, Qult = 1,98 kg/cm² y Qadm = 1,86 kg/cm². En Miraflores (SC) se registró $\phi = 29,86^\circ$, $\gamma = 17,71$ kN/m³, Qult = 1,90 kg/cm² y Qadm = 1,78 kg/cm². En Los Portales (CL) se obtuvo $\phi = 20,64^\circ$, $\gamma = 20,67$ kN/m³, Qult = 0,90 kg/cm² y Qadm = 0,77 kg/cm², lo que evidencia una capacidad portante menor respecto a los otros dos sectores.

Figura 1*Parámetros de resistencia y capacidad portante*

Fuente: resultados de laboratorio

La Figura 1 resume gráficamente los parámetros de resistencia y la capacidad portante por sector, mostrando la similitud entre Montegrande y Miraflores y la disminución marcada en Los Portales.

3. Capacidad de carga admisible y asentamiento inmediato

Tabla 3*Capacidad de carga admisible*

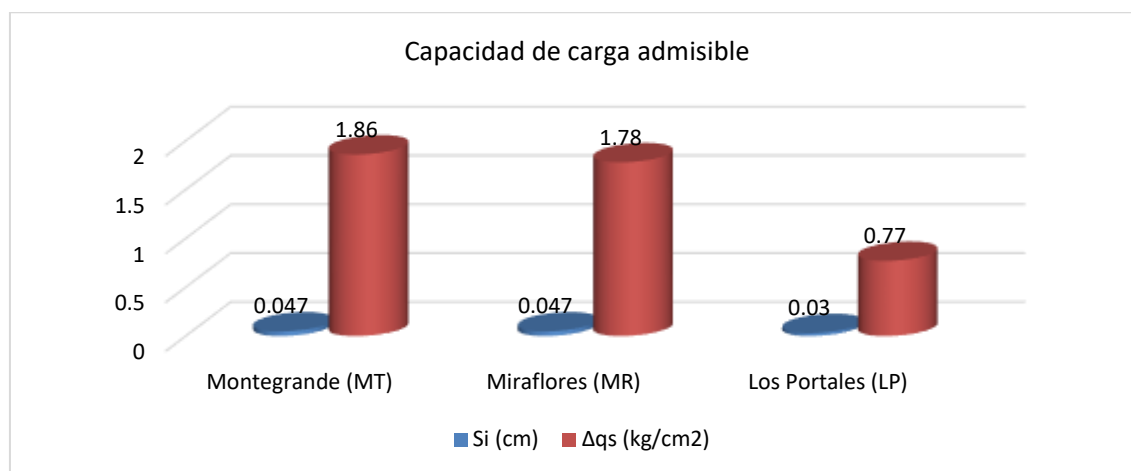
LUGAR	CALI CATA	P ROF. (m)	Δ qs (kg/cm ²)	Δ (m)	E s (kg/cm ²)	I f	U	S i (cm)
MONTEG RANDE	C-01	2	.86	1	500	12	.15	.047
MIRAFL ORES	C-01	2	.78	1	500	12	.15	.047
LOS PORTALES	C-01	2	.77	0	700	12	.4	.030

Fuente: resultados de laboratorio

La Tabla 3 reporta los parámetros empleados para la estimación del asentamiento inmediato y la presión de contacto: incremento de presión Δq_s , ancho de cimentación B, módulo E_s , factores I_f y U , y el asentamiento S_i . Para $B = 1,00$ m y $D_f = 2,00$ m, se obtuvieron asentamientos inmediatos de 0,047 cm en Montegrande, 0,047 cm en Miraflores y 0,030 cm en Los Portales.

Figura 2

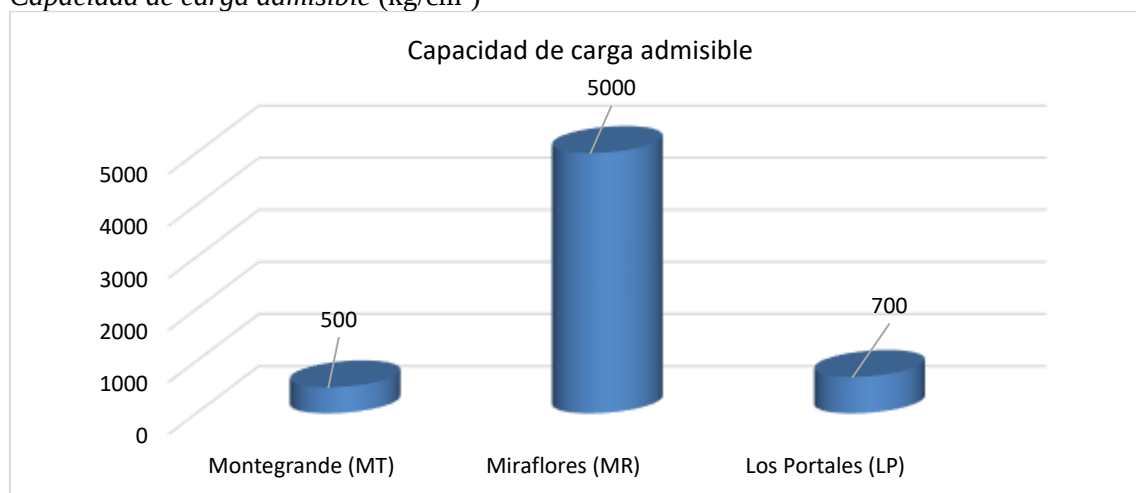
Presión de contacto y módulo de elasticidad del suelo .



Fuente: resultados de laboratorio

Figura 3

Capacidad de carga admisible (kg/cm²)



Fuente: resultados de laboratorio

La Figura 2 presenta la relación entre la presión de contacto y el módulo de elasticidad del suelo considerado en el análisis, La Figura 3 muestra la comparación de la capacidad de carga admisible (kg/cm²) por sector, destacando mayores valores en Montegrande y Miraflores frente a Los Portales.

Tabla 4*Condiciones de cimentación para C-01-Montegrande (kg/cm²)*

Ítem	Valor
Proyecto	Estudio de suelos con fines académicos
Ubicación	Jaén – Jaén – Cajamarca
Tipo de cimentación superficial	Zapatas conectadas con vigas de cimentación y/o zapatas continuas, solado o platea armada
Estrato de apoyo de la cimentación	GC: Grava arcillosa
Profundidad de la napa freática	No presenta
Fecha	Septiembre 2025
Profundidad de cimentación (Df)	Df = 2.00 m (mínima desde la superficie)
Presión admisible del terreno	1.86 kg/cm ²
Factor de seguridad	3
Asentamiento inmediato	0.047 cm < 2.54 cm (1" asentamiento permisible)
Zona sísmica (Norma E.030)	2
Z	0.25
Categoría de edificación	C
U	1.00
Tipo de perfil del suelo	S2
Factor del suelo	1.20
Periodo TP z (s)	0.60
Periodo TL (s)	2.00
Agresividad del suelo a la cimentación	Insignificante (cemento Portland Tipo I)
Licucción	No licuable
Colapso	No colapsable
Expansión	Expansión menor a la capacidad de soporte
Recomendaciones adicionales	No debe cimentarse sobre turba, suelo orgánico, tierra vegetal, desmonte o relleno sanitario; estos materiales deben ser removidos en su totalidad

Tabla 5*Condiciones de cimentación para C-01- Miraflores (kg/cm²)*

Ítem	Valor
Proyecto	Estudio de suelos con fines académicos
Ubicación	Jaén – Jaén – Cajamarca

Tipo de cimentación superficial	Zapatas conectadas con vigas de cimentación y/o zapatas continuas, solado o platea armada
Estrato de apoyo de la cimentación	SC: Arena arcillosa V
Profundidad de la napa freática	No presenta
Fecha	Septiembre 2025
Profundidad de cimentación (Df)	Df = 2.00 m (mínima desde la superficie)
Presión admisible del terreno	1.78 kg/cm ²
Factor de seguridad	3
Asentamiento inmediato	0.047 cm < 2.54 cm (1" asentamiento permisible)
Zona sísmica (Norma E.030)	2
Z	0.25
Categoría de edificación	C
U	1.00
Tipo de perfil del suelo	S2
Factor del suelo	1.20
Periodo TP z (s)	0.60
Periodo TL (s)	2.00
Agresividad del suelo a la cimentación	Insignificante (cemento Portland Tipo I)
Licucción	No licuable
Colapso	No colapsable
Expansión	Expansión menor a la capacidad de soporte
Recomendaciones adicionales	No debe cimentarse sobre turba, suelo orgánico, tierra vegetal, desmonte o relleno sanitario; estos materiales deben ser removidos en su totalidad

Tabla 6*Condiciones de cimentación para C-01- Los Portales (kg/cm²)*

Ítem	Valor
Proyecto	Estudio de suelos con fines académicos
Ubicación	Jaén – Jaén – Cajamarca
Tipo de cimentación superficial	Zapatas conectadas con vigas de cimentación y/o zapatas continuas, solado o platea armada
Estrato de apoyo de la cimentación	CL: Arcilla de baja plasticidad

Profundidad de la napa freática	No presenta
Fecha	Septiembre 2025
Profundidad de cimentación (Df)	Df = 2.00 m (mínima desde la superficie)
Presión admisible del terreno	0.77 kg/cm ²
Factor de seguridad	3
Asentamiento inmediato	0.030 cm < 2.54 cm (1" asentamiento permisible)
Zona sísmica (Norma E.030)	2
Z	0.25
Categoría de edificación	C
U	1.00
Tipo de perfil del suelo	S2
Factor del suelo	1.20
Periodo TP z (s)	0.60
Periodo TL (s)	2.00
Agresividad del suelo a la cimentación	Insignificante (cemento Portland Tipo I)
Licuación	No licuable
Colapso	No colapsable
Expansión	Expansión menor a la capacidad de soporte
Recomendaciones adicionales	No debe cimentarse sobre turba, suelo orgánico, tierra vegetal, desmonte o relleno sanitario; estos materiales deben ser removidos en su totalidad

Las tablas 4, 5 y 6 presentan los resultados de laboratorio de las condiciones de cimentación para la calicata C-01 en Montegrande, Miraflores y Los Portales, respectivamente, como soporte gráfico para la evaluación comparativa de las tensiones admisibles por sector.

4. Parámetros de diseño por sector

Tabla 7

Tipo de suelo y parámetros de diseño

Sector	SUCS	Tipo de suelo	Df (m)	Qadm (kg/cm ²)	Si (cm)
Monte grande	GC	Grava arcillosa	2	1.86	0.047
Miraflores	SC	Arena arcillosa	2	1.78	0.047
Los Portales	CL	Arcilla de baja plasticidad	2	0.77	0.03

Fuente: resultados de laboratorio

La Tabla 7 muestra el tipo de suelo y los parámetros de diseño adoptados para cimentaciones superficiales a $D_f = 2,00$ m, incluyendo Q_{adm} y el asentamiento S_i . Se obtuvo $Q_{adm} = 1,86$ kg/cm² para Monte grande (GC), $1,78$ kg/cm² para Miraflores (SC) y $0,77$ kg/cm² para Los Portales (CL).

5. Resultados de análisis químico del suelo

Tabla 8

Resultados de valores químicos

LUGAR	CALIC ATA	ESTR ATO	SALES SOLUBLES (ppm)	SULFA TOS (ppm)	CLORU ROS (ppm)
Monte grande	C-1	E-1	3000	245.4	345.25
Miraflores	C-1	E-1	0	221.7	302.41
Los Portales	C-1	E-1	0	194.8	284.31

Nota. La Tabla 8 presenta los valores de sales solubles, sulfatos y cloruros obtenidos para las muestras del estrato E-01. Se reportó presencia de sales solubles únicamente en Monte grande (3000 ppm), mientras que Miraflores y Los Portales registraron 0 ppm. Los sulfatos fueron 245,4 ppm (Monte grande), 221,7 ppm (Miraflores) y 194,8 ppm (Los Portales); y los cloruros fueron 345,25 ppm, 302,41 ppm y 284,31 ppm, respectivamente.

DISCUSIÓN

El estudio confirma una variabilidad geotécnica sectorizada dentro del distrito de Jaén, con suelos de comportamiento contrastante entre zonas cercanas. Esta heterogeneidad es un factor determinante en geotecnia urbana, porque incrementa la incertidumbre del diseño cuando la exploración es limitada y obliga a sustentar decisiones con parámetros medidos por sector, no con criterios generalizados. Esta condición coincide con lo señalado por Phoon et al., (2022) respecto a que la variabilidad del subsuelo y la incertidumbre asociada condicionan la selección de modelos y parámetros de diseño, afectando directamente la confiabilidad de las decisiones geotécnicas.

La relación observada entre tipo de suelo y desempeño resistente es coherente con la teoría geotécnica, los sectores con predominio granular muestran un comportamiento más competente para cimentaciones superficiales, mientras que el sector dominado por finos cohesivos presenta condiciones más restrictivas. En términos de interpretación, esta diferencia no solo refleja cambios de fracción fina y plasticidad, sino también mayor sensibilidad del suelo cohesivo a variaciones de humedad y a cambios en el estado tensional, lo que puede traducirse en mayor dispersión del comportamiento mecánico. Es respaldado por Dehghanbanadaki & Motamedi, (2024) donde se verifica que la estimación de capacidad portante en cimentaciones superficiales depende de forma crítica de parámetros de resistencia y del estado del suelo, y que comparar enfoques analíticos, numéricos y basados en datos mejora la robustez de la estimación, especialmente en suelos granulares. En suelos finos, se ha reportado que vincular resistencia y deformabilidad mediante modelación integrada contribuye a decisiones más consistentes para cimentaciones superficiales (Lopez & Quevedo, 2022).

Respecto al asentamiento inmediato calculado resulta reducido en los sectores evaluados, por lo que el control del diseño se concentra principalmente en el criterio de capacidad portante. Sin embargo, en suelos finos cohesivos el desempeño en servicio no siempre queda representado por el asentamiento elástico inmediato, debido a la posible contribución de deformaciones dependientes del tiempo. En ese sentido, Zhang et al. (2025). destaca que la predicción de asentamientos es un componente de control del diseño y que incorporar información de ensayos in situ puede mejorar la confiabilidad de la estimación en escenarios con incertidumbre geotécnica. Esta recomendación cobra importancia cuando se evalúan sectores con mayor proporción de finos.

Desde la perspectiva de diseño, los resultados sustentan la conveniencia de cimentaciones superficiales convencionales en los sectores con suelos granulares, bajo control adecuado de compactación, humedad y drenaje. En contraste, el sector con suelo fino cohesivo requiere un enfoque más conservador en la selección de cimentación, priorizando tensiones de contacto menores, mayor área de apoyo y, cuando la demanda estructural lo exija, medidas de mejoramiento del terreno. Phoon et al. (2022). Enfatiza que decisiones de cimentación deben incorporar explícitamente la variabilidad del subsuelo para reducir riesgos de soluciones no óptimas y correcciones posteriores. Adicionalmente, en suelos con condiciones variables de humedad, se ha evidenciado que el estado hidromecánico puede modificar la resistencia efectiva y afectar la

capacidad portante, reforzando la necesidad de control de agua y drenaje en suelos con fracción fina (Yilmazoglu & Ozocak, 2023).

La condición química observada sugiere agresividad baja a moderada para los materiales de cimentación en los sectores evaluados, por lo que la durabilidad depende principalmente del cumplimiento de buenas prácticas constructivas y de control de calidad del concreto (relación a/c, recubrimiento, compactación y curado), más que de requerimientos de protección química extraordinarios. Esta interpretación es coherente con criterios usuales de durabilidad cuando las concentraciones de agentes agresivos no alcanzan umbrales críticos.

CONCLUSIONES

La clasificación SUCS del estrato 0,00–2,00 m diferenció el comportamiento del subsuelo por sector (Montegrande: GC, Grava arcillosa; Miraflores: SC, suelo granular; Los Portales: suelo fino cohesivo CL), estableciendo condiciones geotécnicas distintas que controlan el criterio de diseño de cimentaciones en cada zona.

La resistencia al corte obtenido (ϕ mayor en suelos granulares y menor en suelo cohesivo) se reflejó en capacidades portantes admisibles contrastantes, por lo que el diseño de cimentaciones superficiales queda condicionado por Q_{adm} : valores altos en Montegrande y Miraflores y un valor significativamente menor en Los Portales.

Con base en los valores de Q_{adm} , el diseño para Montegrande (1,86 kg/cm²) y Miraflores (1,78 kg/cm²) es compatible con cimentaciones superficiales convencionales (zapatas aisladas/corridas y losas), mientras que en Los Portales (0,77 kg/cm²) el diseño requiere mayor área de apoyo o soluciones de mayor rigidez (por ejemplo, platea) para mantener tensiones de contacto acordes con la capacidad portante del terreno.

Los asentamientos inmediatos calculados fueron menores a 0,5 cm en los tres sectores para la geometría analizada, por lo que, en el marco del modelo aplicado, la selección y dimensionamiento de la cimentación se encuentra controlada principalmente por la capacidad portante admisible y no por el asentamiento elástico inmediato.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bhardwaj, A., & Sharma, R. K. (2022). Bearing Capacity Evaluation of Shallow Foundations on Stabilized Layered Soil using ABAQUS. *Studia Geotechnica et Mechanica*, 45(1), 55-71. <https://doi.org/10.2478/sgem-2022-0026>

- Castro Casas, A. A., & Chanamé Gómez, J. P. (2021). *Estudio de zonificación de suelos para diseño de cimentaciones superficiales en el sector Lagunas I y II, distrito de Santa Rosa, provincia de Chiclayo, departamento de Lambayeque*. <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/10099>
- Dehghanbanadaki, A., & Motamedi, S. (2024). Bearing capacity prediction of shallow foundation on sandy soils: A comparative study of analytical, FEM, and machine learning approaches. *Multiscale and Multidisciplinary Modeling, Experiments and Design*, 7(2), 1293-1310. <https://doi.org/10.1007/s41939-023-00280-8>
- Falae, P. O., & Ogundana, A. (2022). Geotechnical Investigation of Subsoil Materials in a Typical Basement Terrain, Southwestern Nigeria- A Case study. *ABUAD International Journal of Natural and Applied Sciences*, 2(2), 116-122. <https://doi.org/10.53982/aijnas.2022.0202.09-j>
- Lopez, M., & Quevedo, R. (2022). MODELING OF SETTLEMENT AND BEARING CAPACITY OF SHALLOW FOUNDATIONS IN OVERCONSOLIDATED CLAYS. *Journal of GeoEngineering*, 17(1), 1-10. [https://doi.org/10.6310/jog.202203_17\(1\).1](https://doi.org/10.6310/jog.202203_17(1).1)
- Ly, H.-B., & Pham, B. T. (2020). *Predicción de la resistencia al corte del suelo mediante un ensayo de corte directo y un modelo de máquina de vectores de soporte*. <https://doi.org/10.2174/1874836802014010268>
- MVCS. (2018). *Norma Técnica E.050*. Norma Técnica E.050 "Suelos y Cimentaciones". <https://www.gob.pe/institucion/vivienda/normas-legales/222983-406-2018-vivienda>
- O'Kelly, B. C., & Soltani, A. (2025). Discussion: Atterberg limits determination and soil classification using fall cone device on the silty sands and sandy silts [International Journal of Geotechnical Engineering 19(1–3): 78–87]. *International Journal of Geotechnical Engineering*, 19(6), 472-478. <https://doi.org/10.1080/19386362.2025.2502774>
- Phoon, K.-K., Cao, Z.-J., Ji, J., Leung, Y. F., Najjar, S., Shuku, T., Tang, C., Yin, Z.-Y., Ikumasa, Y., & Ching, J. (2022). Geotechnical uncertainty, modeling, and decision making. *Soils and Foundations*, 62(5), 101189. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2022.101189>
- Sacravilca Ladera, M. (2024). Análisis Geotécnico para determinar la Capacidad Soporte de Subrasante en el Diseño de Pavimentos Rígidos en el AA.HH. Keiko Fujimori—Distrito de Ventanilla. *Universidad Nacional Federico Villarreal*. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/renati/4084168>

- Vásquez Eneque, L. K. (2023). Análisis Comparativo entre la Capacidad Portante Determinada con el Ensayo de Corte Directo y El ensayo de Penetración Estándar, del Suelo para el Proyecto Sistema de Saneamiento Rural en el Distrito de Jesús-Cajamarca. *Universidad Nacional de Cajamarca*. <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/5440>
- Yilmazoglu, M. U., Ozocak, A., Yilmazoglu, M. U., & Ozocak, A. (2023). Bearing Capacity of Shallow Foundations on Unsaturated Silty Soils. *Applied Sciences*, 13(3). <https://doi.org/10.3390/app13031308>
- Zhang, R., Zhang, W., Zhang, R., & Zhang, W. (2025). A Shallow Foundation Settlement Prediction Method Considering Uncertainty Based on Machine Learning and CPT Data. *Applied Sciences*, 15(22). <https://doi.org/10.3390/app152212174>

ARTÍCULO ORIGINAL

Determinación del ciclo teórico Otto mediante fichas técnicas de motores monocilíndricos

Determination of the theoretical Otto cycle using technical data sheets of single-cylinder engines

Pariacurí, B.¹ , Olivera, M.²  y Lozada, E.³ 

RESUMEN

Los motores de combustión interna cumplen un papel muy importante en nuestra sociedad, ya que son fundamentales en el transporte y la industria, muchas de estas máquinas son monocilíndricos y de baja cilindrada. En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo principal determinar el ciclo teórico Otto mediante fichas técnicas proporcionadas por el fabricante. La metodología combina parte cualitativa y cuantitativa, la primera evalúa de manera gráfica los ciclos teóricos y su comportamiento de cada uno, la segunda, analiza la eficiencia, presiones, volumen, temperatura y energía transferidas para cada ciclo Otto estimado. Los resultados demuestran que los cuatro motores tienen eficiencias térmicas similares (entre 58.5% y 60.2%), sin embargo, el motor XTZ 125 destaca con una eficiencia (60.2%), concluyendo que la relación de compresión, es esencial para determinar su eficiencia, y que, a mayor cilindrada, no necesariamente va a ser más eficiente el motor. Esto es corroborado con el valor del calor rechazado que en el motor XTZ 125 es 323.701 kJ/kg, siendo el mínimo en relación a los cuatro motores estudiados, teniendo éxito en convertir gran parte del calor cedido en trabajo.

Palabras clave: Ciclo Otto; motores; monocilíndricos; MCI; termodinámica.

ABSTRACT

Internal combustion engines play a very important role in our society, since they are essential in transportation and industry, many of these machines are single-cylinder and low-displacement. In this context, the main objective of this study is to determine the theoretical Otto cycle using technical sheets provided by the manufacturer. The methodology combines qualitative and quantitative parts, the first graphically evaluates the theoretical cycles and their behavior of each one, the second analyzes the efficiency, pressures, volume, temperature and energy transferred for each estimated Otto cycle. The results show that the four engines have similar thermal efficiencies (between 58.5% and 60.2%), however, the XTZ 125 engine stands out with an efficiency (60.2%), concluding that the compression ratio is essential to determine its efficiency, and that, a larger displacement, not necessarily the engine will be more efficient. This is corroborated by the value of the rejected heat which in the XTZ 125 engine is 323,701 kJ/kg, being the minimum in relation to the four engines studied, succeeding in converting a large part of the heat released into work.

Keywords: Otto cycle; engines; single-cylinder; MCI; thermodynamics.

* Autor para correspondencia

¹ Universidad Nacional de Jaén, Perú. Email: bekერიacurí@gmail.com, olivera_aldana@unj.edu.pe

² Universidad Nacional de San Martín, Perú. Email: elozada@unsm.edu.pe

INTRODUCCIÓN

El ciclo termodinámico teórico es un esquema didáctico, donde se formula una serie de teorías básicas, que se correlacionan con el ciclo operativo teórico, para obtener mediante cálculos sencillos, parámetros de importancia básica (Erazo & Viteri, 2018). Para los ciclos ideales se asume que los procesos de compresión y potencia son adiabáticos y reversibles, y que cualquier transferencia de calor convectiva, conductiva o radiativa a la pared del cilindro durante el proceso de disipación de calor puede ignorarse; además, la pérdida de calor a través de la pared del cilindro ocurre únicamente durante la combustión y que es proporcional a la temperatura promedio tanto del fluido de trabajo como de la pared del cilindro (Hou, 2007).

El ciclo Otto de aire estándar es el ciclo idealizado para motores de combustión interna de encendido por chispa. Este ciclo se muestra en los diagramas P-V y T-s. El motor de encendido por chispa se modela con el ciclo Otto (Zohuri, 2018). Otro estudio acota que el ciclo Otto es un equilibrio entre eficiencia teórica y viabilidad práctica, predominando en motores de gasolina pese a sus limitaciones termodinámicas; además, concluye que el ciclo Otto (modelo ideal de los MECH) supera al ciclo de Carnot tanto en eficiencia como en trabajo útil por ciclo bajo (Kroetz, 2024).

Otro análisis adicional muestra los efectos de la transferencia de vibración de la pared del cilindro en el ciclo Otto. Además; deriva la relación entre el trabajo neto (o potencia) y la eficiencia. Otro punto importante, es que deriva el trabajo máximo y la eficiencia correspondiente, y sus análisis detallados de los efectos se muestran mediante cálculos numéricos. Sus resultados proporcionan una guía importante para la evaluación y mejora del rendimiento de los motores Otto (Chen et al., 1998).

También; otro autor resalta comparaciones de las relaciones de compresión, las eficiencias y el trabajo de los ciclos Otto y Diésel ideales en condiciones que producen el máximo trabajo por ciclo. Las relaciones de compresión que maximizan el trabajo del ciclo Diésel resultan siempre superiores a las del ciclo Otto en las mismas condiciones de operación, aunque las eficiencias térmicas son prácticamente idénticas. Las relaciones de compresión que maximizan el trabajo de los ciclos Otto y Diésel se comparan favorablemente con las relaciones de compresión empleadas en los motores de producción correspondientes (Klein, 1991).

En definitiva, el modelo ideal (ciclo Otto) es una herramienta muy importante para entender los principios termodinámicos debido a que revelan lo esencial, son el primer paso en un proceso secuencial que va desde la teoría hasta un motor real y pasa por modelos semi-ideales,

simulaciones avanzadas y prototipos. Por ello, nuestra investigación se centra en aplicar la termodinámica teórica a motores de encendido por chispa (MECH), utilizando fichas técnicas de vehículos comerciales disponibles en el mercado. Por tanto, la hipótesis central de esta investigación infiere si es posible solo utilizar únicamente datos de fichas técnicas para estimar con precisión aceptable el comportamiento termodinámico ideal de un MECH, sin necesidad de recurrir a datos experimentales específicos del motor. Además; nuestro objetivo principal es graficar el ciclo teórico Otto y determinar los parámetros más relevantes de este tipo de motores monocilíndricos a partir de sus DataSheet.

MATERIALES Y MÉTODOS

Esta sección se enfocó en describir teóricamente lo que implica un ciclo Otto ideal, que parámetros son necesarios para poder simularlo de manera teórica. A continuación, se presenta un diagrama que explica y desglosa el desarrollo de esta investigación.

Figura 1

Diagrama de flujo



Nota. El diagrama muestra la secuencia metodológica empleada para la obtención y análisis de resultados termodinámicos, desde la recopilación de datos hasta la formulación de conclusiones. *Elaboración propia.*

Análisis aire-estándar

Según Moran y Shapiro (2018) muestra puntos importantes para el análisis del ciclo teórico Otto:

- El fluido de trabajo es una cantidad fija de aire considerado gas ideal.
- Los procesos de combustión son reemplazados por la absorción de calor de una fuente externa.
- No existen procesos de admisión y escape como en un motor real. El ciclo se completa con un proceso de cesión de calor a volumen constante mientras el pistón está en el punto muerto inferior.
- Todos los procesos son internamente reversibles.

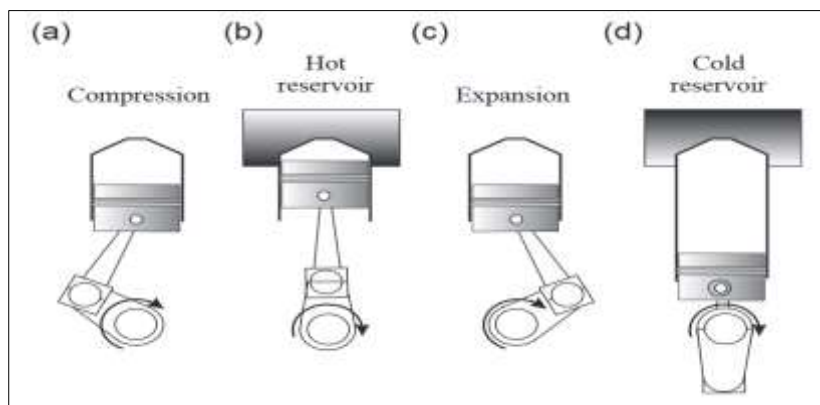
- El calor específico se considera constante y con un valor igual a su valor a temperatura ambiente.

Ciclo Termodinámico Otto

Moran et al., (2015) describen el ciclo Otto mediante cuatro procesos característicos:

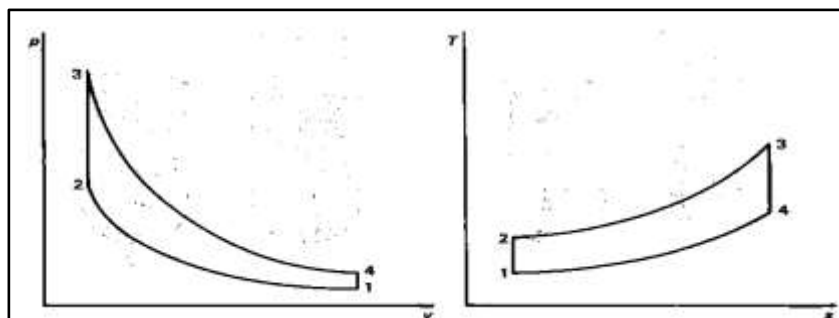
- *Proceso 1-2* es una compresión isoentrópica del aire, cuando el pistón se desplaza desde el punto muerto inferior (PMI) hasta el punto muerto superior (PMS).
- *Proceso 2-3* el aire absorbe calor a volumen constante, desde una fuente externa, mientras el pistón está en el punto muerto superior (PMS). Este proceso representa la ignición de la mezcla aire-combustible y la combustión rápida.
- *Proceso 3-4* es una expansión isoentrópica (carrera de trabajo).
- *Proceso 4-1* a volumen constante, en el cual el aire cede calor mientras el pistón está en el punto muerto inferior.

Figura 2
Ciclo Otto Aire-Estándar.



Nota: Tomado de *Advanced Thermodynamics for Engineers* (p. 46) por Winterbone y Turan (2015), Ed. Elsevier Inc.

Figura 3
Diagrama de un ciclo Otto de presión-volumen y temperatura-entropía



Nota: Tomado de *Termodinámica* (p. 334), por Manrique, J. (2001), Ed. Alfaomega.

Ecuaciones de Aire-Estándar

[1-2] Proceso Isoentrópico

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} \quad (1)$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{k-1} = r^{k-1} \quad (2)$$

$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^k \quad (3)$$

[2-3] Proceso Isócoro o Isovolumétrico

$$\frac{p_2}{T_2} = \frac{p_3}{T_3} \quad (4)$$

[3-4] Proceso Isoentrópico

$$\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{p_4}{p_3}\right)^{\frac{k-1}{k}} \quad (5)$$

$$\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^{k-1} = \frac{1}{r^{k-1}} \quad (6)$$

$$\frac{p_4}{p_3} = \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^k = \frac{1}{r^k} \quad (7)$$

[4-1] Proceso Isócoro o Isovolumétrico

$$\frac{p_4}{T_4} = \frac{p_1}{T_1} \quad (8)$$

Donde:

"k" es la relación de calores específicos, $k = \frac{c_p}{c_v}$

" c_p " es el calor específico a presión constante, $1.0031 \frac{kJ}{kg.K}$

" c_v " es el calor específico a volumen constante, $0.7165 \frac{kJ}{kg.K}$

"r" es la relación de compresión y $V_3 = V_2$ y $V_4 = V_1$, $r = \frac{V_1}{V_2} = \frac{V_4}{V_3}$

Determinación de T_3

En un ciclo Otto ideal, no hay pérdidas irreversibles. Sin embargo, en un ciclo Otto real, la irreversibilidad de la transferencia de calor entre el fluido de trabajo y la pared del cilindro es considerable. Suponemos que la pérdida de calor a través de la pared del cilindro es proporcional a la temperatura promedio tanto del fluido de trabajo como de la pared del cilindro, y que la

temperatura de la pared es constante. El calor añadido al fluido de trabajo por combustión por unidad de masa de fluido de trabajo se expresa en la siguiente expresión lineal (Chen et al., 1998; Hou, 2007; Klein, 1991). Donde “ α ” y “ β ” son dos constantes relacionadas con la transferencia de calor y la combustión.

$$T_3 = \frac{[\alpha + (c_v - \beta)T_2]}{(c_v + \beta)} \quad (9)$$

La relación entre el trabajo neto (o potencia) y la eficiencia es una función de “ α ”, “ β ” y “ T_1 ”. Los rangos típicos de los tres parámetros son “ α ” = 2500-4500 kJ/kg, “ β ” = 0.3-1.8 kJ/(kg.K) y T_1 = 300-370 K. El rango de temperatura correspondiente a T_3 es de 1500-3000 K.

Expresiones para energías transferidas

Con el objeto de realizar un análisis termodinámico sencillo, el ciclo Otto estándar de aire implica varias simplificaciones y suposiciones; el medio de trabajo no cambia de composición química y permanece dentro del sistema, la adición de calor a volumen constante se realiza de forma equivalente a la combustión de la mezcla aire-combustible, los procesos de compresión y expansión son isoentrópicos y los calores específicos ideales son constantes (Manrique, 2001).

El ciclo Otto de *Aire-Estándar* consta de dos procesos en los que hay trabajo pero no transferencia de calor (**Procesos 1-2 y 3-4**) y dos procesos en los que hay calor transferido pero no trabajo (**Procesos 2-3 y 4-1**) (Manrique, 2001; Moran et al., 2015; Moran & Shapiro, 2018).

Las siguientes ecuaciones muestran el trabajo y la transferencia de calor:

$$\frac{W_{12}}{m} = u_2 - u_1 \quad (10)$$

$$\frac{W_{34}}{m} = u_3 - u_4 \quad (11)$$

$$\frac{Q_{23}}{m} = u_3 - u_2 = c_v(T_3 - T_2) \quad (12)$$

$$\frac{Q_{41}}{m} = u_4 - u_1 = c_v(T_4 - T_1); < 0 \quad (13)$$

Donde:

“ u ” Energía interna (kJ/kg) → Este dato se extrae de la “Tabla A-22” (Moran & Shapiro, 2018).

“ c_v ” es el calor específico a volumen constante, $0.7165 \frac{kJ}{kg.K}$

“ T ” temperatura, K.

Eficiencia del ciclo Otto

Para el ciclo Otto el rendimiento térmico crece cuando la relación de compresión aumenta; además, el aumento del rendimiento térmico cuando crece la relación de compresión se manifiesta en las expresiones desarrolladas para un sistema de aire-estándar (Moran et al., 2015).

$$\eta = 1 - \frac{T_1}{T_2} \quad (14)$$

$$\eta = 1 - \frac{1}{r^{(k-1)}} \quad (15)$$

Selección y datos extraídos fichas técnicas de motores Monocilíndricos

Para la selección de los motores se ha tomado en cuenta la popularidad de estos vehículos en la zona nororiente del Perú, específicamente en la provincia de Jaén, donde predominan vehículos hindúes y japoneses, debido a que son motores robustos y fuertes, ideales para soportar las características geográficas agrestes donde se desempeñan estos vehículos.

También, se recopila la información técnica de motores monocilíndricos, incluyendo parámetros como tipo de motor, cilindrada, peso, relación de compresión. Los datos provienen de fichas técnicas oficiales de fabricantes, garantizando precisión y confiabilidad para su uso en comparativas, estudios de eficiencia o aplicaciones en ingeniería.

Tabla 1
Motor Apache RTR 180

Datos de Ficha Técnica Apache - RTR - 180 - Race Edition		
Tipo	4	Tiempos
Cilindrada (V _D)	177.4	cm ³
Peso	139.0	Kg
Relación de compresión "r"	9.5	

Fuente: Extraído de la Ficha Técnica Apache RTR 180, Bajaj (2023).

Tabla 2
Motor CG 150 Titán – Honda.

Datos de Ficha Técnica CG 150 Titán – Honda		
Tipo	4	Tiempos
Cilindrada (V _D)	149.2	cm ³
Peso seco del motor	27.7	Kg
Relación de compresión "r"	9.5	

Fuente: Extraído del Manual de Taller CG 150 Titán, Honda (2004).

Tabla 3
Motor CGL 125 - Honda.

Datos de Ficha Técnica CGL 125 – Honda		
Tipo	4	Tiempos
Cilindrada (V_D)	124.1	cm ³
Peso seco del motor	29.8	Kg
Relación de compresión "r"	9.0	

Fuente: Extraído del Manual de Taller CGL 125, Honda (2001).

Tabla 4
Motor XTZ Yamaha 125

Datos de Ficha Técnica XTZ - Yamaha 125		
Tipo	4	Tiempos
Cilindrada (V_D)	124.0	cm ³
Peso	118.0	Kg
Relación de compresión "r"	10.0	

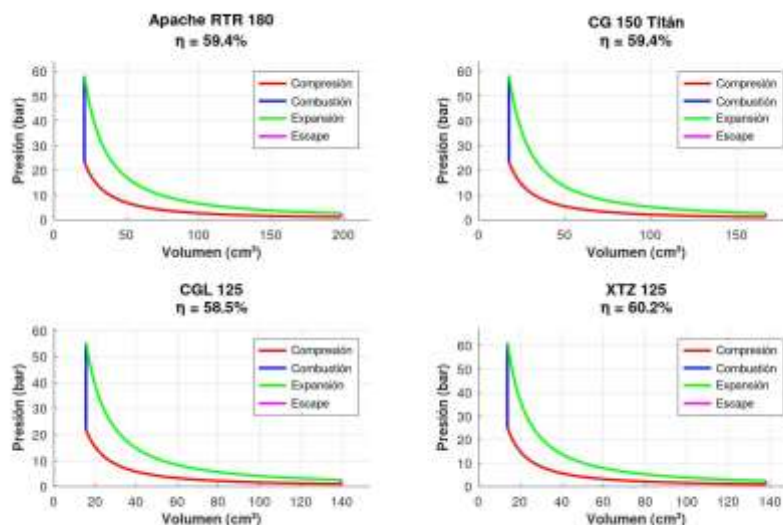
Fuente: Extraído de la Ficha Técnica XTZ 125, Yamaha (2025).

RESULTADOS

Análisis gráfico

Los resultados muestran que los cuatro motores tienen eficiencias térmicas similares (entre 58.5% y 60.2%), lo que significa que convierten aproximadamente el 60% de la energía del combustible en movimiento útil, mientras que el 40% restante se pierde como calor. El motor más eficiente es el XTZ-125 (60.2%) gracias a su mayor relación de compresión (10), que comprime más la mezcla de aire y combustible, generando mayor presión y aprovechando mejor la energía. En cambio, el CGL 125 (58.5%) tiene la menor eficiencia al comprimir menos la mezcla (relación 9), lo que reduce su rendimiento.

Las curvas de los diagramas P-V reflejan este comportamiento: a mayor compresión, más altas son las líneas de presión (como la XTZ 125), lo que indica un mejor aprovechamiento de la energía. Aunque las diferencias son mínimas (1-2%), esto da como resultado un menor consumo de combustible y más potencia. En resumen, la eficiencia depende de qué tan bien el motor comprime la mezcla antes de quemarla, y estos resultados ayudan a entender por qué algunos motores son más eficientes que otros.

Figura 4*Análisis Gráfico de motores Monocilíndricos.*

Nota: Este gráfico evidencia de manera didáctica los diagramas P-V; además, fue realizado con *GNU Octave*, versión 9.3.0.

Análisis Numérico

Para el presente análisis, se emplean las principales constantes termodinámicas que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 5*Constantes asumidas para el análisis termodinámico.*

Constantes	Valores	Intervalos	Unidades
k	1.4	-	-
α	3500	[2500-4500]	kJ/kg
c_v	0.7165	-	kJ/(kg.K)
β	1.05	[0.3-1.8]	kJ/(kg.K)
P_1	1.00	-	Bar
T_1	300	-	K

Nota: Esta tabla muestra “ α ” y “ β ” son promedios de los intervalos según Chen et al. (1998)

Procedimiento de cálculo

Se va a tomar en cuenta las características técnicas del motor Apache 180 y seguidamente se muestran Tablas 6 y 7 hechas en el programa *Microsoft Office Excel Profesional Plus 2016*, donde utilizando las fórmulas matemáticas presentadas en el apartado anterior, se realiza el cálculo correspondiente.

Teniendo en cuenta lo siguiente:

$$r = \frac{V_{max}}{V_{min}} = \frac{V_D + V_c}{V_c} \quad (16)$$

Sí.

$$V_1 = V_{max}$$

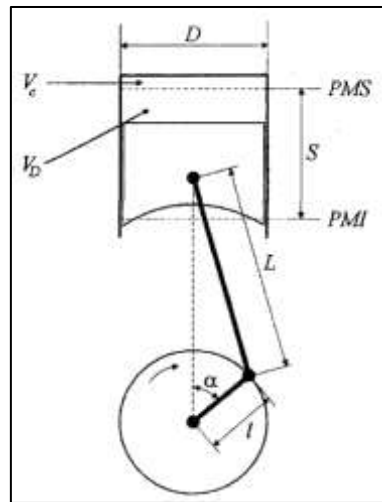
$$V_2 = V_{min} = V_c$$

$$V_D = \text{Cilindrada}$$

Cálculo del volumen inicial “V₁”, teniendo en cuenta el siguiente gráfico.

Figura 5

Esquema de un motor alternativo.



Nota: Tomado de Motores de combustión interna alternativos (p. 47) por Payri y Desantes (2011), Ed. Reverte.

$$V_{max} = V_D + V_c \quad (17)$$

$$V_1 = V_D + V_2 \quad (18)$$

$$V_D = V_1 - \frac{V_1}{r} \quad (19)$$

$$V_D = V_1 \left(1 - \frac{1}{r}\right) \quad (20)$$

$$V_1 = \frac{V_D}{\left(1 - \frac{1}{r}\right)} = \frac{V_D * r}{r - 1} \quad (21)$$

$$V_1 = \frac{V_D * r}{r - 1} = \frac{177.4 * 9.5}{9.5 - 1} = 198.271 \text{ cm}^3$$

Punto “2”

$$r = \frac{V_1}{V_2} \rightarrow V_2 = \frac{V_1}{r} \rightarrow V_2 = \frac{198.271}{9.5} = 20.871 \text{ cm}^3$$

$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^k \rightarrow p_2 = p_1 \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^k \rightarrow p_2 = p_1(r)^k \rightarrow p_2 = 1 * (9.5)^{1.4} = 23.378 \text{ bar}$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{k-1} \rightarrow T_2 = T_1 \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{k-1} \rightarrow T_2 = T_1(r)^{k-1} \rightarrow T_2 = 300(9.5)^{1.4-1} = 738.262 \text{ K}$$

Punto “3”

$$T_3 = \frac{[\alpha + (c_v - \beta)T_2]}{(c_v + \beta)} = \frac{[3500 + (0.7165 - 1.05) * 738.262]}{(0.7165 + 1.05)} = 1841.941 \text{ K}$$

$$\frac{p_2}{T_2} = \frac{p_3}{T_3} \rightarrow p_3 = T_3 \left(\frac{p_2}{T_2}\right) \rightarrow p_3 = 1841.941 \left(\frac{23.378}{738.262}\right) = 58.328 \text{ bar}$$

$$V_3 = V_2 = 20.871 \text{ cm}^3$$

Punto “4”

$$\frac{p_4}{p_3} = \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^k \rightarrow p_4 = \frac{p_3}{r^k} \rightarrow p_4 = \frac{58.328}{(9.5)^{1.4}} = 2.495 \text{ bar}$$

$$\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^{k-1} \rightarrow T_4 = \frac{T_3}{r^{k-1}} \rightarrow T_4 = \frac{1841.941}{(9.5)^{1.4-1}} = 748.491 \text{ K}$$

$$V_4 = V_1 = 198.271$$

Seguidamente evaluamos las energías transferidas, según tablas de Energía interna "u" (kJ/kg) → Este dato se extrae de la “Tabla A-22” de Moran y Shapiro (2018).

$$\frac{W_{12}}{m} = u_2 - u_1 = 542.637 - 214.070 = 328.567 \frac{kJ}{kg}$$

$$\frac{W_{34}}{m} = u_3 - u_4 = 1527.211 - 550.787 = 976.424 \frac{kJ}{kg}$$

$$\frac{Q_{23}}{m} = u_3 - u_2 = 1527.211 - 542.637 = 984.574 \frac{kJ}{kg}$$

$$\frac{Q_{41}}{m} = u_4 - u_1 = 550.787 - 214.070 = 336.717 \frac{kJ}{kg}$$

Finalmente, la eficiencia térmica “ η ” se calcula con la siguiente formulas:

$$\eta = 1 - \frac{1}{r^{k-1}} = 1 - \frac{1}{(9.5)^{(1.4-1)}} = 59.4 \%$$

$$\eta = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \frac{300}{738.262} = 59.4 \%$$

La eficiencia térmica “ η ”

Los motores *Apache 180* y *CG 150* Titán comparten la misma eficiencia (59.4%), debido a su idéntica relación de compresión (9.5). El motor *CGL 125* tiene la menor eficiencia (58.5%), coherente con su menor relación de compresión (9:1), también; el motor *XTZ 125* destaca con la mayor eficiencia (60.2%), gracias a su mayor compresión (10).

Presiones y Temperaturas

Picos de presión:

El motor *XTZ 125* alcanza la presión máxima más alta (61.3 bar en P_3), seguido por el *Apache/CG 150* (58.3 bar). Esto explica su mejor rendimiento: a mayor compresión, mayor presión de combustión y aprovechamiento de energía.

Temperaturas:

Todos los motores superan los 1800 K durante la combustión (T_3), pero el motor *XTZ 125* mantiene mejor relación presión-temperatura.

Volúmenes y Expansión

Los motores con mayor cilindrada (Apache: 177.4 cm³, CG 150: 149.2 cm³) tienen volúmenes iniciales (V₁) mayores, pero esto no afecta directamente a la eficiencia. La clave está en la relación de compresión: el motor XTZ 125 reduce más su volumen durante la compresión (V₂ = 13.78 cm³ vs. ~17 cm³ en otros), generando mayor presión.

Tabla 6

Puntos principales del ciclo Otto.

Resultados Motor Apache 180						
	Volumen (cm ³)		Temperatura (K)		Presión (bar)	η = 59.4%
1	V ₁ 198.27	1	T ₁ 300	1	P ₁ 1	
2	V ₂ 20.871	2	T ₂ 738.26	2	P ₂ 23.378	
3	V ₃ 20.871	3	T ₃ 1841.94	3	P ₃ 58.328	
4	V ₄ 198.27	4	T ₄ 748.49	4	P ₄ 2.495	
Resultados Motor CG 150 Titan						
	Volumen (cm ³)		Temperatura (K)		Presión (bar)	η = 59.4%
V ₁	166.753	1	T ₁ 300	P ₁	1	
V ₂	17.553	2	T ₂ 738.26	P ₂	23.378	
V ₃	17.553	3	T ₃ 1841.94	P ₃	58.328	
V ₄	166.753	4	T ₄ 748.49	P ₄	2.495	
Resultados Motor CGL 125						
	Volumen (cm ³)		Temperatura (K)		Presión (bar)	η = 8.5% 5
1	V ₁ 139.613	T ₁	300	P ₁	1	
2	V ₂ 15.513	T ₂	722.47	P ₂	21.674	
3	V ₃ 15.513	T ₃	1844.92	P ₃	55.348	
4	V ₄ 139.613	T ₄	766.09	P ₄	2.554	
Resultados Motor XTZ 125						
	Volumen (cm ³)		Temperatura (K)		Presión (bar)	η = 2% 60.
V ₁	13.778	1	T ₁ 300	P ₁	1	
V ₂	13.778	2	T ₂ 753.57	P ₂	25.119	
V ₃	13.778	3	T ₃ 1839.05	P ₃	61.302	
V ₄	13.778	4	T ₄ 732.14	P ₄	2.440	

Nota: Los puntos son resultado de fórmulas termodinámicas presentadas.

Energías Transferidas

El siguiente cuadro presenta las energías transferidas (trabajo y calor) por unidad de masa (kJ/kg) para cuatro motores de 4 tiempos (4T) diferentes: Apache 180 - RTR, CG 150 Titán - Honda, CGL 125 - Honda y XTZ 125 - Yamaha. Estos valores corresponden a las etapas del ciclo termodinámico que sigue el motor bajo el ciclo Otto.

Tabla 7

Energías transferidas para los motores estudiados.

Energía transferidas Apache 180 – RTR							
		ΔT		Δu		Resultado	Unidades
Trabajo							
$_{2/m}$	W_1	738.2	300	542.6	214.0	328.56	kJ/kg
		62		37	70	7	
$_{4/m}$	W_3	1841.	748.	1527.	550.7	976.42	kJ/kg
		941	49	211	87	4	
Transferencia de calor							
$/m$	Q_{23}	1841.	738.	1527.	542.6	984.57	kJ/kg
		941	262	211	37	4	
$/m$	Q_{41}	748.4	300	550.7	214.0	336.71	kJ/kg
		91		87	70	7	
Energía transferidas CG 150 Titán – Honda							
		ΔT		Δu		Resultado	Unidades
Trabajo							
$_{2/m}$	W_1	738.2	300	542.6	214.0	328.56	kJ/kg
		62		37	70	7	
$_{4/m}$	W_3	1841.	748.	1527.	550.7	976.42	kJ/kg
		941	491	211	87	4	
Transferencia de calor							
$/m$	Q_{23}	1841.	738.	1527.	542.6	984.57	kJ/kg
		941	262	211	37	4	
$/m$	Q_{41}	748.4	300	550.7	214.0	336.71	kJ/kg
		91		87	70	7	
Energías transferidas CGL 125 – Honda							
		ΔT		Δu		Resultado	Unidades
Trabajo							
$_{2/m}$	W_1	722.4	300	530.0	214.0	316.02	kJ/kg
		67		99	70	9	
$_{4/m}$	W_3	1844.	766.	1530.	564.9	965.13	kJ/kg
		923	093	054	19	5	
Transferencia de calor							
$/m$	Q_{23}	1844.	722.	1530.	530.0	999.95	kJ/kg
		923	467	054	99	5	
$/m$	Q_{41}	766.0	300	564.9	214.0	350.84	kJ/kg
		93		190	700	90	

Energías transferidas XTZ 125 – Yamaha							
		ΔT		Δu		Result ado	Unida des
Trabajo							
$\frac{2}{m}$	W_1	753.5	300	554.8	214.0	340.78	kJ/kg
		66		53	70	3	
$\frac{4}{m}$	W_3	1839.	732.	1524.	537.7	986.68	kJ/kg
		052	140	454	71	3	
Transferencia de calor							
$\frac{1}{m}$	Q_{23}	1839.	753.	1524.	554.8	969.60	kJ/kg
		052	566	454	53	1	
$\frac{1}{m}$	Q_{41}	732.1	300	537.7	214.0	323.70	kJ/kg
		40		71	70	1	

Nota: Los puntos son resultado de fórmulas de energías transferidas.

La tabla muestra resultados teóricamente analizados, donde las diferencias entre Δu muestran el desempeño termodinámico de cada motor. También, se muestra que el motor Apache 180 (mayor cilindrada) tiene una transferencia de energía ($Q_{23}/m = 984.574$ kJ/kg) y destaca la XTZ 125 su eficiencia con un menor calor rechazado ($Q_{41}/m = 323.701$ kJ/kg). Cabe resaltar, que inyectar mayor calor, no significa que tenga un mejor rendimiento. El Apache 180 debería ser más potente, pero los datos no reflejan ventajas frente a los 125cc. Podría deberse a ajustes en parámetros como relación de compresión o sistemas de enfriamiento. En cambio; el motor CGL 125 y la CG 150 logra mayor Q_{23}/m , pero su alto Q_{41}/m sugiere ineficiencias en la conversión de calor a trabajo.

DISCUSIÓN

En esta investigación evidencia que la relación de compresión es un parámetro importante en los motores de combustión interna, en este caso la Yamaha XTZ 125, tuvo una mayor eficiencia, a pesar de que es un motor de baja cilindrada, además, su calor rechazado es mínimo, en comparación con la Apache 180, que, a pesar de contar con una cilindrada superior, su rendimiento es menor y su calor rechazado es mayor. Si una máquina cuenta con un mayor calor rechazo evidencia que ha tenido ineficiencias al momento de convertir el calor cedido en trabajo. En tal sentido Chicurel (1991) menciona que la compresión es una etapa muy importante, que está ligado a la relación de compresión, en esa investigación la compresión se realiza en una unidad compresora separada de la unidad de expansión, ofreciendo una reducción significativa en el consumo de combustible. En comparación, con nuestros resultados se evidencia que, a mayor relación de compresión, mejora la eficiencia del motor.

Otro aspecto resaltante, es que esta investigación se enfocó en analizar de manera teórica el comportamiento de estos motores a través de sus fichas técnicas, con fines didácticos. Además,

se emplearon las fórmulas para un ciclo Otto de aire estándar. Según Ge et al. (2005), los resultados teóricos obtenidos pueden servir de guía para el diseño de motores de combustión interna de forma práctica.

CONCLUSIONES

Se concluyó que los ciclos termodinámicos Otto de aire estándar, se pueden graficar a través de las fichas técnicas de fabricante y asumiendo algunas constantes debidamente fundamentadas.

También se afirma que la relación de compresión del motor Otto, es esencial para determinar su eficiencia por eso se priorizan para su uso urbano por su agilidad y ligereza, un claro ejemplo es la XTZ 125 y la Apache 180 populares en la región nororiental del Perú.

Finalmente, se aprecia que la eficiencia de un motor es buena, cuando el calor rechazado es mínimo, en este estudio la XTZ solo rechazó (323.701 kJ/kg), demostrando que aprovechó en mayor medida el calor inyectado en la cámara de combustión, transformándolo en trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bajaj. (2023). *APACHE-RTR-180-Race* Edition. <https://tvsp Peru.com/wp-content/uploads/2023/02/APACHE-RTR-180-RE.pdf>
- Chen, L., Wu, Ch., Sun, F., & Cao, Sh. (1998). Heat transfer effects on the net work output and efficiency characteristics for an air-standard Otto cycle. *Energy Conversion and Management*, 39(7), 643-648. [https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(97\)10003-6](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(97)10003-6)
- Chicurel, R. (1991). A modified Otto cycle engine for fuel economy. *Applied Energy*, 38(2), 105-116. [https://doi.org/10.1016/0306-2619\(91\)90069-A](https://doi.org/10.1016/0306-2619(91)90069-A)
- Erazo, D., & Viteri, A. (2018). *Análisis termodinámico de los parámetros indicados de un motor de ciclo Otto aspiración natural con sistema de inyección electrónica en función de la altitud sobre el nivel del mar* [Escuela Politécnica Nacional]. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19868>
- Ge, Y., Chen, L., Sun, F., & Wu, C. (2005). Thermodynamic simulation of performance of an Otto cycle with heat transfer and variable specific heats of working fluid. *International Journal of Thermal Sciences*, 44(5), 506-511. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2004.10.001>
- Honda. (2001). *MANUAL TALLER CGL125 1/2/3WH*. Departamento de Publicaciones de Servicio.

- Honda. (2004). *MANUAL DE TALLER CG150 TITAN KS/ES/ESD*. Departamento de Servicios de Posventa.
- Hou, S. (2007). Comparison of performances of air standard Atkinson and Otto cycles with heat transfer considerations. *Energy Conversion and Management*, 48(5), 1683-1690. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2006.11.001>
- Klein, S. A. (1991). An Explanation for Observed Compression Ratios in Internal Combustion Engines. *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, 113(4), 511-513. <https://doi.org/10.1115/1.2906270>
- Kroetz, T. (2024). Revisiting and comparing the Carnot Cycle and the Otto Cycle. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 46, e20230318. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2023-0318>
- Manrique, J. (2001). *Termodinámica* (3.^a ed.). Alfaomega. <https://www.amazon.com/-/es/Termodin%C3%A1mica-Jos%C3%A9-Manrique/dp/9706136339>
- Moran, M., & Shapiro, H. (2018). *Fundamentos de Termodinámica Técnica* (J. Turégano, Trad.; 2.^a ed.). Reverté.
- Moran, M., Shapiro, H., Boettner, D., & Bailey, M. (2015). *Principles of Engineering Thermodynamics* (8.^a ed.). John Wiley & Sons Singapore Pte. Ltd.
- Payri, F., & Desantes, J. M. (2011). *Motores de combustión interna alternativos*. Reverte.
- Winterbone, D., & Turan, A. (2015). *Advanced Thermodynamics for Engineers* (1.^a ed.). Elsevier Inc.
- Yamaha. (2025). *XTZ125 Yamaha | Moto todo terreno | Yamaha Motor*. <https://www.yamaha-motor.com.pe/xtz125/product/6000004>
- Zohuri, B. (2018). *Physics of Cryogenics: An Ultralow Temperature Phenomenon*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814519-7.00013-6>

ARTÍCULO DE REVISIÓN

Integración de ciclovías y señalización vial urbana sostenible: una revisión de literatura

Integration of bike lanes and sustainable urban road signage: a literature review

Llatas, E.¹ , Rojas, R.² , Bautista, Y.³ , Zuta, R.⁴ , Piedra, J.⁵  y Arce, N. 

RESUMEN

Esta revisión sistemática sintetiza el conocimiento actual sobre la integración efectiva entre ciclovías y señalización vial sostenible. Tras analizar 50 estudios académicos y casos de implementación en diversos contextos urbanos, se identificó que el éxito de estas intervenciones de movilidad no depende exclusivamente de su construcción física, sino de una planificación general que considere múltiples dimensiones. Los resultados demuestran consistentemente que factores como la calidad duradera de la infraestructura, una señalización clara e intuitiva, y especialmente la percepción de seguridad por parte de los usuarios son determinantes cruciales para lograr una aceptación ciudadana y un uso sostenido. La evidencia recopilada permite concluir que es fundamental superar el enfoque tradicional centrado únicamente en la implementación física, avanzando hacia modelos que integren diseño urbano consciente, tecnologías inteligentes de gestión del tráfico y procesos de participación social. Esta aproximación integral resulta clave no solo para la funcionalidad inmediata de las ciclovías, sino para su sostenibilidad a largo plazo como componentes vitales de sistemas de movilidad urbana más saludables, inclusivos y ambientalmente responsables.

Palabras clave: Ciclovías; Señalización Vial; Movilidad Sostenible; Diseño Urbano.

ABSTRACT

This systematic review synthesizes current knowledge on the effective integration of bike lanes and sustainable road signage. After analyzing 50 academic studies and implementation cases in various urban contexts, it was identified that the success of these mobility interventions does not depend exclusively on their physical construction, but rather on overall planning that considers multiple dimensions. The results consistently show that factors such as the durable quality of the infrastructure, clear and intuitive signage, and especially users' perception of safety are crucial determinants for achieving public acceptance and sustained use. The evidence gathered leads to the conclusion that it is essential to move beyond the traditional approach focused solely on physical implementation, advancing toward models that integrate conscious urban design, smart traffic management technologies, and social participation processes. This comprehensive approach is key not only to the immediate functionality of bike lanes, but also to their long-term sustainability as vital components of healthier, more inclusive, and environmentally responsible urban mobility systems.

Keywords: Bike lanes; Road signage; Sustainable mobility; Urban design.

* Autor para correspondencia

¹ Universidad Nacional de Jaén, Perú. Email: erick.llatas@est.unj.edu.pe, rony.rojas@est.unj.edu.pe, yhan.bautista@est.unj.edu.pe, roly.zuta@est.unj.edu.pe, jpiedrat@unj.edu.pe, nilthon_arce@unj.edu.pe

INTRODUCCIÓN

La movilidad urbana sostenible se ha convertido en un eje central de las políticas públicas contemporáneas, especialmente en contextos de rápida urbanización y creciente conciencia ambiental. La implementación de ciclovías surge como una estrategia clave para promover modos de transporte no motorizados, reducir emisiones de carbono y mejorar la calidad de vida en entornos urbanos (Ferraz et al., 2025)

Dentro de este proceso, la señalización vial constituye un elemento articulador esencial que no solo organiza los flujos de tránsito y previene conflictos entre peatones, ciclistas, vehículos motorizados y usuarios de micromovilidad, sino que también fortalece la seguridad vial y la percepción de confianza en la infraestructura. Estudios recientes destacan que la correcta disposición de señales, pictogramas y semaforización inteligente puede incidir directamente en la reducción de accidentes y en la aceptación social de nuevas infraestructuras urbanas (Hassanpour & Bigazzi, 2025).

La relevancia de este tema se enmarca en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), particularmente el ODS 11, que aboga por ciudades inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles. Diversos estudios, como el de (Quiroz Campas et al., 2020), han explorado la percepción ciudadana sobre la movilidad en bicicleta, encontrando que factores como la seguridad, la utilidad percibida y la confianza en la gestión institucional son determinantes para la aceptación de estas infraestructuras. No obstante, investigaciones como la de (Vizcarra Silvestre et al., 2024), en Tacna, Perú, revelan una brecha significativa entre la implementación de ciclovías y la satisfacción de los usuarios, atribuyendo el fracaso a la baja calidad de los materiales, la falta de seguridad básica y una planificación breve desconectada de la participación ciudadana y profesional.

Esta revisión de literatura busca sintetizar el conocimiento actual sobre la incorporación del diseño de ciclovías y los sistemas de señalización vial urbana, identificando buenas prácticas, lecciones aprendidas y desafíos persistentes. El propósito es proporcionar un marco de referencia que sirva como base para futuras intervenciones urbanas que aspiren a ser no solo físicamente implementadas, sino también socialmente aceptadas, técnicamente saludables y sostenibles en el tiempo. La principal limitación de este trabajo radica en su naturaleza documental, al basarse en la revisión de literatura existente sin generar datos empíricos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se desarrolló bajo un enfoque cualitativo de tipo revisión sistemática de literatura (Page et al., 2021). El proceso se ejecutó en tres fases secuenciales para garantizar exhaustividad y rigor metodológico.

Fase 1. Planificación y Estrategia de Búsqueda

Se definieron los criterios de inclusión y exclusión. Se incluyeron artículos científicos que abordaran directamente la integración de ciclovías, señalización vial, percepción de usuarios, políticas públicas y sostenibilidad urbana. Se excluyeron tesis de pregrado, posgrado y artículos sin revisión por pares (Liberati et al., 2009).

La búsqueda se realizó en septiembre de 2025 en bases de datos académicas, incluyendo Scopus, Web of Science y SciELO. Los términos de búsqueda se combinaron usando palabras claves como: ("ciclovía" OR "bike lane" OR "cycle path") AND ("señalización vial" OR "traffic signage" OR "urban signage") AND ("sostenible" OR "sustainable") AND ("percepción" OR "satisfacción" OR "perception" OR "satisfaction").

Fase 2. Selección y Evaluación de Estudios

Los resultados de la búsqueda fueron compartidos en un drive para evitar duplicados. Posteriormente, se aplicó un filtrado en dos etapas basado en títulos y resúmenes, y luego en texto completo, para verificar el cumplimiento de los criterios de elegibilidad. Este proceso fue realizado de forma independiente por cuatro investigadores para optimizar procesos, resolviendo las discrepancias mediante unanimidad. De un corpus inicial de 60 documentos, 50 fueron seleccionados para el análisis final.

Fase 3. Análisis y Síntesis de la Información

Para el análisis de los documentos seleccionados, se empleó la técnica de análisis de contenido, en la cual se diseñó una matriz de extracción en una hoja de cálculo de Microsoft Excel para codificar sistemáticamente la información relevante de cada estudio (Krippendorff, 2019). Las variables analizadas incluyeron:

- Autor(es) de Artículo.
- Variables de Intervención.
- Técnicas de recolección de datos.
- Variables de Resultado.

Fase 4. Análisis de búsqueda

El análisis de los 50 artículos científicos seleccionados se llevará a cabo mediante un proceso de síntesis narrativa y categorización temática; teniendo como objetivo identificar, consolidar y estructurar los hallazgos centrales de la literatura en torno a la integración de ciclovías y señalización vial sostenible.

RESULTADOS

Tabla 1

Síntesis de estudios seleccionados sobre integración de ciclovías y señalización vial urbana sostenible.

Autor(es) de Artículo	Variables de Intervención	Variables de Resultado
(Florindo et al., 2023)	Cambios en disponibilidad de ciclovías cerca de domicilios (2015-2020).	Mayor disponibilidad de ciclovías se asoció con más actividad física (OR=1.39).
(Vizcarra Silvestre et al., 2024)	Ciclovías con seguridad básica, diseño e integración paisajística.	El 74,3% nada satisfecho, 25,7% poco satisfecho; materiales 70%-30%, seguridad 75,7%-24,3%, funcionamiento 74,3%-25,7%, resultados 68,6%-31,4%.
(Ferraz et al., 2025)	Tipo de infraestructura y características de la vegetación adyacente.	Ciclistas valoran sombra, pero reportan problemas. Especies mayormente exóticas, daños.
(Adesina et al., 2024)	Restauración de humedales, ciclovías off-road, conectividad.	Degradación ambiental, falta de infraestructura ciclista, potencial de turismo sostenible, mejora de conectividad y bienestar urbano.
(Moreno et al., 2024)	Diseño de corredores verdes conectando áreas núcleo y ciclovías.	Identificación de 3 áreas núcleo. Propuesta de corredor verde de 8.16 km.
(Douglas et al., 2024)	Acciones para promover caminata y ciclismo.	Reducción de velocidad vehicular es la acción más efectiva y viable.
(Quintero González, 2022)	Red de ciclorrutas, bicicletas compartidas, planificación.	Propuesta de 4 ejes de ciclorrutas (24.74 km). Factibilidad técnica y legal.
(Asprilla Lara et al., 2017)	Señalización vertical/horizontal, seguridad vial, BRT.	Señalización calificada 3.48/5. Necesidad de mejorar visibilidad y legibilidad.
(Ledesma et al., 2024)	Campañas de comunicación y enfoques (emocional, racional).	Predominio de enfoques emocionales negativos. Escasa autoeficacia e innovación.
(Rodríguez-Hernández & Urrego, 2023)	Políticas públicas, estándares de seguridad vehicular.	Reducción de mortalidad con ESV. Necesidad de adoptar normas internacionales.
(Magnana et al., 2024)	Estado del tráfico, Acciones del agente	Tiempo de espera de ciclistas y vehículos mediante 3DQN = $\times 1.25$ vs unsecured. Mejor que actuated ($\times 1.71$).
(Viterbo et al., 2025)	Uso del algoritmo BIRCH y gemelos digitales para gestionar y optimizar semáforos en tiempo real.	Latencia V2X: IBM Watson IoT = 48.83 ms. Muy por debajo del umbral de 600 ms.
(Adarbah et al., 2024)	Algoritmo BIRCH + gemelos digitales aplicados al control adaptativo de semáforos.	Tasa media de parada de vehículos (%), evaluada en escenarios de tráfico bajo, moderado y alto, mostrando una reducción hasta del 12%.

(Castán Rocha et al., 2018)	Sistema de inferencia difusa integrado con metodología CBR para control de intervalos de luz verde.	Rendimiento del sistema (%), donde el uso de un sistema de inferencia difusa mejoró el rendimiento en un 18% en 10,000 experimentos.
(Hassanpour & Bigazzi, 2025)	Tipos de PMD (24 dispositivos, motorizados y no motorizados) y condiciones de uso en vías fuera de la calzada.	Percepción de comodidad, disparidad entre velocidad real y percibida, impacto diferenciado de dispositivos eléctricos vs. no eléctricos.
(Arefe et al., 2025)	Algoritmo de control semafórico multimodal con fases integradas para vehículos, peatones y bicicletas.	Tiempo de espera, emisiones de CO ₂ , eficiencia y equidad en la movilidad multimodal.
(Gálvez-Pérez et al., 2025)	Factores de colisión (tipo de vehículo, condiciones de luz, entorno urbano, horarios, características del municipio).	Gravedad de las lesiones de peatones mayores, diferencias respecto a peatones no mayores y condiciones de mayor o menor riesgo.
(Guío-Burgos et al., 2023)	Factores del cruce peatonal (tipo de vehículo, tipo de brecha, edad, género, movilidad, cruce en grupo, niños, correr, etc.).	La brecha peatonal aceptada, con un valor promedio de 5.4 segundos para cruzar una calle de dos carriles.
(Cardona et al., 2020)	Redireccionamiento vial en el sector gastronómico de Manizales.	Tiempo de viaje de acceso a la zona (≤ 45 minutos para el 100% de la población).
(Li et al., 2025)	Sistemas autónomos urbanos (vehículos, autobuses, robots de reparto) y escenarios de interacción con peatones/ciclistas.	Identificación de avances, retos y cinco brechas de investigación para mejorar seguridad, eficiencia y aceptación en movilidad autónoma.
(Flores Juca et al., 2024)	Implementación de carriles de bicicletas	Ricaurte 88.47% pendiente < 6%, Baños 50.76 %, El Valle 52.04%, Sinicay 66.45%; densidades 9664, 8831, 5267, 4208 hab/km ²
(García Sepúlveda & Ramírez Viveros, 2022)	Planificación de Movilidad Urbana Sostenible - Participación Ciudadana y Gobierno Abierto	Entre 2017 – 2020 hubo 77620 – 64058 accidentes, 7325 – 4306 heridos y 237 – 223 muertes por tránsito en Nuevo Leon
(Escobar et al., 2020)	Red de Infraestructura de Transporte - Velocidad Operativa	Tiempo Medio de Viaje (Accesibilidad), Gradiente de Variación Temporal
(Marino, 2024)	Infraestructura Física del Carril Bici - Discurso y Narrativa Política	Extensión ciclista: Bangu 5.41km, Copacabana 20.51km; densidad 139 vs 535 hab/ha; ingreso 653 vs 3769R\$; IDS 0.57 vs 0.73
(Alcaraz & Escudero, 2014)	Implementación y operación del programa "Ciclovía Recreativa"	Percepción y satisfacción de los usuarios - Impacto en la práctica de actividad física
(Cobos Gutiérrez, 2024)	Existencia y características de la infraestructura de ciclovías -	Ciclovía 5,1 km; 62 % hombres; 84 % adultos; 51 % estrato 3; 53 % secundaria; 156-143 usuarios encuestados.

	percepción de las dimensiones de la ciclovía	
(O'Donnell, 2023)	Existencia y distribución de la infraestructura ciclista - Calidad de la infraestructura ciclista	Ciudadanía y desigualdad - Indicadores de calidad de la infraestructura
(Flores & Pelenco, 2020)	Financiamiento federal - Programas de movilidad sustentable	Cambios en la infraestructura de movilidad - Impacto en patrones de movilidad y accesibilidad
(Guimarães et al., 2022)	Infraestructura ciclista - Factores sociodemográficos y climáticos	Patrones de uso de la bicicleta - Percepción de barreras y motivaciones
(Avalos et al., 2025)	El estudio analizó la incorporación de medidas de prevención de accidentes en el diseño de infraestructura vial.	La iluminación eficiente reduce accidentes en 30%, señalización mejora visibilidad 25%, materiales innovadores aumentan estabilidad 40%, drenaje eficiente disminuye siniestralidad 20%.
(Adu & Dorasamy, 2024)	Mejora de carreteras, la inversión en conectividad vial y la implementación de políticas de transporte en Ghana.	El modelo explica el 70% de la reducción de costos logísticos, con coeficiente $\beta = 0.4027$ y significancia $p < 0.001$.
(Martínez Rivillasa et al., 2010)	Ocho variables urbano-espaciales (población, transporte, vehículos, ciclорutas) y doce ambientales (emisiones CO ₂ , temperatura) de Bogotá entre 2004-2008.	Proyecciones al 2020: aumento de vehículos, emisiones CO ₂ ; déficit de suelo; necesidad de stock crítico vehicular y mayor captura de carbono.
(Quiroz Campas et al., 2020)	Evalúa carriles bici, subsidios y restricción vehicular, midiendo percepciones, riesgos, utilidad e intenciones de voto sostenible urbano.	El modelo explicó 60% de la varianza total, con alfas 0.771, 0.765 y 0.778, y correlaciones entre factores de 0.325, 0.436 y 0.412
(Eltit Neumann, 2011)	Implementar infraestructura ciclista, promover políticas educativas y fomentar bicicleta como transporte público sostenible, seguro y no motorizado en ciudades.	Bicicleta 2%, caminata 38%, bus 37%, auto 14%, parque automotriz 0,143 vehículos/hab, ciclovías 26 km, proyectadas 35,8 km.
(Tanikawa Obregón & Paz Gómez, 2021)	Se prioriza movilidad activa, infraestructura caminable, participación ciudadana y uso de tecnologías digitales, promoviendo transporte sostenible, seguro e inclusivo.	América Latina presenta 176 vehículos por 1000 habitantes, crecimiento 60%; 93% muertes viales en países medios-bajos, peatones 50% víctimas
(Quintero González, 2019)	Formular las estrategias de un Desarrollo Orientado al Transporte Sostenible (DOTS) para Colombia.	La capacidad de transformación urbana que posee el transporte trasciende a la planeación e implementación del DOTS.

(Salcedo et al., 2007)	Diseño de modelo de tráfico vehicular que analiza circulación en vía principal de Bogotá mediante evaluación de semáforos y flujos existentes.	El modelo ANFIS aumentó velocidad promedio 33,3%, redujo densidad vehicular 42,6% y disminuyó vehículos en cola 61,7% respecto al sistema fijo.
(Pérez Stéfanov, 2021)	Políticas públicas, educación vial, participación ciudadana e interdisciplinariedad para fortalecer movilidad sostenible y mejorar seguridad vial urbana.	Costa Rica registra más de 10.000 muertes viales en 15 años, tasa máxima 17,85/100.000 habitantes, víctimas 80% hombres jóvenes.
(Silva Díaz & Muguerza Zárate, 2021)	Analizar la movilidad urbana en el centro histórico del distrito de Cajamarca, Perú	El 84% de vehículos circula con uno o ningún pasajero, 46% peatones inseguros, contaminación media-alta y congestión elevada afectan movilidad.
(Goyes-Balladares & Moya-Jiménez, 2022)	Condiciones de movilidad del centro de la ciudad de Ambato desde un enfoque de sostenibilidad.	El 37% usa automóvil, 34% transporte público, 13% modos no motorizados; 392 buses operan 22 rutas con 80 pasajeros promedio.
(Bocarejo, 2009)	Inversión en transporte público. Restricción al automóvil. Densificación urbana.	Distribución modal de viajes. Niveles de emisiones contaminantes. Inversión requerida en infraestructura.
(Dextre & Cebollada Frontera, 2014)	Conceptualización de la seguridad vial, incorporación de ciencias sociales, análisis sistémico.	La tasa de mortalidad en accidentes de tránsito, con 21.5 muertos por cada 100,000 habitantes en países de bajos ingresos.
(García Pereda & González Fraga, 2025)	Regulación del sector, flexibilización enseñanza, apertura centros, gestión exámenes, competencia efectiva.	El número de permisos de conducir expedidos anualmente en España, que es de aproximadamente 900,000.
(Guavita Hernandez et al., 2017)	Intersecciones a desnivel, movilidad urbana, seguridad vial, simulación con Vissim.	El porcentaje de aumento de la capacidad vial, como el 30.4% registrado tras la construcción de un paso elevado.
(Gibson et al., 2011)	Enfoque de oferta en planificación. Infraestructura determina localización actividades. Políticas públicas centradas en ciudadano.	Movilidad como derecho ciudadano. Desarrollo humano y capacidades. Nuevo proyecto de ciudad sostenible.
(Ferreira et al., 2022)	Implementación de infraestructura ciclista, incentivos, campañas educativas, gestión automovilística y servicios complementarios urbanos sostenibles.	Un incremento del 2% en uso de bicicleta ahorra 1,1 millones CO ₂ , 25 millones combustible, 500 mil aires, 140 millones salud.
(Valdéz Sánchez & Pérez Dávila, 2021)	Infraestructura ciclista, políticas públicas, incentivos económicos, campañas	Incremento uso bicicleta, reducción contaminación, ahorro económico,

	educativas, regulación urbana, promoción cultural, accesibilidad segura y sostenible.	mejoras salud pública, seguridad vial, inclusión social, sostenibilidad ambiental.
(Siordia Galindo & Galindo González, 2020)	Control de acceso, regulación normativa, educación ambiental, capacidad de carga, monitoreo, señalización, gestión sostenible.	Impacto en vegetación, erosión, compactación suelo, afectación fauna, contaminación, modificación paisaje, conservación ambiental, equilibrio ecosistémico.
(Nuri Barón, 2020)	Accesibilidad, caminata, ciclismo y espacio público.	Movilidad sostenible, seguridad percibida, bienestar urbano, elección modal y experiencia del usuario.
(Vázquez Nájera et al., 2021)	Género, hogar, trabajo, estudios, compras, convivencia y salud.	Motivos de viaje, tipo de transporte, correlación de movilidad – género y administración eficiente transporte.

Nota. En la tabla 1 se muestran los resultados obtenidos con respecto a la búsqueda de artículos científicos. Fuente: Elaboración propia.

A partir de los resultados de búsqueda se puede afirmar que el análisis de los 50 artículos seleccionados permitió agrupar los hallazgos en tres categorías principales relacionadas con la integración de ciclovías y señalización vial sostenible. Entre ellos el Impacto de la Infraestructura Ciclista en el Comportamiento Urbano, el Rol Articulador de la Señalización y la Tecnología y los Factores Sociotécnicos para la Aceptación y Sostenibilidad.

DISCUSIÓN

Los resultados revelan que la construcción de ciclovías es insuficiente; además el estudio de (Vizcarra Silvestre et al., 2024) cuantifica un alarmante 74.3% de usuarios "nada satisfechos", atribuyendo este fracaso a deficiencias materiales (70%) y de seguridad (75.7%), esto se complementa con los hallazgos de (Quiroz Campas et al., 2020) cuyo modelo explicó el 60% de la varianza en la percepción de movilidad, identificando los riesgos percibidos como barrera crucial. La planificación que ignora estas dimensiones cualitativas condena al fracaso las intervenciones.

Es importante mencionar que las soluciones tecnológicas muestran impactos medibles, entre ellos los algoritmos de (Magnana et al., 2024) redujeron el tiempo de espera de ciclistas versus sistemas no seguros, mientras (Adarbah et al., 2024) lograron hasta 12% de reducción en paradas vehiculares; por otro lado, (Hassanpour & Bigazzi, 2025) revelan disparidades entre velocidad real y percibida en usuarios de micromovilidad, destacando que la señalización debe abordar tanto dimensiones objetivas como subjetivas de la seguridad.

La síntesis de (Avalos et al., 2025) cuantifica reducciones del 30% en accidentes con mejor iluminación y (García Sepúlveda & Ramírez Viveros, 2022) destacan la participación ciudadana como esencial para la sostenibilidad, por ello el equilibrio entre los resultados y las percepciones usuarias constituye la base para una movilidad verdaderamente sostenible.

CONCLUSIONES

La integración efectiva de ciclovías y señalización vial sostenible requiere un enfoque mixto que combine evidencias cuantitativas y cualitativas; los datos muestran que mejoras técnicas específicas generan impactos medibles, entre ellos la señalización visible la cual reduce accidentes en 25% (Avalos et al., 2025), sistemas semafóricos inteligentes disminuyen tiempos de espera (Magnana et al., 2024), y materiales de calidad aumentan la estabilidad en 40%; sin embargo, estas medidas deben complementarse con la evaluación cualitativa de la percepción usuario, donde dimensiones como la sensación de seguridad emergen como pensador crítico del uso continuo.

La sostenibilidad de estas intervenciones depende de integrar la infraestructura cuantificablemente eficiente, tecnologías validadas (como gemelos digitales que reducen paradas vehiculares en 12%), y procesos participativos que capturen percepciones ciudadanas; considerando también el fracaso documentado en casos como Tacna (74.3% de insatisfacción) evidencia las consecuencias de priorizar medidas de cobertura sobre indicadores cualitativos de satisfacción.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adarbah, H. Y., Sookhak, M., & Atiquzzaman, M. (2024). A digital twin-based traffic light management system using BIRCH algorithm. *Ad Hoc Networks*, 164, 13. <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2024.103613>
- Adesina, J. A., Tang, X., Uduma-Olugu, N., & Adebamowo, M. (2024). Regenerating Urban Landscapes through Wetlands Restoration and Outdoor Open Space Connectivity: Off-road Bicycle Lane Planning Principles for Tourism Development. *Turismo: Visão e Ação*, 27, 19. <https://doi.org/10.14210/tva.v27.20521>
- Adu, J. P., & Dorasamy, N. (2024). Road Infrastructure, Supply Chain Costs Reduction, and Road Safety in Economic Geography Perspective. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, 18(6), 26. <https://doi.org/10.24857/rgsa.v18n6-042>

- Alcaraz, N. P., & Escudero, H. M. (2014). *Sistematización de la experiencia Ciclovía recreativa de la Secretaría de Deporte y Recreación del municipio de Itagüí (Antioquia) entre los años 2012-2013*. 3(2), 38.
<https://revistas.udea.edu.co/index.php/viref/article/view/20080/16968>
- Arefe, C. A., Sakib, N., Rahman, M. M., & Islam, K. M. (2025). Optimization of semi-synchronized multi-modal urban traffic signal through stochastic computer simulation. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 29(7), 16.
<https://doi.org/10.1016/j.kscej.2024.100135>
- Asprilla Lara, Y., García De Quevedo, F., González Pérez, M. G., Asprilla Lara, Y., García De Quevedo, F., & González Pérez, M. G. (2017). Señalización y seguridad vial en buses de tránsito rápido: El transmilenio en Bogotá. *Infraestructura Vial*, 19(33), 15-25. http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2215-37052017000100015&lng=en&nrm=iso&tlng=es
- Avalos, E., Universidad César Vallejo, Palomino, P., Universidad César Vallejo, Muñoz, D., & Universidad César Vallejo. (2025). Incorporación de medidas de prevención de accidentes en el diseño de infraestructura vial: Una revisión sistemática. *Espacios*, 46(03), 194-205.
<https://doi.org/10.48082/espacios-a25v46n03p15>
- Bocarejo, J. P. (2009). Long Term Prospective of Urban Mobility in Bogotá and Sustainable Policies. *Revista de Ingeniería*, 29, 75-81.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0121-49932009000100010&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Cardona, S., Escobar, D. A., & Moncada, C. A. (2020). Análisis de ordenamiento de la movilidad en el bulevar gastronómico de Milán, Manizales (Colombia). *Información tecnológica*, 31(1), 301-310. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642020000100301>
- Castán Rocha, J. A. C., Martínez, S. I., Menchaca, J. L., Villanueva, J. D. T., Berrones, M. G. T., Cobos, J. P., & Agundis, D. U. (2018). Fuzzy Rules to Improve Traffic Light Decisions in Urban Roads. *Journal of Intelligent Learning Systems and Applications*, 10(02), 36-45.
<https://doi.org/10.4236/jilsa.2018.102003>
- Cobos Gutiérrez, C. E. (2024). DESAFÍOS Y OPORTUNIDADES EN LA IMPLEMENTACIÓN DE CICLOVÍAS EN ÁREAS URBANAS: CASO DE LA URBANIZACIÓN RETABLO, COMAS. *HORIZONTE EMPRESARIAL*, 11(1), 397-403.

- <https://doi.org/10.26495/qt639w16>
- Dextre, J. C., & Cebollada Frontera, À. (2014). Notas en torno a la Seguridad Vial: Una revisión desde las ciencias sociales. *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, 60(2), 419-433. <https://doi.org/10.5565/rev/dag.103>
- Douglas, R. A., Florindo, A. A., Paula, I. V. F. D., Sarti, F. M., Mota, J., Santos, M. P., Knebel, M. T. G., De Souza Wanderley Júnior, R., & Garcia, L. M. T. (2024). Como melhorar a mobilidade ativa em São Paulo, Brasil? Inquérito com lideranças de organizações não governamentais e com gestores públicos e privados. *Cadernos de Saúde Pública*, 40(5), 14. <https://doi.org/10.1590/0102-311xpt117323>
- Eltit Neumann, V. X. (2011). Transporte urbano no motorizado: El potencial de la bicicleta en la ciudad de Temuco. *Revista INVI*, 26(72), 153-184. <https://doi.org/10.4067/S0718-83582011000200006>
- Escobar, D. A., Ruiz, S., & Moncada, C. A. (2020). Evolución de las condiciones de accesibilidad media global ofrecida por la red de infraestructuras del transporte en Manizales—Colombia. *Información tecnológica*, 31(6), 3-16. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642020000600003>
- Ferraz, M. V., Lobo, F. J. C., Rajão, H., Pires, J. P. D. A., & Sartori, R. A. (2025). Green infrastructure of Brazilian bike paths: Cyclists' perception and afforestation in Rio de Janeiro City. *Ornamental Horticulture*, 31, 12. <https://doi.org/10.1590/2447-536x.v31.e312833>
- Ferreira, J. P., Isidoro, C., Moura E Sá, F., & Mota, J. C. (2022). O valor económico da bicicleta à escala local: *Finisterra*, 87-107 Páginas. <https://doi.org/10.18055/FINIS25261>
- Flores, J. A. J., & Pelenco, T. T. (2020). Financiamiento a la movilidad motorizada y no motorizada. Ciclovia en Nezahualcóyotl y estación Cuautitlán, Zona Metropolitana del Valle de México. *Revista Transporte y Territorio*, 22, 132-158. <https://doi.org/10.34096/rtt.i22.5490>
- Flores Juca, E., Mora Arias, E., & Chica, J. (2024). Hacia una movilidad sostenible: Metodología de evaluación para la incorporación de carriles de bicicleta en la infraestructura vial de Cuenca. *NOVASINERGIA REVISTA DIGITAL DE CIENCIA, INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA*, 7(1), 20-39. <https://doi.org/10.37135/ns.01.13.02>
- Florindo, A. A., Goulardins, G. S., & Teixeira, I. P. (2023). Ciclovias, atividade física no

- lazer e hipertensão arterial: Um estudo longitudinal. *Estudos Avançados*, 37(109), 105-124. <https://doi.org/10.1590/s0103-4014.2023.37109.008>
- Gálvez-Pérez, D., Guirao, B., & Ortuño, A. (2025). Enhancing safe walking in an ageing society: Insights into injury severity of older pedestrian traffic crashes in urban environments. *Journal of Transport & Health*, 42, 19. <https://doi.org/10.1016/j.jth.2025.102022>
- García Pereda, A., & González Fraga, A. (2025). Cómo modernizar la formación vial: Propuestas para un sector más competitivo y eficiente. *ICE, Revista de Economía*, 939, 199-212. <https://doi.org/10.32796/ice.2025.939.7914>
- García Sepúlveda, S. A., & Ramírez Viveros, A. (2022). Movilidad urbana como vía para el desarrollo sostenible: Caso Nuevo León. *Política, Globalidad y Ciudadanía*, 9(17), 01-19. <https://doi.org/10.29105/pgc9.17-10>
- Gibsone, C. D., Jolly, F., Vilches, A. M., & Parra, F. R. (2011). Algunas reflexiones sobre la movilidad urbana en Colombia desde la perspectiva del desarrollo humano. 16(2), 485-514. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S012244092011000200007
- Goyes-Balladares, A. C., & Moya-Jiménez, R. C. (2022). Aprovechamiento y presentación de potencialidades sostenibles en el modelo de movilidad urbana del centro de la ciudad de Ambato. *Revista Hábitat Sustentable*, 12(2), 66-83. <https://doi.org/10.22320/07190700.2022.12.02.05>
- Guavita Hernandez, C. L., López Jurado, L. M., & Garzón Soler, N. A. (2017). *CAPACIDAD ENINTERSECCIONES A DESNIVEL PARA ZONAS URBANAS: UN ESTADO DEL ARTE* *Capacity of underpass and overpass intersections in urban*. 10. <http://hdl.handle.net/11396/4981>
- Guimarães, I. F., Ribeiro, J. A. B., Nicoes, C. R., Bacchieri, G., Reichert, F. F., & Crochemore-Silva, I. (2022). Aspectos sociodemográficos, barreiras e motivações de ciclistas de uma cidade sul- brasileira: Um estudo de métodos mistos. *Ciência & Saúde Coletiva*, 27(3), 1249-1262. <https://doi.org/10.1590/1413-81232022273.01392021>
- Guío-Burgos, F. A., Combariza-Pinzón, M. J., & Cerquera Escobar, F. Á. (2023). Pedestrian gaps and walking speed at uncontrolled midblock crosswalks. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 107, 26-38. <https://doi.org/10.17533/udea.redin.20220371>
- Hassanpour, A., & Bigazzi, A. (2025). Perceptions toward pedestrians and micromobility

- devices in off-street cycling facilities and multi-use paths in metropolitan Vancouver, Canada. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 109, 951-964. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2025.01.021>
- Krippendorff, K. (2019). *Content Analysis: An Introduction to Its Methodology*. SAGE Publications, Inc. <https://doi.org/10.4135/9781071878781>
- Ledesma, R. D., Tosi, J. D., López, S. S., Ferraro-Boggan, M. A., & Poó, F. M. (2024). Comunicación en Seguridad Vial: Análisis Crítico de Anuncios sobre Velocidad en Latinoamérica. *Psicodebate*, 24(2), 7-20. <https://doi.org/10.18682/pd.v24i2.10673>
- Li, D., Mao, W., Pereira, F. C., Xiao, Y., Su, X., & Krueger, R. (2025). Analyzing the behaviors of pedestrians and cyclists in interactions with autonomous systems using controlled experiments: A literature review. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 114, 270-307. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2025.05.031>
- Liberati, A., Altman, D. G., Tetzlaff, J., Mulrow, C., Gøtzsche, P. C., Ioannidis, J. P. A., Clarke, M., Devereaux, P. J., Kleijnen, J., & Moher, D. (2009). The PRISMA Statement for Reporting Systematic Reviews and Meta-Analyses of Studies That Evaluate Health Care Interventions: Explanation and Elaboration. *PLoS Medicine*, 6(7), e1000100. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000100>
- Magnana, L., Rivano, H., & Chiabaut, N. (2024). A deep reinforcement learning solution to help reduce the cost in waiting time of securing a traffic light for cyclists. *Journal of Cycling and Micromobility Research*, 2, 10. <https://doi.org/10.1016/j.jcmr.2024.100046>
- Marino, F. U. (2024). Mobility, citizenship, and inequality: Analyzing the cycling infrastructure of Rio de Janeiro. *Cadernos Metr pole*, 26(60), 663-684. <https://doi.org/10.1590/2236-9996.2024-6012.e>
- Martínez Rivillasa, A., Barragán Zaqueb, W., & Campos Orjuela, A. (2010). Modelo de evaluación de la sostenibilidad territorial de Bogotá: Una propuesta multicriterio con enfoque modelizador de la movilidad de las ciudades. *Revista de Ingeniería*, 31, 16-29. <https://doi.org/10.16924/revinge.31.2>
- Moreno, R., Lora-González,  ., Gal n, C., & Zamora-Díaz, R. (2024). Propuesta metodológica para la identificación de potenciales corredores verdes urbanos. Estudio de caso: Temuco, Chile. *Revista de Arquitectura*, 26(2), 189-204.

- <https://doi.org/10.14718/RevArq.2024.26.5503>
- Nuri Barón, G. (2020). La transición urbana y social hacia un paradigma de movilidad sostenible. *Cuadernos del Centro de Estudios de Diseño y Comunicación*, 80, 153-172. <https://doi.org/10.18682/cdc.vi80.3701>
- O'Donnell, J. (2023). De la «visión ciclista» al «carril bici de la muerte»: La vida social de las infraestructuras urbanas. *ESTUDOS AVANÇADOS*, 45-62. <https://doi.org/10.1590/s0103-4014.2023.37107.004en>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Pérez Stéfanov, B. (2021). Aportes de las ciencias sociales al abordaje teórico y práctico para el estudio de la movilidad sostenible y la seguridad vial. *Revista ABRA*, 41(63), 33-54. <https://doi.org/10.15359/abra.41-63.2>
- Quintero González, J. R. (2019). Desarrollo Orientado al Transporte Sostenible (DOTS). Una prospectiva para Colombia. *Bitácora Urbano Territorial*, 29(3), 59-68. <https://doi.org/10.15446/bitacora.v29n3.6597>
- Quintero González, J. R. (2022). Planificación del uso de bicicletas en ciudades intermedias: Propuesta de una red de ciclorrutas para Tunja, Colombia. *Revista Ciudades, Estados y Política*, 9(2), 117-136. 91032022000200117&lng=en&nrm=iso&tlng=es http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2462-
- Quiroz Campas, C. J., Bustos Aguayo, J. M., Juárez Nájera, M., Bolivar Mojica, E., & García Lirios, C. (2020). Modelo estructural del factor exploratorio de la percepción de movilidad en ciclovías. *Propósitos y Representaciones*, 8(1), 14. <https://doi.org/10.20511/pyr2020.v8n1.422>
- Rodríguez-Hernández, J. M., & Urrego, D. C. (2023). Medidas poblacionales para la seguridad vial: Más allá de la responsabilidad individual. *Salud UIS*, 55(1), 7. <https://doi.org/10.18273/saluduis.55.e:23033>
- Salcedo, O., Pedraza, L. F., & Hernandez, C. A. (2007). Intelligent Model Traffic Light for the City of Bogota. *2008 Electronics, Robotics and Automotive Mechanics Conference*, 11(2),

- 354-359. <https://doi.org/10.1109/CERMA.2008.99>
- Silva Díaz, H. S., & Muguera Zárate, A. V. (2021). Análisis de la movilidad urbana del centro histórico del distrito de Cajamarca, Perú. *Revista Ciudades, Estados y Política*, 8(3), 37-60. <https://doi.org/10.15446/cep.v8n3.95283>
- Siordia Galindo, S., & Galindo González, L. (2020). Impacto ambiental por el ciclismo de montaña en el bosque La Primavera y una propuesta de educación ambiental. *RIDE Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 11(21), 23. <https://doi.org/10.23913/ride.v11i21.810>
- Tanikawa Obregón, K., & Paz Gómez, D. M. (2021). El peatón como base de una movilidad urbana sostenible en Latinoamérica: Una visión para construir ciudades del futuro. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, 50, 29-34. <https://doi.org/10.15446/rbct.n50.94842>
- Valdéz Sánchez, I. C., & Pérez Dávila, E. (2021). La dinámica económica del uso de la bicicleta y su impacto en el desarrollo sostenible. *A&P Continuidad*, 8(14), 15. <https://doi.org/10.35305/23626097v8i14.296>
- Vázquez Nájera, L., Martínez Ortega, Ma. D. L. Á., & Jiménez García, M. (2021). La administración del transporte urbano: Alternativa de uso sustentada en la educación sostenible. *RIDE Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 12(22), 26. <https://doi.org/10.23913/ride.v11i22.957>
- Viterbo, R., Campolo, F., Cerutti, M., Shanker Awasthi, S., Arrigoni, S., Brambilla, M., Nicoli, M., & gu. (2025). A 5G Roadside Infrastructure Assisting Connected and Automated Vehicles in Vulnerable Road User Protection. *IEEE Open Journal of Intelligent Transportation Systems*, 6, 346-362. <https://doi.org/10.1109/OJITS.2025.3552849>
- Vizcarra Silvestre, R. F., Pajuelo Camones, C. H., Sotelo-Gonzáles, S., Valdivia Oroya De Rodríguez, N. B., & Gonzáles Walstrohm, C. J. (2024). Public policies and their ephemeral response in the cycle paths executed within the monumental area of Tacna, Perú 2023. *ESTOA*, 13(25), 201-210. <https://doi.org/10.18537/est.v013.n025.a12>

ARTÍCULO DE REVISIÓN

Aseguramiento de la calidad en la producción de guayaba (*Psidium guajava* L.): revisión literaria

Quality Assurance in Guava (*Psidium guajava* L.) Production: Literature Review

López, I.¹ , Oliva, E.²  y León, C.³ 

RESUMEN

El aseguramiento de calidad (AQ) en el sector agroalimentario constituye un conjunto de prácticas orientado a garantizar un alto nivel de calidad de la guayaba (*psidium guajava* L.) El objetivo de esta investigación es revisar las investigaciones recientes sobre sistemas y estrategias sobre el aseguramiento de la calidad aplicadas a la producción de guayaba (*psidium guajava* L.), con énfasis en México. Se realizó una revisión literaria en bases de datos: SCOPUS, Realy, SpringerLink y SciELO, considerando publicaciones de los últimos diez años; la cual se complementó con una encuesta aplicada a los productores de guayaba del municipio de Benito Juárez Michoacán. De 113 artículos recabados, se seleccionaron 20 de ellos para su análisis exhaustivo. Los resultados de dicha revisión muestran que el aseguramiento de la calidad en la guayaba está condicionada a la aplicación de sistemas como ISO 22000 y Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (HACCP), en el texto se analizan los factores los factores determinantes del nivel de calidad habiéndose identificado que existen diferencias entre regionales en infraestructura y acceso a certificaciones. Asimismo, la literatura analizada destaca avances en tecnologías post-cosecha, inteligencia artificial y recubrimientos naturales que mejoran la conservación del producto. Finalmente, este artículo realiza el análisis literario sin que exista un antecedente al propósito del mismo.

Palabras clave: aseguramiento de calidad; guayaba; exportación; revisión literaria.

ABSTRACT

Quality assurance (QA) in the agri-food sector comprises a set of practices aimed at ensuring a high level of quality in guava (*Psidium guajava* L.). The objective of this study is to review recent on quality assurance systems and strategies applied to guava production, with an emphasis on Mexico. A literature review was conducted using the databases SCOPUS, Redalyc, SpringerLink, and SciELO, considering publications from the last ten years; this review was complemented by a survey administered to guava producers in the municipality of Benito Juarez, Michoacan. Of the 113 articles collected, 20 were selected for in-depth analysis. The results of the review indicate that quality assurance in guava is conditioned by the implementation of systems such as ISO 22000 and Hazard Analysis and Critical Control Points (HACCP). The study analyzes the determinants of quality levels, identifying regional differences in infrastructure and access to certifications. In addition, the reviewed literature highlights advances in post – harvest technologies, artificial intelligence, and natural coatings that improve product preservation. Finally, this article presents a literature analysis for which no prior studies with the same purpose were identified.

Keywords: Quality Assurance; guava; export; literature review.

* Autor para correspondencia

¹ Instituto Politécnico Nacional, México. Email: janlopval@gmail.com, eoliva@ipn.mx, cleon@ipn.mx

INTRODUCCIÓN

El aseguramiento de la calidad (AQ) es un conjunto de actividades que se planifican y ejecutan dentro de un sistema de gestión para asegurar que un producto o servicio satisfaga con los requisitos establecidos. Su función principal es prevenir errores y defectos durante los procesos productivos, asegurando que el resultado final sea confiable y satisfaga las expectativas tanto técnicas como del cliente. A diferencia del control de calidad, que suele enfocarse en detectar y corregir fallas una vez que estas han ocurrido, el aseguramiento de la calidad adopta un enfoque preventivo que abarca desde la planeación hasta el mejoramiento continuo de los procesos (Juran, 2014; ISO 8402, 1994).

Dentro del sector agroalimentario, el aseguramiento de la calidad es aún mayor debido a la necesidad de garantizar la seguridad e inocuidad de los alimentos que consumimos diariamente. Este sector presenta retos particulares, como la variedad de las materias primas, la complejidad en las cadenas de producción y distribución, así como la susceptibilidad de los productos a contaminantes físicos, químicos y microbiológicos (Codex Alimentarius, 2020). Por ello, los sistemas de aseguramiento de la calidad en la agroindustria incorporan normas y prácticas internacionales, como la ISO 22000, el sistema HACCP y las Buenas Prácticas Agrícolas, que buscan no solo cumplir con las regulaciones vigentes, sino también ofrecer productos confiables y competitivos en el mercado (Arroyo Cossío, 2014). De esta manera, el aseguramiento de la calidad del sector agroalimentario contribuye a proteger la salud pública y a fortalecer la confianza del consumidor (Gómez et al., 2018).

La guayaba (*Psidium guajava* L.) es una fruta tropical de gran relevancia tanto en México como en otros países, debido a su valor económico y sus propiedades nutricionales. México se posiciona como uno de los principales productores y exportadores, lo que resalta la importancia de mantener los niveles altos de estándares de calidad para competir internacionalmente (FAO, 2022). Ante esta demanda creciente, el aseguramiento de la calidad en la producción y comercialización de guayaba se vuelve indispensable para garantizar que el producto final sea seguro, fresco y cumpla con las características que esperan los consumidores.

Este aseguramiento abarca diversas etapas, desde la siembra y cuidado del fruto, hasta su manejo después de la cosecha y la distribución, abarca aspectos como: selección del fruto, control de

plagas, manejo post-cosecha y certificaciones internacionales (Arroyo, 2014). En este proceso se aplican normas y sistemas reconocidos internacionalmente, como la ISO 22000 y el sistema HACCP, que ayudan a minimizar riesgos de contaminación microbiológica y química, asegurando la inocuidad alimentaria y prolongando la vida útil del producto (Codex Alimentarius, 2020). En México, además, la adopción de buenas prácticas agrícolas y programas de trazabilidad ha fortalecido la calidad de la guayaba, mejorando su competitividad tanto en mercados locales como internacionales (SAGARPA, 2021).

Con base a los antecedentes el objetivo de esta investigación fue analizar trabajos de investigación fundados en el aseguramiento de calidad alimentaria de frutas, sus principales estrategias y sistemas de aseguramiento de la calidad aplicados a la guayaba en México y en otros países, con el fin de identificar prácticas que contribuyen a mejorar la producción y comercialización, y así favorecer la aceptación del producto en mercados cada vez más exigentes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño del estudio

Se empleó el método de revisión sistemática de la literatura, el cual, de acuerdo con Frías (2011), se fundamenta en la recopilación, evaluación crítica y síntesis de la evidencia científica, más sólida disponible sobre el tema específico. Este método permite identificar tendencias, vacíos de conocimiento y aportes relevantes en el área del aseguramiento de la calidad en alimentos, particularmente en frutas.

Estrategia de búsqueda

La búsqueda bibliográfica se llevó a cabo de manera exhaustiva en las bases de datos académicas SCOPUS, REDALYC, SpringerLink y SciELO, seleccionadas por su relevancia y cobertura en el ámbito de las ciencias alimentarias y agrícolas. Se utilizó como palabra clave principal en español la expresión “aseguramiento de calidad en frutas”, aplicada en los campos de título, resumen y palabras clave, según la disponibilidad de cada plataforma.

Criterios de elegibilidad

Para la selección de los artículos se establecieron criterios de inclusión y exclusión claramente definidos. Se incluyeron artículos científicos publicados entre 2014 y 2025, redactados en idioma español, que abordaran el aseguramiento de la calidad en alimentos, con énfasis en frutas, y que contaran con acceso al texto completo. Se excluyeron artículos de opinión, editoriales,

publicaciones duplicadas y aquellos que no presentaban una relación directa con el tema de estudio.

Proceso de selección de estudios

El proceso de selección se desarrolló en varias etapas. En primer lugar, se realizó una revisión inicial de los títulos y resúmenes para identificar estudios potencialmente relevantes. Posteriormente, se efectuó la lectura completa de los criterios de inclusión. Los artículos duplicados fueron eliminados y solo se consideraron aquellos que cumplieran plenamente con los criterios establecidos.

Análisis de datos

El análisis de datos se llevó a cabo identificando y extrayendo la información más relevante de cada artículo, considerando aspectos como los autores, año de publicación, tema de estudio y país de origen. Posteriormente, se realizó una síntesis cualitativa con el propósito de identificar los principales sistemas, estrategias y desafíos relacionados con el tema. Los artículos se organizaron en categorías temáticas, lo que permitió identificar de manera más clara los patrones y enfoques predominantes en la literatura.

De manera complementaria, se aplicó un cuestionario de 10 preguntas a productores de guayaba del municipio de Benito Juárez Michoacán, con el fin de corroborar las estrategias del aseguramiento de calidad identificadas en la revisión bibliográfica. El objetivo del cuestionario fue conocer la forma de trabajo de los trabajadores respecto a las prácticas de aseguramiento de calidad de la guayaba destinada a la exportación.

RESULTADOS

En la figura 1. Se muestra el método de selección de artículos en una revisión literaria. Se inició con 113 artículos obtenidos de la búsqueda en las bases de datos, 53 fueron de SCOPUS, 38 fueron de Redalyc, 20 de SciELO y 2 de Springer. Se excluyeron 75 artículos publicados antes del 2010 y 18 por no tener acceso abierto, quedando como resultado la selección de 20 artículos académicos para el análisis de la revisión.

Figura 1.

Metodología de la selección y revisión de la revisión



Nota: La figura describe la metodología para revisión literaria. Adaptado de Kunz y Reiner, 2012

En la tabla 1 se presentan 20 artículos relacionados con el aseguramiento de la calidad alimentaria (comida, frutas y verduras), publicados entre 2014 y 2025. Se incluyeron detalles como el título, la autoría, país de realización, entre ellos México, Italia, España, India, Portugal e Italia y los principios que se abarcan en cada artículo. Los temas abarcan diversos temas dentro del sector agroalimentario, mostrando aplicaciones en áreas como la distribución geográfica, sistemas de aseguramiento de calidad alimentaria, modelos logísticos, planes de aseguramiento y revisión de literatura. Esto evidencia la flexibilidad y adaptabilidad de los principios de aseguramiento de calidad, aplicables a distintos contextos y sectores de la cadena productiva.

Tabla 1.

Artículos revisados según autoría, año, país de procedencia y principios de aseguramiento de calidad

NO.	Artículo	Autor y año	País	Principios de aseguramiento de calidad
1	La calidad en el sistema agroalimentario globalizado	Hernández & Villaseñor (2014)	México	Destaca la necesidad de contar con sistemas de garantía de calidad que cumplan con los requisitos tanto globales como locales.
2	Modelo de transporte para la distribución de guayaba (<i>psidium guajava L.</i>) en México.	(Quintero et al., 2016)	México	Propuesta de modelo logístico eficiente para reducir los costos y tiempos de distribución.
3	La industria alimentaria en México: comportamiento y distribución geográfica durante 1999-2014.	Hernández & Pérez (2020)	México	Distribución geográfica de la industria alimentaria en México.
4	La gestión de la calidad en las empresas industriales de Latinoamérica y España, en los últimos 10 años: una revisión de literatura científica.	(Heshiki,2020)	Latinoamérica y España	Analiza la gestión de calidad en las empresas industriales.

5	La industria alimentaria en México: comportamiento y distribución geográfica durante 1999-2014.	(Hernández y Pérez, 2020)	México	Analiza el comportamiento de la industria alimentaria en México y su distribución geográfica durante cuatro quinquenios: 1999, 2004, 2009 y 2014.
6	Aseguramiento de la calidad bajo el plan de análisis de peligros y puntos críticos de control para proceso de elaboración de fideos.	(Cabreros y Cabreros, 2020)	España	Revisión de artículos científicos sobre modelos de gestión que utilizan las distintas universidades de América Latina diferenciándose por la capacidad de administrar recursos.
7	Caracterización de la guayaba cultivada en México	(Suárez et al., 2022)	México	Realiza un estudio de la caracterización física de la guayaba originaria de Michoacán.
8	Impacto de los recubrimientos comestibles en la calidad y vida útil de frutas y verduras frescas.	(Chicaiza, 2022)	México	Contribuye a la comprensión de los factores sociales en el aseguramiento de la calidad y producción orgánica y hortalizas en México.
9	Conservation of commercial quality and bioactive compounds of guava pieces by application of an alginate acemanan coating.	(Luna et al., 2023)	México	Aplicación de un recubrimiento de alginato-acemánann en la conservación de la calidad comercial y de los compuestos bioactivos de trozos de guayaba.
10	Relevamiento sobre sistemas de gestión de calidad e inocuidad alimentaria en Latinoamérica y la Unión Europea.	(Moreno y Rubel., 2023)	Latinoamérica y España	Analiza las publicaciones científicas sobre sistemas de gestión de calidad (SGC) y sistemas de gestión de inocuidad alimentaria (SGIA) en la Unión Europea y Latinoamérica entre los años 2017 y 2021.
11	Propuesta de mejora del plan de calidad para la sección verduras en cadena de supermercados.	(Cabreros et al., 2023)	España	Propone una mejora al plan basado en el D.S.N 007-98-S.A, reforzando la calidad de las verduras comercializadas en supermercados de la ciudad de LAMBAYEQUE.
12	Fruit quality assessment base don mineral elements and juice propeties in nine citrus cultivars.	(Jiuxin et al., 2023)	China	Realiza un análisis cuantitativo de las numerosas características de calidad de los cítricos para promover la producción sostenible y evalúa de forma integral la calidad de los distintos indicadores de la fruta en diferentes cultivares de cítricos.
13	New Approaches for Improving the Quality of Processed Fruits and Vegetables and Their By-Products	(Miller et al., 2023)	EE.UU	Realizó un análisis de 15 artículos de cómo los productos pueden contaminarse a lo largo de la ... cadena de suministro además, se verifican los tratamientos para minimizar el problema.
14	Food Quality and Safety: Advances in Analytical Methods and Applications	(Sorbo et al., 2023)	Italia	Ofrece un panorama de 20 años de publicaciones y cómo se vincula con calidad y los sistemas agroalimentarios.
15	Análisis de cambio en la dieta mexicana: pérdida y desperdicio de alimentos en México y su impacto ambiental	(Valencia et al., 2024)	México	Analiza los cambios en la dieta mexicana y los niveles de pérdida y desperdicio de alimento (PDA/FLW) y cómo afectan el medio ambiente (deforestación, emisiones de gases de efecto invernadero) mediante el modelado de escenarios usando la herramienta calculadora FABLE).

16	La calidad e inocuidad en los frutos michoacanos de exportación análisis normativo.	(Suárez et al., 2024)	México	Normas de calidad e inocuidad para la exportación de frutos. Tecnología, Ciencias y Estudios Organizacionales.
17	Changes in fruit properties and phytochemical substances of kiwifruit (<i>Actinidia deliciosa</i>) grown in different agro-ecological conditions during cold storage.	(Burhan, O., Murat, K y Erdal, A.(2024)	España	Cultivo de kiwi en la provincia de Yalova, en diferentes condiciones agroecológicas durante el almacenamiento en frío.
18	Evolution of Food Labeling Research and current Publication Trends: A Scientometric Analysis	(Kumar y Wan, 2024)	India	Investigación sobre el etiquetado de alimentos, lo cual es un componente clave de la calidad percibida, transparencia y confianza del consumidor.
19	Evaluation of fruit bunch bagging techniques for improvement of loquat fruit quality.	(Hussain et al., 2024)	China	Mejoras de calidad de fruta (níspero) mediante una técnica de producción (embolsado del racimo/fruto).
20	Identificación de defectos de calidad en frutos de aguacate “Hass” mediante procesamiento de imágenes	León et al. (2024)	México	Contribuye al control y mejora de la calidad de los productos agroalimentarios.

Nota. Los hallazgos muestran que el aseguramiento de la calidad constituye un componente de mayor impacto en la exportación de la fruta mexicana hacia el mercado global.

Tabla 2.

Artículos revisados según objetivo, metodología, hallazgos y aportes relevantes.

	Objetivo	Metodología	Hallazgos	Aportes relevantes
1	Analizar la evolución, comportamiento y distribución territorial de la industria alimentaria.	Análisis estadístico y geográfico de datos económicos y productivos del sector alimentario.	Se observó una concentración industrial en regiones urbanas y estados del centro-norte; crecimiento desigual entre regiones.	El desarrollo de la industria alimentaria refleja disparidades regionales y depende de infraestructura, inversión y políticas públicas.
2	Examinar cómo la globalización afecta la calidad en los sistemas agroalimentarios y las cadenas de suministro.	Análisis teórico y revisión documental sobre normas de calidad y globalización alimentaria.	La calidad se redefine bajo estándares internacionales, priorizando la inocuidad y trazabilidad.	La globalización impulsa la homogenización de estándares, pero puede excluir a pequeños productores locales.
3	Desarrollar una metodología de procesamiento de imágenes para detectar defectos en aguacates “Hass”.	Aplicación de visión artificial, algoritmos de segmentación y análisis de color y textura.	Alta precisión en la detección superficiales, reducción del error humano en clasificación.	El uso de visión computacional optimiza el control de calidad post-cosecha y mejora la eficiencia en la industria.
4	Evaluar el efecto de recubrimientos comestibles sobre la conservación de	Revisión de literatura y análisis de estudios experimentales sobre	Los recubrimientos prolongan la vida útil, reducen la pérdida de	Los recubrimientos naturales son una alternativa sustentable

	productos frescos.	diferentes recubrimientos naturales	peso y conservan las propiedades sensoriales.	para reducir pérdidas post-cosecha y uso de plásticos.
5	Evaluar el efecto de recubrimientos de alginato-acemanano en la conservación de la guayaba cortada.	Estudios experimentales con análisis- químico y microbiológico durante el almacenamiento.	El recubrimiento mantuvo la firmeza, color y compuestos bioactivos de la guayaba por más tiempo.	Los recubrimientos combinados de biopolímeros son eficaces para mantener calidad y valor nutricional en frutas mínimamente procesadas.
6	Diseñar un modelo de transporte óptimo para la distribución de guayaba en el país.	Aplicación de modelos matemáticos de optimización y análisis logístico	Se logró identificar rutas y centros de distribución más eficientes, reduciendo costos y tiempos de traslado	El modelo mejora la competitividad del sector guayabero y contribuye a una cadena de suministro más sostenible.
7	Analizar las características físicas, químicas y genéticas de las variedades de guayaba en México.	Estudio con análisis fisicoquímico y genético de muestras de diferentes regiones.	Se identificó una amplia diversidad varietal con diferencias en contenido de azúcares, acidez y compuestos bioactivos.	La caracterización aporta información clave para la mejor genética, comercialización y denominaciones de origen.
8	Evaluar la evolución de la dieta mexicana y los efectos del desperdicio alimentario sobre el ambiente.	Análisis estadístico y ambiental de datos de consumo y pérdida alimentaria.	Aumento en el consumo de ultraprocesados y mayor generación de residuos alimentarios.	El desperdicio alimentario incrementa la huella de carbono y la presión sobre recursos naturales; urge promover políticas de consumo responsable.
9	Comparar la implementación de sistemas de gestión de calidad e inocuidad en el sector alimentario.	Estudio comparativo mediante encuestas y revisión documental de normativas (ISO 22000, HACCP, BRC).	Mayor madurez y cumplimiento normativo en la UE frente a los países latinoamericanos, donde persisten brechas tecnológicas.	Se requiere fortalecer la capacitación y la infraestructura en América Latina para homologar estándares internacionales.
s	Analizar la evolución y tendencias la evolución y tendencias en la gestión de la calidad industrial en la última década.	Revisión sistemática de literatura de literatura científica entre 2010-2020.	Se evidencian avances en certificaciones ISO y cultura de mejora continua, aunque con diferencias entre regiones.	Las empresas españolas muestran mayor madurez en gestión de calidad; en Latinoamérica, los avances son más lentos pero sostenidos.
11	Analizar la evolución, concentración y distribución territorial de la industria alimentaria mexicana entre 1999 y 2014.	Análisis estadístico y geográfico con datos del INEGI y censos económicos	Se detectó concentración de la industria en zonas urbanas e industriales del centro y norte del país; el sur presenta menor desarrollo.	Las desigualdades regionales reflejan diferencias en infraestructuras, inversión y políticas públicas; se requiere una planeación territorial más equitativa.
12	Evaluar el cumplimiento de normas nacionales e internacionales sobre calidad	Revisión documental y análisis normativo (SENASICA, USDA,	Michoacán ha avanzado en certificaciones de	El fortalecimiento normativo y la capacitación de

	e inocuidad en la exportación de frutos de Michoacán (aguacate, fresa, zarzamora).	Codex Alimentarius, Global G.A.P)	calidad, pero persisten desafíos en trazabilidad y control fitosanitario.	productores son claves para mantener competitividad internacional.
13	Diseñar un plan de mejora del sistema de calidad en la sección de verduras de una cadena de supermercados.	Diagnóstico de procesos, análisis de fallos (AMFE) y rediseño de plan de calidad.	Se identificaron deficiencias en el control de temperatura, almacenamiento y manipulación.	La implementación de nuevas medidas y auditorías internas mejora la inocuidad y reduce el desperdicio alimentario.
14	Aplicar el sistema HACCP para asegurar la calidad e inocuidad en la producción de fideos.	Implementación del plan HACCP con identificación de peligros biológicos, químicos y físicos.	Se determinaron puntos críticos en la cocción y el empaquetado; las medidas correctivas redujeron riesgos de contaminación.	El HACCP es una herramienta eficaz para garantizar la inocuidad en productos procesados y mejora la confianza del consumidor.
15	Analizar cómo las condiciones agroecológicas influyen en las propiedades físico-químicas y compuestos bioactivos del kiwi durante el almacenamiento en frío.	Estudio experimental con análisis fisicoquímico y de fitoquímicos en frutas de diferentes regiones.	Las condiciones de cultivo afectan significativamente la textura, contenido de vitamina C y antioxidantes durante la conservación.	La procedencia y el manejo post-cosecha determinan la calidad final del kiwi; se recomienda adaptar las condiciones de almacenamiento según el origen.
16	Evaluar la calidad de nueve cultivares de cítricos a partir del contenido mineral y propiedades del jugo.	Estudio experimental con análisis fisicoquímico y mineral de frutas.	Se observaron diferencias significativas en CA, mg, K y acidez entre cultivares, lo que influye en sabor y conservación.	La composición mineral es un indicador confiable de la calidad y valor nutricional de los cítricos.
17	Presentar nuevas tecnologías para mejorar la calidad de frutas y verduras procesadas y aprovechar sus subproductos.	Revisión de innovaciones en procesamiento (alta presión, ultrasonido, secado inteligente, biotecnología).	Las tecnologías emergentes conservan mejor los compuestos bioactivos y reducen el desperdicio.	La valorización de subproductos permite una producción más sostenible y eficiente en la industria alimentaria.
18	Revisar los avances recientes en métodos analíticos para el control de calidad e inocuidad alimentaria.	Revisión científica sobre técnicas instrumentales (espectroscopía, cromatografía, sensores, IA).	Nuevas técnicas ofrecen mayor precisión, rapidez y trazabilidad en la detección de contaminantes.	La integración de análisis multitécnica e inteligencia artificial revoluciona el control de calidad y seguridad alimentaria.
19	Analizar las tendencias científicas en la investigación sobre etiquetado alimentario.	Análisis bibliométrico (Scopus, Web of Science) con redes de coautoría y palabras clave.	El interés en etiquetado nutricional, sostenibilidad y transparencia ha crecido notablemente desde 2020.	La investigación actual se centra en el impacto del etiquetado sobre las decisiones del consumidor y políticas públicas.
20	Evaluar el efecto embolsado de racimos en la calidad del fruto de níspero (loquat).	Ensayo experimental comparando distintos materiales de embolsado y sus efectos post-cosecha.	El embolsado redujo daño mecánico y mejoró color, firmeza y dulzura del fruto.	Las técnicas de embolsado son una práctica efectiva, económica y sostenible para mejorar la calidad de frutas tropicales.

Nota: Se presentan los artículos relacionados con los objetivos, metodología, los hallazgos encontrados y los aportes relevantes de cada artículo.

Tabla 3.

Clasificación de países por número de artículos publicados

Ranking	Cantidad de Artículos	País
1	10	México
2	3	España
3	2	China
4	2	Latinoamérica y España
5	1	Italia
6	2	Portugal
7	1	India

Nota: La imagen presentada sintetiza la clasificación de los países por número de artículos publicados, donde se puede observar que México ocupa el primer lugar de acuerdo al tema de aseguramiento de calidad en las frutas para exportación.

De acuerdo a la aplicación del cuestionario se obtuvieron los siguientes resultados:

La selección de la fruta. El 63% de los productores indicó que realiza la selección de la fruta conforme a los criterios establecidos en la norma de calidad, considerando aspectos como tamaño, color, firmeza y ausencia de defectos físicos. El 37% reconoció que la selección se efectúa de acuerdo a la experiencia del personal y no en parámetros técnicos estandarizados. Lo que refleja la necesidad de fortalecer la capacitación en la aplicación de normas de calidad para garantizar la homogeneidad del producto.

El lavado y etiquetado de fruta. En relación con el lavado, el 30% de los encuestados manifestó utilizar agua clorada o con desinfectantes aprobados para uso alimentario, mientras que el 70% restante no lava la fruta.

El empaque. El 80% de los productores utiliza materiales de empaque (cajas de madera) que no protegen la fruta durante el almacenamiento y transporte. No obstante, el 20% utiliza empaque adecuado (plástico y cartón reforzado), que protege la fruta durante el almacenamiento y transporte. El transporte. El 80% de los productores reportó contar con vehículos limpios y acondicionados para mantener la fruta en buen estado durante el traslado. El 25% restante reconoció limitaciones, principalmente por la falta de unidades con control de temperatura o protección contra la contaminación cruzada.

DISCUSIÓN

El análisis de la literatura revela que el aseguramiento de la calidad en la cadena productiva de la guayaba en México esta influido por factores estructurales, tecnológicos y normativos que reflejan tanto los avances en la gestión agroalimentaria como las desigualdades regionales y de infraestructura. Hernández y Pérez (2020) evidencian una marcada concentración industrial en regiones urbanas del centro y norte del país, lo que sugiere que las áreas productoras del sur, tradicionalmente dedicadas al cultivo de guayaba, enfrentan limitaciones para integrarse plenamente a los sistemas de calidad y distribución eficientes.

En el contexto de la globalización agroalimentaria, Hernández y Villaseñor (2014) destacan la redefinición del concepto de calidad bajo estándares internacionales de inocuidad y trazabilidad. Esto se refuerza con los hallazgos de Moreno y Rubel (2023), quienes comparan la situación latinoamericana con la de la Unión Europea y señalan brechas tecnológicas y de capacitación que limitan la homologación de estándares. En el caso mexicano., Suárez et al., (2024) reporta avances en certificaciones fitosanitarias para frutos de exportación, aunque persisten desafíos en trazabilidad y control de plagas, lo que pone de manifiesto la necesidad de políticas de apoyo técnico y financiero más efectivas.

En cuanto a los aspectos tecnológicos del aseguramiento de la calidad, se observa un creciente interés en la implementación de herramientas innovadoras para el control post-cosecha. León et al.(2024) y Sorbo et al., (2023) evidencian que el uso de procesamiento de imágenes, inteligencia artificial y métodos analíticos multitécnica mejora la precisión y rapidez en la detección de defectos y contaminantes. De igual forma, Miller et al., (2023) y Chicaiza (2022) destacan el potencial de las tecnologías emergentes y los recubrimientos de alginato y acemanato en la conservación de la calidad y compuestos bioactivos de la guayaba. Por otro lado, estudios como Quintero et al., (2016) y Cabreros et al., (2023) resalta la importancia de optimizar la logística y el manejo post-cosecha como parte esencial del aseguramiento de la calidad.

La caracterización varietal realizada por Suárez et al., (2022) aporta evidencia sobre la diversidad genética y fitoquímica de la guayaba en México, lo cual abre oportunidades para desarrollar denominaciones de origen y estrategias de diferenciación comercial. En conjunto con los hallazgos de Burhan et al., (2024) y Jiuxin et al., (2023) quienes demuestran la influencia de las condiciones agroecológicas y la composición mineral en la calidad del fruto, se confirma que la calidad de la guayaba depende no solo del manejo post-cosecha, sino también de las condiciones de cultivo y el

entorno productivo. Finalmente, desde un enfoque macro, los estudios de Valencia et al., (2024) y Kumar y Wan (2024) aportan una perspectiva sobre el impacto ambiental de la industria alimentaria. El aseguramiento de la calidad de la guayaba no debe limitarse a los parámetros físicoquímicos del fruto, sino sino incorporar aspectos ambientales, sociales y de consumo responsable.

CONCLUSIONES

La literatura revisada muestra una evolución significativa hacia la adopción de tecnologías y estándares internacionales en la cadena de producción y distribución de la guayaba en México. No obstante, persisten desafíos estructurales vinculados con la desigualdad regional, la capacitación técnica y la homologación normativa. La integración de innovaciones como los recubrimientos biopoliméricos, la visión computacional y los modelos logísticos eficientes constituye una oportunidad para mejorar la calidad, reducir pérdidas y fortalecer la sostenibilidad del sector. El aseguramiento de la calidad de la guayaba mexicana, por tanto, requiere un enfoque integral que combine ciencia, tecnología y políticas orientadas al desarrollo equitativo y competitivo del agro nacional.

El aseguramiento de la calidad en la producción de guayaba constituye un elemento esencial para garantizar la inocuidad, frescura y competitividad del producto en mercados nacionales e internacionales Cabrejos y Cabrejos (2020).

La revisión sistemática evidenció que la aplicación de sistemas como ISO 22000, HACCP y las buenas prácticas agrícolas mejora significativamente los procesos productivos, reduciendo riesgos de contaminación y pérdidas post-cosecha.

En México, los principales desafíos se relacionan con la desigualdad regional en infraestructura, la limitada inversión tecnológica y el acceso restringido a certificaciones, lo que afecta la integración de pequeños productores a los mercados globales.

Las tecnologías, como la inteligencia artificial, el análisis multitécnico y los recubrimientos naturales, representan herramientas prometedoras para optimizar la calidad del fruto y prolongar su vida útil.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arroyo, C.A.J. (2014). Adopción de estándares de inocuidad alimentaria en la producción de frutas y hortalizas orgánicas de México: Un enfoque de redes [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Baja California].
- Burhan, O., Murat, K., & Erdal, A. (2024) Changes in fruit quality properties and phytochemical substances of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) grown in different agro- ecological conditions during cold storage. *BMC Plant Biology* 795. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05507-5> BioMed Central
- Cabrejos, B.E.M., & Cabrejos, B.A. (2020). Aseguramiento de la calidad bajo el plan de análisis de peligros y puntos críticos de control para proceso de elaboración de fideos. *Revista Pakamuros*, 8(1),56-68. <https://doi.org/10.37787/pakamuros-unj.v8i1.115>.
- Cabrejos, B.E.M., Cabrejos, B.A., Ludeña, G.A.L. & Fernández, R.F. (2023). Propuesta de mejora del plan de calidad para la selección verduras en cadena de supermercados. *Revista Científica Pakamuros*, 11(2). . <https://doi.org/10.37787/s0yzc641>
- Chicaiza, S.A.A. (2022). Impacto de los recubrimientos comestibles en la calidad y vida de útil de frutas y verduras frescas, *Focusscience*, 1(1). <http://doi.org/10.56519/6w2mc875>
- Frías- Navarro, D., & Monterde-i, Bort.H. (2014). *Revisiones sistemáticas: Introducción al meta – análisis*(Cap. VI). En D. Frías-Navarro, M. Pascual- Soler, L. Badenes-Ribera y H.M. Monterde-iBort (EDS), *Reforma estadística en Psicología*(Cap. VI). Palmero Ediciones.
- Gómez, M.P., & Martínez, L. (2018). Sistemas de calidad como estrategia competitiva en la agroindustria alimentaria. *Revista Agroindustrial*, 12(2), 45-58. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-54722018000100019.
- Hernández, C.C. & Pérez, S.A. (2020). La industria alimentaria en México: Comportamiento y distribución geográfica durante 1999-2014. *Estudios Sociales: Revista de Alimentacion Contemporanea y Desarrollo Regional*, 30(56), 1-33. <https://doi.org/10.24836/es.v30i56.1037>.

- Hernández, M., & Villaseñor, M. (2014). La calidad en el sistema agroalimentario globalizado. *Revista Mexicana de Sociología*, 76(4), 557-582. <https://www.redalyc.org/pdf/321/32132467002.pdf>
- Heshiki, N. (2020). La gestión de calidad en las empresas industriales de Latinoamérica y España, en los últimos 10 años: *Una revisión de literatura científica*. (Repositorio de la Universidad Privada del Norte). <https://repositorio.upn.edu.pe/item/9284b431-2c3f-415b-b26a-330592175ab8>.
- Hussain, T., Irfan, A.I., Ahmad, I., Liaquat, M., Tahir, A.M., & Ali, I. (2024). Evaluation of fruit brunch bagging techniques for improvement of loquat fruit quality. *Journal of Applied Research in Plant Sciences*, 5(1), 79-85. <https://doi.org/10.38211/joarps.2024.05.212>.
- Jiuxin, G., Yiling, J., Shuozen, Z., Haitao, J., Yuwen, W., Yamin, J., Hua, Z., Yuying, J., Wenqiang, L., & Li. (2023). Fruit quality assessment based on mineral elements and juice properties in nine citrus cultivars. *Frontiers in Plant Science*, 14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1280495>
- Jurán, J.M (2014). *Juran's quality handbook: The complete guide to performance excellence*: McGraw-Hill Education. <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071629737>.
- Kumar, P.B., & Wan, M. (2024). Evolucion of food labeling research and current publication trends: A scientometric analysis. *Journal of Scientometric Research*. 13 (2). https://jscires.org/article/7428/?utm_source=chatgpt.com
- Kunz, N., & Reiner, G. (2012). A meta-analysis of humanitarian logistics research. *Journal of humanitarian logistics and Supply Chain Management*, 2(2), 116-147. <https://doi.org/10.1108/20426741211260723>.
- León, B., & García, M. (2024). Identificación de defectos de calidad en frutos de aguacate “Hass” mediante procesamiento de imágenes. <http://doi.org/10.19136/era.a11nIV.4130>.
- Luna, Z. E., Fuentes, R.M; Sierra, C.E., Marszalek, J.E., Barraza, G.S., & Meza, V.J. (2023). Conservación of comercial quality and bioactive compounds of guava pieces by application of an alginate-acemannan coating. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici*

Cluj-Napoca.51(1).

https://notulaebotanicae.ro/index.php/nbha?utm_source=chatgpt.com.

Miller, F.A., Brandão, T.R.S., & Silva, C.L.M. (2023). New Approaches for Improving the Quality of processed fruits and vegetables and their by-products. *Foods*, 12(7). <https://doi.org/10.3390/foods12071353>

Moreno, L., & Rubel, I.A. (2024). Relevamiento sobre sistemas de gestión de calidad e inocuidad alimentaria en Latinoamérica y la Unión Europea. *Alimentos Ciencia e Ingeniería*, 30(2), 21-43. DOI:10.31243/aci.v30i2.1967

Quintero, R.J.M., Omaña, S.J.M & Sangerman, J.D.M. (2016). Modelo de transporte para la distribución de guayaba (*Psidium guajava L.*) en México. *Revista mexicana de ciencias Agrícolas*, 7(6), 1335-1346. <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i6.181>.

Sorbo, A., Zoani, C., & Passeri, D. (2023). *Food Quality and safety: Advances in analytical methods and applications*. *Separations, Foods*.10(5), 315. <https://doi.org/10.3390/separations10050315>.

Suárez, E.B.C., Saucedo, G.M.E., Villalobos, C.M.M., Mondragón, E.B. y Vergara, H.P.M. (2024). La calidad e inocuidad en los frutos michoacanos de exportación: análisis normativo. *Tecnología, Ciencia y Estudios Organizacionales*, 6(11) 25-40. <https://doi.org/10.56913/teceo.6.11.25-40>

Suárez-Toledo, J.R., Hernández-Aguilar, C., Domínguez- Pacheco, F.A., & Aceves-Hernandez, F.J. (2022). Caracterización de la guayaba cultivada en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 13(7), 1-15. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i7.3039>.

Valencia, S.Y., González, A.C.E., Torres, R. J.M., Hernández, O.J., Gómez, A.A & Leos, R. (2024). Análisis del cambio en la dieta mexicana: Pérdida y desperdicio de alimentos en México y su impacto ambiental. *Estudios sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 34(64). <https://doi.org/10.24836/es.v34i64.1454>.

ARTÍCULO DE REVISIÓN

Innovación sostenible en geotecnia: Comportamiento de suelos arcillosos estabilizados con aditivos orgánicos y subproductos agroindustriales

Sustainable innovation in geotechnics: Behavior of clay soils stabilized with organic additives and agroindustrial byproducts

Isla, J.¹ 

RESUMEN

La estabilización de suelos arcillosos es un reto permanente en obras civiles debido a su plasticidad, baja capacidad portante y variaciones volumétricas por humedad. Ante el impacto ambiental y económico de estabilizantes tradicionales (cemento y cal), se ha incrementado el interés por aditivos orgánicos biopolímeros, residuos lignocelulósicos, enzimas y melaza como alternativas más sostenibles. Estos compuestos, generalmente derivados de fuentes vegetales o subproductos industriales, interactúan con las partículas del suelo mediante enlaces físicos y químicos que mejoran la compactación, la resistencia y reducen la permeabilidad. En esta revisión se sintetizan los hallazgos recientes sobre rendimiento, mecanismos de acción y aplicabilidad práctica de estos aditivos en suelos arcillosos, con énfasis en sus ventajas potenciales frente a los estabilizantes convencionales. La presente revisión sistematiza los hallazgos más relevantes de los últimos cinco años, concluyendo que aditivos como la goma xantana y goma guar ofrecen los mejores rendimientos en resistencia a la compresión ($UCS > 290$ kPa), mientras que los residuos agroindustriales representan la opción más viable económicamente para caminos rurales, validando así su potencial como sustitutos ecológicos efectivos.

Palabras clave: Mejoramiento de subrasantes; pavimentos ecológicos; índice CBR; plasticidad de arcillas; biotecnología vial.

ABSTRACT

The stabilization of clayey soils is a persistent challenge in civil engineering due to their plasticity, low bearing capacity, and moisture-induced volumetric changes. Given the environmental and economic impacts of traditional stabilizers (cement and lime), interest has increased in organic additives biopolymers, lignocellulosic residues, enzymes, and molasses as more sustainable alternatives. These compounds interact with soil particles through physical and chemical bonds that improve compaction, enhance strength, and reduce permeability. This review synthesizes recent findings from the last five years, concluding that additives such as xanthan gum and guar gum offer the best performance in unconfined compressive strength ($UCS > 290$ kPa), while agro-industrial residues represent the most economically viable option for rural roads, thus validating their potential as effective eco-friendly substitutes.

Keywords: Subgrade improvement; eco-friendly pavements; CBR index; clay plasticity; road biotechnology.

* Autor para correspondencia

¹ Universidad Católica Sedes Sapientiae, Perú. Email: 2021101636@ucss.pe

INTRODUCCIÓN

La ingeniería geotécnica contemporánea se enfrenta al constante desafío de mejorar la calidad de los suelos naturales, especialmente aquellos que presentan condiciones poco favorables para la construcción. Entre estos, los suelos arcillosos ocupan un lugar destacado por su alta plasticidad, baja capacidad portante, baja permeabilidad y elevada susceptibilidad a la expansión y contracción con los cambios de humedad (Oliveira & Costa, 2024). Esta problemática se vuelve especialmente crítica en regiones tropicales y subtropicales donde la variabilidad climática acentúa el comportamiento impredecible de estos suelos (Atahu, M. K., 2022).

En la estabilización de suelos, los métodos convencionales suelen apoyarse en estabilizantes inorgánicos tales como cal, cemento Portland o materiales bituminosos. Sin embargo, el elevado impacto económico y ambiental asociado a estos materiales ha impulsado la búsqueda de opciones más sostenibles (Nazir et al., 2022). En el contexto peruano, donde el transporte de insumos tradicionales resulta oneroso en zonas rurales o montañosas, se vuelve especialmente relevante explorar estabilizantes alternativos.

En la última década, la atención científica se ha orientado hacia el uso de aditivos orgánicos para mejorar el comportamiento geotécnico de los suelos. Entre estos estabilizantes naturales se incluyen biopolímeros, enzimas, lignosulfonatos, residuos agroindustriales y subproductos vegetales, que han mostrado resultados alentadores en suelos arcillosos (Fatehi et al., 2021). Estos compuestos actúan mediante mecanismos fisicoquímicos por ejemplo, formando enlaces moleculares entre partículas, compactando granos finos o generando redes gelificadas, lo que incrementa la resistencia y la estabilidad del suelo tratado. Además, su naturaleza biodegradable y renovable representa una clara ventaja ambiental, ayudando incluso a la mitigación de la erosión en taludes (Al-Mahasneh et al., 2024; Kumar et al., 2024).

Numerosos ensayos han evaluado la adición de estos aditivos en distintos suelos y climas. Los resultados varían según la fuente orgánica, su dosis, el tipo de suelo y el tiempo de curado (Zhang et al., 2024). Sin embargo, en general se concluye que es posible obtener mejoras significativas en las propiedades mecánicas y volumétricas del suelo. Investigaciones recientes han confirmado que, con las dosificaciones y el curado adecuados, estos aditivos biológicos refuerzan notablemente los suelos locales (Islam, M. A., et al., 2022).

Esta revisión se propone recopilar y analizar los avances más importantes en la aplicación de compuestos orgánicos a suelos arcillosos. A partir del estudio de la literatura especializada reciente, se busca demostrar que este enfoque es viable tanto técnica como económicamente, perfilando una línea de investigación capaz de ofrecer soluciones reales en zonas donde los recursos convencionales no siempre son factibles ni sostenibles.

MATERIALES Y MÉTODOS

Criterios de exclusión

El proceso de elección y análisis de la literatura científica, establecimos ciertos criterios para descartar trabajos que no cumplen con los parámetros de la metodología y temática. Estos parámetros nos permiten garantizar la calidad y aplicabilidad de las investigaciones que fueron seleccionadas.

Se excluyeron los siguientes tipos de investigaciones:

1. Tesis de grado, trabajos académicos no publicados, presentaciones o posters: A pesar de que algunas contenían información relevante, se descartaron por no haber sido sometidas a revisión por pares ni publicadas en revistas científicas reconocidas, siguiendo la normativa editorial vigente.
2. Resúmenes de congresos o artículos en prensa: Se evitaron investigaciones sin datos completos o sin acceso al texto completo, ya que no permitían evaluar adecuadamente los métodos empleados ni la validez de sus resultados.
3. Artículos anteriores al año 2020: Con el fin de mantener la actualidad del enfoque y cumplir con los estándares de sostenibilidad recientes, solo se consideraron estudios publicados entre 2020 y 2025, dando preferencia a investigaciones de los últimos tres años.
4. Estudios sin información metodológica: Artículos que no reportaban claramente las condiciones de curado o la dosificación fueron excluidos para evitar sesgos.

La Tabla 1 presenta un resumen de los artículos científicos más relevantes considerados en esta revisión. Cada una de estas investigaciones evaluó la influencia de un aditivo orgánico como biopolímeros, estabilizantes enzimáticos o residuos agrícolas en el comportamiento geotécnico de distintos tipos de suelos arcillosos. La tabla destaca la diversidad de enfoques metodológicos, los

países de origen de los estudios, los tipos de suelo tratados y los métodos de laboratorio utilizados para medir mejoras en parámetros como la resistencia a la compresión no confinada (UCS), el índice de soporte California (CBR), la plasticidad, la cohesión, la permeabilidad y el hinchamiento. Estas referencias constituyen la base del análisis comparativo que se presenta en las siguientes secciones del manuscrito.

Tabla 1

Resumen de artículos

País	Autor(es)	Aditivo orgánico	Tipo de suelo	Propiedades evaluadas	Métodos de ensayo utilizados
India	(Patel et al., 2023)	Goma guar	Arcilla expansiva	UCS, CBR, IP	ASTM D2166, ASTM D1883
China	(Chen et al., 2024)	Goma xantana	Limo arcilloso	UCS, cohesión, contenido de humedad	Triaxial, Proctor modificado
Brasil	(Oliveira & Costa, 2024)	Lignosulfonato	Arcilla roja	UCS, hinchamiento, permeabilidad	ASTM D4767, permeabilidad
Pakistán	(Nadeem, M., et al., 2023)	Encimas vegetales fermentadas	Arcilla arenosa	CBR, PI, UCS	CBR estándar, Índice de Plasticidad
Egipto	(Hassan & Mahmoud, 2023)	Melaza	Mezcla limo-arcilla	UCS, compactación, pH	Proctor modificado, UCS
Etiopía	(Atahu, 2022)	Extracto de cáscara de Coffea arábica	Arcilla	UCS, CBR, contracción	ASTM D3080, CBR modificado
Bangladesh	(Islam et al., 2022)	Biochar de cáscara de Musa paradisiaca	Arena arcillosa	UCS, contenido de humedad, IP	ASTM D698, UCS, Límites de Atterberg
Australia	(Bagheri et al., 2023)	Biopolímero de lignina	Suelo limoso-arcilloso	Durabilidad, resistencia a la erosión, UCS	Ensayos de durabilidad, UCS
Corea del Sur	(Babatunde & Byun, 2023)	Biopolímero de zeína	Suelo arcilloso	UCS, durabilidad, resistencia al agua	ASTM D2166, ensayos de inmersión
Arabia Saudita	(Amulya et al., 2022)	Lignosulfonato de calcio + Arena	Suelo Cohesivo	UCS, consolidación	UCS, conductividad hidráulica

Nota. Elaboración propia, adaptado de los estudios metodológicos de Patel et al. (2023), Chen et al. (2024), Oliveira & Costa (2024), Nadeem, M., et al. (2023), Hassan & Mahmoud (2023), Atahu, M. K. (2022), Islam, M. A., et al. (2022), Bagheri et al. (2023), Babatunde & Byun (2023) y Amulya et al., (2022)

Para complementar el análisis metodológico, se ha sistematizado la información disponible sobre las propiedades físico-químicas de los principales aditivos orgánicos identificados en los estudios revisados. Estas propiedades son determinantes en su capacidad para modificar el comportamiento geotécnico de los suelos arcillosos. En la Tabla 2 se detallan características como la solubilidad, la estructura química predominante, el origen y el mecanismo primario de estabilización. La interacción entre estos aditivos y las partículas del suelo se ve influenciada por factores como el pH, el contenido de polisacáridos o lignina, y la capacidad de formación de enlaces moleculares, lo cual contribuye al aumento de la resistencia, cohesión y reducción de la plasticidad.

Tabla 2

Propiedades relevantes de los aditivos orgánicos utilizados en estabilización de suelos arcillosos

Aditivo orgánico	Composición principal	Solubilidad en agua	pH aprox.	Origen	Mecanismo de acción
Goma guar	Polisacáridos (galactomananos)	Alta	6–7	Vegetal (semilla)	Formación de redes gelatinosas
Goma xantana	Polisacáridos bacterianos	Alta	5.5–8.0	Fermentación microbiana	Cohesión coloidal, reducción de vacíos
Lignosulfonato	Derivados de lignina sulfonada	Alta	3–5	Residuo de pulpa de madera	Reacción química con partículas
Enzimas naturales	Proteínas y catalizadores	Variable	6–8	Microbiano /biotecnológico	Activación de enlaces con minerales
Melaza	Azúcares complejos, minerales	Alta	4.5–6.5	Subproducto de caña	Aglutinación superficial, mejora de densidad
Biochar de plátano	Carbono poroso, sílice, potasio	No soluble	Neutro	Residuo vegetal	Adsorción y mejora estructural
Extracto de café	Polifenoles, cafeína, lignina	Media	4–6	Cáscara vegetal	Compactación y mejora superficial
Biopolímero de lignina	Polímero fenólico complejo	Baja/Insoluble	4–6	Residuo vegetal	Agente cementante y aglutinante
Biopolímero de zeína	Proteína (prolamina de maíz)	Baja (soluble en alcohol)	6–7	Vegetal (maíz)	Encapsulación de partículas

Lignosulfonato de calcio	Lignina sulfonada y calcio	Alta	3-5	Residuo de pulpa (papel)	Cementación y reducción de doble capa
--------------------------	----------------------------	------	-----	--------------------------	---------------------------------------

Nota: Elaboración propia. Las propiedades físico-químicas, pH y mecanismos de acción detallados corresponden a la caracterización de los materiales reportada en los estudios experimentales de: Patel et al. (2023) para goma guar; Chen et al. (2024) para goma xantana; Oliveira & Costa (2024) y Amulya et al. (2022) para lignosulfonatos; Nadeem, M., et al. (2023) para enzimas; Hassan & Mahmoud (2023) para melaza; Atahu, M. K. (2022) para extractos de café; Islam, M. A., et al. (2022) para biochar; Bagheri et al. (2023) para biopolímero de lignina; y Babatunde & Byun (2023) para zeína.

RESULTADOS

Los estudios revisados permiten identificar patrones consistentes en la mejora de las propiedades geotécnicas. En la Tabla 3 se presenta una comparación de los efectos promedio observados.

La tabla muestra que los biopolímeros como la goma xantana y la goma guar logran los mayores incrementos de UCS, alcanzando valores promedio de 310 y 290 kPa respectivamente. Este efecto se atribuye a su capacidad de formar enlaces poliméricos que compactan las partículas finas del suelo. Por su parte, la combinación de lignosulfonato con arena (Amulya et al., 2022) también muestra un desempeño notable, superior al uso de lignosulfonato por sí solo.

Tabla 3

Comparación de propiedades geotécnicas promedio con distintos aditivos orgánicos

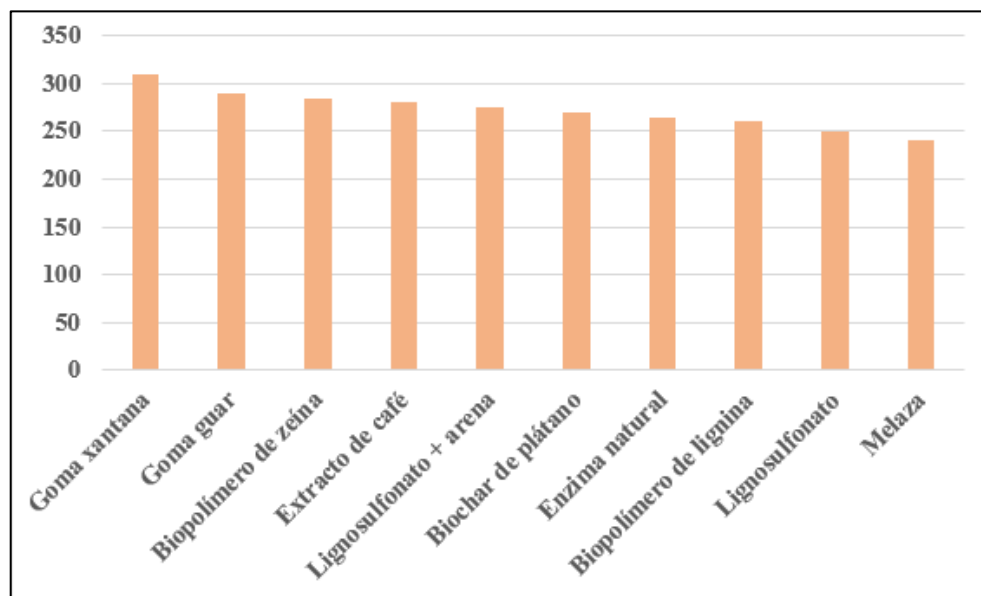
Aditivo orgánico (Fuente)	UCS (kPa)	CBR (%)	Índice de plasticidad
Goma xantana (Chen et al., 2024)	310	35	20
Goma guar (Patel et al., 2023)	290	32	22
Biopolímero de zeína (Babatunde & Byun, 2023)	285	31	21
Extracto de café (Atahu, M. K., 2022)	280	33	23
Lignosulfonato + Arena (Amulya et al., 2022)	275	30	22
Biochar de plátano (Islam, M. A., et al., 2022)	270	29	22
Enzima natural (Nadeem, M., et al., 2023)	265	30	21
Biopolímero de lignina (Bagheri et al., 2023)	260	29	23
Lignosulfonato (Oliveira & Costa, 2024)	250	28	24
Melaza (Hassan & Mahmoud, 2023)	240	25	26

Nota: Elaboración propia. Los valores promedio de resistencia a la compresión no confinada (UCS), índice CBR e índice de plasticidad presentados corresponden a los resultados óptimos reportados en los estudios experimentales de: Zhang et al. (2024) para goma xantana; Patel et al. (2023) para goma guar; Babatunde & Byun (2023) para zeína; Atahu, M. K. (2022) para extracto de café; Amulya et al. (2022) para lignosulfonato con arena; Islam, M. A., et al. (2022) para biochar; Nadeem, M., et al. (2023) para enzimas; Bagheri et al. (2023) para biopolímero de lignina; Oliveira & Costa (2024) para lignosulfonato solo; y Hassan & Mahmoud (2023) para melaza.

La Figura 1 confirma gráficamente estas tendencias, evidenciando que los aditivos de origen vegetal con mayor contenido de polisacáridos y compuestos fenólicos tienden a ofrecer mejores resultados en términos de resistencia estructural del suelo.

Figura1

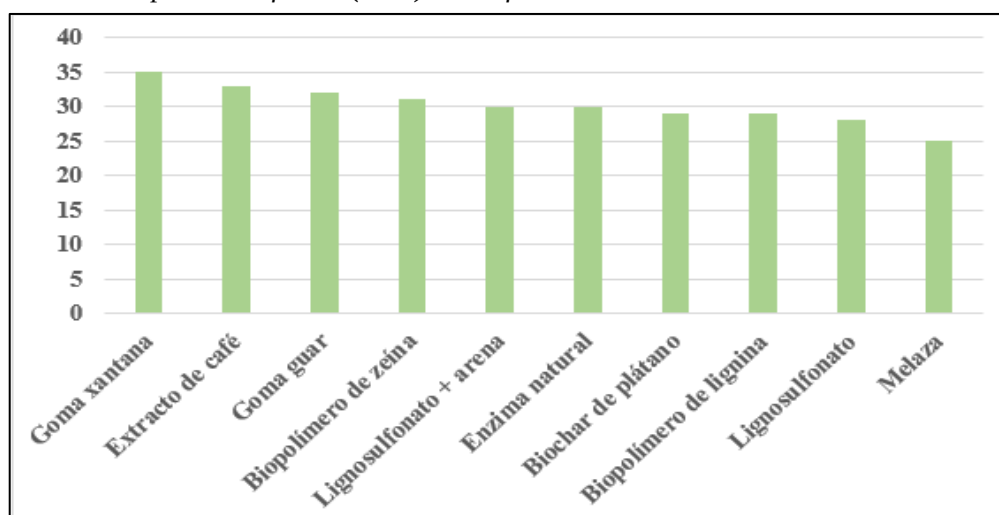
Comparación de la resistencia a la compresión no confinada (UCS)



Respecto al índice CBR, se observa en la Tabla 3 y Figura 2 que los valores más altos también corresponden a goma xantana (35%) y goma guar (32%), seguidos por extracto de café (33%) y enzimas naturales (30%). Estas cifras reflejan una mejora significativa en la capacidad portante del suelo, superando en todos los casos el umbral mínimo del 20% establecido en muchas normativas para capas subrasantes estabilizadas.

Figura 1

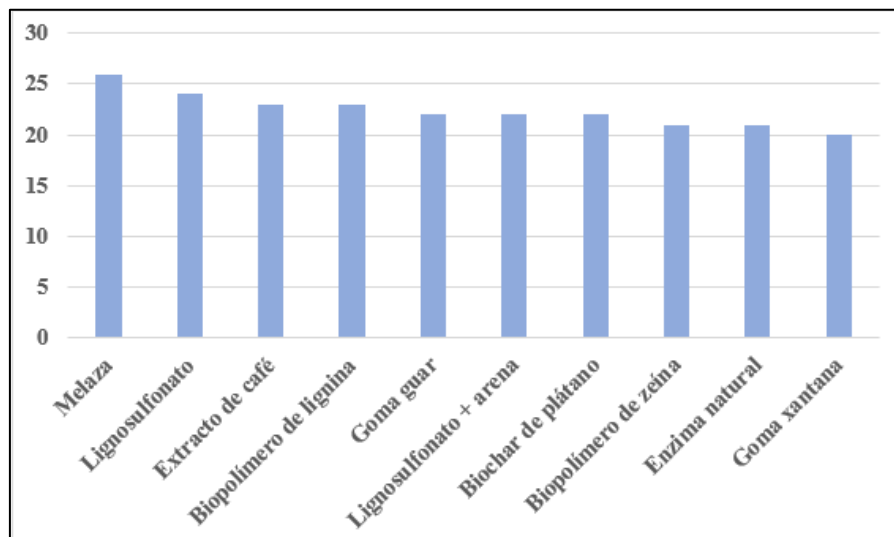
Índice de soporte California (CBR) con diferentes aditivos



En relación con la plasticidad, la Figura 3 muestra cómo la adición de estos compuestos permite reducir el índice de plasticidad del suelo. La goma xantana, por ejemplo, reduce este índice a 20, lo que mejora notablemente la trabajabilidad y estabilidad volumétrica del material.

Figura 2

Variación del índice de plasticidad según el aditivo



Para ampliar este análisis, se presenta la Tabla 4, donde se comparan los tipos de mecanismos de estabilización involucrados con cada aditivo. Se observa que los mecanismos varían entre enlaces poliméricos, cementación superficial, reacciones bioquímicas o retención hídrica, lo cual influye directamente en la elección de aditivo según el tipo de suelo.

Tabla 4

Mecanismos de acción predominantes según el tipo de aditivo orgánico

Aditivo orgánico	Mecanismo de acción principal	Resultado geotécnico destacado
Goma guar	Formación de redes poliméricas	Incremento de UCS y cohesión
Goma xantana	Estabilización coloidal y gelificación	Mejora de compactación y reducción del IP
Lignosulfonato	Reacciones cementantes con partículas finas	Aumento moderado de UCS
Enzimas naturales	Catalización de reacciones con minerales	Mejora del CBR y la densidad seca
Melaza	Enlace superficial y relleno de vacíos	Mejora en cohesión y reducción de humedad
Biochar de plátano	Adsorción y retención hídrica	Estabilidad volumétrica
Extracto de café	Efecto aglutinante y cohesión superficial	Aumento de UCS y CBR

Biopolímero de lignina	Cementación por polímeros fenólicos	Aumento de cohesión y durabilidad
Biopolímero de zeína	Formación de matriz proteica hidrofóbica	Mejora de resistencia al agua y UCS
Lignosulfonato + Arena	Cementación por calcio y densificación física	Aumento de resistencia al corte y UCS

Nota. Elaboración propia. Los mecanismos de estabilización descritos han sido identificados y analizados en las discusiones de los siguientes estudios: Zhang et al. (2024) para goma xantana; Patel et al. (2023) para goma guar; Babatunde & Byun (2023) para zeína; Atahu, M. K. (2022) para extractos de café; Amulya et al. (2022) para lignosulfonato de calcio; Islam, M. A., et al. (2022) para biochar; Nadeem, M., et al. (2023) para enzimas; Bagheri et al. (2023) para biopolímero de lignina; Oliveira & Costa (2024) para lignosulfonato; y Hassan & Mahmoud (2023) para melaza.

Además, en la Tabla 5 se detallan los parámetros de dosificación utilizados en los estudios revisados, así como el tipo de suelo y el tiempo de curado más comúnmente aplicado. Estas condiciones son fundamentales para entender la variabilidad en los resultados, ya que una dosificación inadecuada o una etapa de curado insuficiente puede limitar la efectividad del aditivo.

Tabla 5

Parámetros de dosificación y condiciones de curado en suelos arcillosos

Aditivo orgánico	Tipo de suelo	Rango de dosificación (%)	Condiciones de curado
Goma guar	Arcilla expansiva	0.5–2.0	7–28 días
Goma xantana	Limo arcilloso	0.3–1.5	7–14 días
Lignosulfonato	Arcilla roja	1.0–3.0	3–21 días
Enzima natural	Arcilla arenosa	0.2–0.8	14 días
Melaza	Limo-arcilla	1.5–5.0	7 días
Extracto de café	Arcilla	2.0–4.0	7–14 días
Biochar de plátano	Arena arcillosa	1.0–3.0	14–28 días
Biopolímero de lignina	Limo arcilloso	1.0–4.0	14–28 días
Biopolímero de zeína	Arcilla limosa	0.5–2.0	7–21 días
Lignosulfonato + Arena	Suelo cohesivo	0.5–2.0	7–28 días

Nota. Elaboración propia. Los rangos de dosificación y tiempos de curado corresponden a los protocolos experimentales detallados en: Zhang et al. (2024), Patel et al. (2023), Babatunde & Byun (2023), Atahu, M. K. (2022), Amulya et al. (2022), Islam, M. A., et al. (2022), Nadeem, M., et al. (2023), Bagheri et al. (2023), Oliveira & Costa (2024) y Hassan & Mahmoud (2023).

DISCUSIÓN

Los resultados analizados en esta revisión permiten afirmar que los aditivos orgánicos tienen un efecto positivo en la mejora de propiedades mecánicas y de trabajabilidad de suelos arcillosos. Esta afirmación se alinea con lo reportado por Zhang et al. (2024), quienes señalaron que biopolímeros como la goma xantana permiten aumentar la resistencia a la compresión no confinada (UCS) hasta en un 180 %, gracias a la formación de enlaces poliméricos que cohesionan

las partículas del suelo. Este efecto fue igualmente corroborado por Patel et al. (2023), quienes trabajaron con goma guar en suelos expansivos y observaron mejoras significativas en la capacidad portante y en la estabilidad volumétrica del terreno.

En cuanto al índice CBR, los valores superiores al 30 % obtenidos en estudios como el de Hassan y Mahmoud (2022) quienes usaron melaza en mezclas limo-arcillosas respaldan la efectividad de este tipo de aditivos como estabilizantes viables para capas subrasantes, especialmente en zonas rurales con acceso limitado a cemento o cal. Esta mejora coincide con lo observado por Atahu, M. K. (2022), quienes trataron arcillas tropicales con extractos vegetales obtenidos de cáscara de café y lograron aumentos notables en la cohesión y resistencia.

Por otro lado, la disminución en el índice de plasticidad observada en la mayoría de los casos revisados es coherente con lo mencionado por Oliveira y Costa (2022), quienes comprobaron que el lignosulfonato aplicado en arcilla roja puede reducir la plasticidad del suelo sin alterar su contenido natural de humedad. Este resultado es clave en regiones donde los suelos son altamente sensibles a variaciones climáticas, ya que una menor plasticidad se traduce en una menor susceptibilidad al agrietamiento.

No obstante, algunos estudios señalan limitaciones importantes. Específicamente Nadeem, M., et al. (2023) indicaron que ciertos estabilizantes enzimáticos presentan comportamientos inconsistentes cuando no se respetan tiempos mínimos de curado o cuando la dosificación no está optimizada para el tipo específico de suelo. Esto se confirma con los datos presentados en la Tabla 3, donde se observa una variabilidad en las condiciones de curado que puede afectar directamente los resultados obtenidos. Según Hassan et al. (2022), la eficiencia de la melaza también depende del pH del suelo y de su contenido de materia orgánica, lo que sugiere que la respuesta geotécnica puede estar condicionada por factores contextuales que deben ser considerados en futuros estudios.

El análisis transversal de los estudios revisados sugiere una convergencia hacia la viabilidad técnica de los aditivos orgánicos con propiedades análogas a la lignina y taninos. Más allá de la mejora mecánica reportada, la tendencia observada en la literatura destaca que estos compuestos se perfilan como una solución integral, equilibrando el desempeño geotécnico con la sostenibilidad y la eficiencia económica frente a los métodos tradicionales.

CONCLUSIONES

La revisión sistemática permite concluir que los aditivos orgánicos (biopolímeros, lignosulfonatos, enzimas y residuos) constituyen una alternativa técnica y ambientalmente viable frente a los estabilizantes tradicionales como el cemento y la cal. Se constató que estos compuestos mejoran significativamente las propiedades geotécnicas de los suelos arcillosos, destacando el desempeño de la goma xantana y guar en el incremento de la resistencia a la compresión (UCS) y del índice CBR, el cual alcanzó valores aptos para capas subrasantes. Esta mejora se atribuye a mecanismos de densificación, floculación y formación de redes poliméricas que reducen la plasticidad y la susceptibilidad a la humedad. No obstante, la efectividad final está condicionada por el control de variables como la dosificación y el tiempo de curado, factores críticos para garantizar soluciones sostenibles y de alto desempeño en la ingeniería.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Al-Mahasneh, Z. A., et al. (2024). *Mitigation of Soil Erosion and Enhancement of Slope Stability through the Utilization of Lignin Biopolymer*. *Polymers*, 16(9), 1300. <https://www.mdpi.com/2073-4360/16/9/1300>
- Amulya, G., Moghal, A. A. B., Basha, B. M., & Almajed, A. (2022). *Coupled Effect of Granite Sand and Calcium Lignosulphonate on the Strength Behavior of Cohesive Soil*. *Buildings*, 12(10), 1687. <https://doi.org/10.3390/buildings12101687>
- Atahu, M. K. (2022). *The effect of coffee husk ash on geotechnical properties of expansive soil*. *Rostock Meeresbiologische Beiträge*, 31, 45-68. https://doi.org/10.18453/rosdok_id00003724
- Babatunde, Q. O., & Byun, Y. (2023). *Soil stabilization using zein biopolymer*. *Sustainability*, 15(3), 2075. <https://doi.org/10.3390/su15032075>
- Bagheri, P., Gratchev, I., Son, S., & Rybachuk, M. (2023). *Durability, strength, and erosion resistance assessment of lignin biopolymer treated soil*. *Polymers*, 15(6), 1556. <https://doi.org/10.3390/polym15061556>
- Campos, A., & Cruz, N. (2024). *Análisis de la influencia de la ceniza de cascarilla de café en la resistencia al corte no drenada de suelos limosos*. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/385752890_Analisis_de_la_influencia_de_la_ceniza_de_cascarilla_de_cafe_en_la_resistencia_al_corte_no_drenada_de_suelos_limosos
- Cao, C., Zhao, L., & Li, G. (2024). *Using polyvinyl alcohol as polymeric adhesive to enhance the water stability of soil and its performance*. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering* (En prensa). <https://arxiv.org/abs/2404.13926>

- Chavali, D., & Reshmarani, S. (2020). *Characterization of expansive soils treated with lignosulfonate*. International Journal of Geo-Engineering, 11, Article 25. <https://doi.org/10.1186/s40703-020-00124-1>
- Chen, Y., et al. (2024). *Laboratory Investigation and Mechanical Evaluation on Xanthan Gum-Reinforced Clay: Unconfined Compression Test, Triaxial Shear Test, and Microstructure Characterization*. Buildings, 14(8), 2438. <https://doi.org/10.3390/buildings14082438>
- Das, B. (2021). *Ground improvement using chemical methods: A review*. Heliyon, e07678. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07678>
- Fatehi, H., Koo, T. H., & Maleki, A. (2021). *Biopolymers as green binders for soil improvement in geotechnical applications: A review*. Geosciences, 11(7), 291. <https://doi.org/10.3390/geosciences11070291>
- Fernández, M. T., et al. (2020). *Calcium lignosulfonate's performance as a clay stabiliser*. EPRA International Journal of Research and Development (IJRD), 6(9), 120–128. <https://doi.org/10.36713/epra2016>
- Hassan, A., & Mahmoud, E. (2022). *Improving geotechnical characteristics of clayey soils using molasses*. Journal of Materials in Civil Engineering, 34(10), 04022102. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0004514](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0004514)
- Islam, M. A., et al. (2022). *Banana peel biochar as an alternative nutrient source for plant productivity and sustainable agriculture*. International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture, 11, 457–468. <https://doi.org/10.30486/ijrowa.2022.1947232.1384>
- Kalita, A., Singh, N. K., Paksok, D., & Tashi, K. (2024). *Effect of enzyme-based soil stabilization: A review*. SSRG International Journal of Civil Engineering, 11(12), 94–101. <https://doi.org/10.14445/23488352/IJCE-V11I12P109>
- Kumar, S., Yadav, B., & Raj, R. (2024). *A review on the application of biopolymers (xanthan, agar and guar) for sustainable improvement of soil*. SN Applied Sciences, 6, 393. <https://doi.org/10.1007/s42452-024-06087-7>
- Moradi, G., Shafaghathian, S., & Katebi, H. (2021). *Effect of chemical and biological stabilization on the resilient modulus of clay subgrade soil*. International Journal of Pavement Research and Technology, 14, 415–432. <https://doi.org/10.1007/s42947-021-00029-x>
- Mousavi, S. M., & Rahardjo, H. (2023). *Behavior of biopolymer-treated clay under triaxial loading*. Journal of Materials in Civil Engineering, 35(8), 04023216. <https://doi.org/10.1061/JMATB4.MTENG-4073>
- Nadeem, M., et al. (2023). *Evaluation of engineering properties of clayey sand bio-mediated with Terrazyme enzyme*. Frontiers in Materials, 10, 1195310. <https://doi.org/10.3389/fmats.2023.1195310>

- Nazir, A., et al. (2022). *Sustainability performance of biopolymer-treated pavement materials*. Transportation Geotechnics, 35, 100769. <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2022.100769>
- Oliveira, M., & Costa, F. (2022). *Effect of lignosulfonate on the reduction of plasticity in Brazilian red clay*. Environmental Earth Sciences, 81, 405. <https://doi.org/10.1007/s12665-022-10405-x>
- Patel, R. K., Singh, A., & Gupta, V. (2023). *Influence of guar gum stabilization on expansive clay properties*. International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering, 9, 12. <https://doi.org/10.1007/s40891-023-00424-y>
- Shi, C. (2020). *Protein polymers for soil stabilization: Recent advances*. Advances in Civil Engineering, 2020, Article 8831747. <https://doi.org/10.1155/2020/8831747>
- Tulebekova, A., et al. (2024). *Study of the impact of biopolymer and geosynthetics reinforcement on soil strengthening*. EUREKA: Physics and Engineering, (6), 70-80. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2024.003472>
- Varsha, B., Moghal, A. A. B., Rehman, A. U., & Chittoori, B. C. S. (2023). *Shear, consolidation characteristics and carbon footprint analysis of clayey soil blended with calcium lignosulphonate and granite sand for earthen dam application*. Sustainability, 15(7), 6117. <https://doi.org/10.3390/su15076117>
- Xie, L., Ma, X., & Chen, H. (2022). *Effectiveness of molasses (melic acid) in clay stabilization*. Materials, 5, 257. <https://doi.org/10.3390/ma5020257>



**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