

REVISTA CIENTÍFICA

PAKAMUROS

JULIO - SETIEMBRE 2026

VOL. 14 - N° 3



UNIVERSIDAD
NACIONAL DE JAÉN

Una publicación de la Universidad Nacional de Jaén

Setiembre 2026 | Vol. 14. Número 3 | E-ISSN: 2522-3240 | ISSN: 2306-9805

DOI: <https://doi.org/10.37787/g02m3y79>

Comité Científico

Director

Dr. Ricardo Abel Del Castillo Torres

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

Conocimientos y prácticas preventivas sobre infecciones de transmisión sexual en estudiantes universitarios de Jaén.....	4
Aplicación de la herramienta 5S para la mejora de la gestión de producción en una empresa metalmecánica de Cajamarca.....	20
Susceptibilidad antimicrobiana de <i>Pseudomonas aeruginosa</i> aisladas de aguas de pozos de oxidación en Jaén, Perú.....	40
Evaluación de la integridad estructural de herramientas de corte recuperadas mediante soldadura por arco sumergido (SAW) para maquinaria pesada.....	50
Factores psicosociales y complicaciones obstétricas asociados a la depresión posparto en púerperas atendidas en un establecimiento de salud de Piura.....	69
Relación entre grado de instrucción y nivel de conocimiento sobre cáncer de cérvix en mujeres en edad fértil, Trujillo 2025.....	80
Resistencia del concreto reemplazando parcialmente el cemento por residuos de conchas de abanico.....	95
Resistencia antimicrobiana en enterobacterias productoras de BLEE aisladas de urocultivos en atención primaria: Un estudio transversal en el Centro de Salud Magllanal, Jaén, 2026.....	109
Efecto del hidróxido de calcio y nanosílice en propiedades físicas y mecánicas de los suelos arcillosos.....	119
Comportamiento físico y mecánico de mezclas asfálticas en caliente modificadas con fibras de bambú.....	139

ARTÍCULOS DE REVISIÓN

Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones mediante métodos experimentales, computacionales y teóricos: Una revisión sistemática.....	156
---	-----

ARTÍCULO ORIGINAL**Conocimientos y prácticas preventivas sobre infecciones de transmisión sexual en estudiantes universitarios de Jaén**

Knowledge and preventive practices regarding sexually transmitted infections among university students in Jaén

Cinthya Santa Cruz ¹ , Helly Cruz ² , Marcela Saldaña ³  y Ronald Cruz ⁴ **RESUMEN**

El objetivo del estudio fue evaluar la asociación entre el nivel de conocimiento y las prácticas preventivas relacionadas con las infecciones de transmisión sexual en estudiantes universitarios de Jaén, 2023. Se desarrolló un estudio correlacional de corte transversal, con la participación de 260 estudiantes universitarios de ambos sexos, mayores de 16 años, seleccionados mediante un muestreo no probabilístico. La recolección de la información se realizó mediante un cuestionario de 30 preguntas de opción múltiple, previamente validado por juicio de expertos. Los datos fueron analizados utilizando el software estadístico Minitab 19 y se aplicó la prueba de Chi-cuadrado. Del total de participantes, el 55,4 % correspondió al sexo masculino y el 70,4 % tenía entre 17 y 21 años. El 61,2 % presentó un nivel de conocimiento regular sobre las ITS, mientras que el 11,2 % evidenció un nivel deficiente. Asimismo, el 89,6 % mostró un nivel regular de prácticas preventivas. Se identificó una asociación estadísticamente significativa entre el sexo y las prácticas preventivas ($p = 0,005$). En conclusión, los estudiantes universitarios presentan un nivel regular de conocimiento y de prácticas preventivas frente a las ITS, lo que pone de manifiesto la necesidad de fortalecer las estrategias de educación sexual en el ámbito universitario.

Palabras clave: Conocimiento, educación sexual, infecciones de transmisión sexual, jóvenes, prevención.

ABSTRACT

The objective of the study was to evaluate the association between the level of knowledge and preventive practices related to sexually transmitted infections among university students in Jaén in 2023. A cross-sectional correlational study was conducted involving 260 university students of both sexes, aged over 16, selected through non-probability sampling. Data collection was carried out using a 30-question multiple-choice questionnaire, previously validated by expert judgment. Data were analyzed using Minitab 19 statistical software, and the Chi-square test was applied. Of the total participants, 55.4% were male, and 70.4% were aged between 17 and 21. Regarding STIs, 61.2% demonstrated a fair level of knowledge, while 11.2% showed a poor level. Likewise, 89.6% exhibited a fair level of preventive practices. A statistically significant association was identified between sex and preventive practices ($p = 0.005$). In conclusion, university students demonstrate a fair level of knowledge and preventive practices regarding STIs, highlighting the need to strengthen sex education strategies within the university setting.

Keywords: knowledge, prevention, sex education, sexually transmitted infections, university students.

* Autor para correspondencia

¹ Universidad Nacional de Jaén, Perú. Email: slopez@unj.edu.pe, hellroscruzi@gmail.com, marcela.saldana@unj.edu.pe.

² Universidad San Martín de Porres, Perú. Email: ronalddc214@gmail.com

INTRODUCCIÓN

Las infecciones de transmisión sexual (ITS) representan un importante problema de salud pública que afecta principalmente a adolescentes y adultos jóvenes (Cegolon *et al.*, 2022). Estas enfermedades, ocasionadas por bacterias, virus, hongos y protozoos, constituyen una de las principales causas de morbilidad y generan un impacto significativo sobre la salud a nivel mundial (Torres *et al.*, 2022). De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2025), cada día se adquieren más de un millón de ITS curables y que, durante el año 2020, se produjeron aproximadamente 374 millones de nuevos casos de ITS curables, siendo la clamidia, la gonorrea, la sífilis y la tricomoniasis las infecciones más frecuentes.

La creciente incidencia de ITS se ha relacionado con múltiples factores, como la insuficiente educación sexual, el consumo de sustancias psicoactivas, la multiplicidad de parejas sexuales y otras conductas sexuales de riesgo que favorecen la transmisión de estos agentes infecciosos (Zizza *et al.*, 2021; Incera-Fernández *et al.*, 2022; Kalungi *et al.*, 2023; Bogale *et al.*, 2024). Entre los estudiantes universitarios es frecuente la presencia de conductas sexuales de riesgo, favorecidas por la etapa de transición hacia la vida adulta, la búsqueda de independencia y las limitaciones en el conocimiento sobre las infecciones de transmisión sexual (ITS) (Lao-López *et al.*, 2024).

Esta situación se ve agravada por la insuficiente implementación de programas de educación sexual integral y por la persistencia de creencias erróneas relacionadas con la sexualidad y la prevención de estas infecciones (Duarte-Anselmi *et al.*, 2022). En este contexto, diversas investigaciones han demostrado que las intervenciones educativas en salud sexual contribuyen significativamente a disminuir el riesgo de adquirir ITS, siendo más efectivas cuando forman parte de programas estructurados de educación formal que cuando la información proviene exclusivamente del entorno familiar (Alekhya *et al.*, 2023; Guo *et al.*, 2025; Rodríguez-García *et al.*, 2025; Contreras & Rodríguez, 2023).

A pesar de la amplia disponibilidad de información sobre salud sexual, el acceso a contenidos confiables y basados en evidencia continúa siendo un factor determinante para mejorar el nivel de conocimientos y favorecer la adopción de prácticas preventivas (Carrión *et al.*, 2020). En este sentido, un metaanálisis realizado en Estados Unidos, que incluyó 289 intervenciones dirigidas a adolescentes, evidenció que los programas integrales de educación sexual lograron reducir aproximadamente en un 23 % la incidencia de infecciones de transmisión sexual (Petrova & García, 2015).

En América Latina, la evidencia científica muestra que una proporción considerable de la población aún presenta conocimientos limitados y percepciones inadecuadas sobre las ITS, especialmente en relación con los mecanismos de transmisión, los factores de riesgo y las manifestaciones clínicas. Estas deficiencias contribuyen a la adopción de conductas sexuales inseguras y dificultan la implementación de medidas preventivas eficaces (Guevara-Ibarbo *et al.*, 2024; Zabala *et al.*, 2023).

En el Perú, investigaciones recientes indican que el 76,5 % de los estudiantes universitarios presenta un nivel moderado de conocimiento sobre las prácticas sexuales, mientras que el 72,3 % manifiesta una percepción medianamente favorable respecto a las infecciones de transmisión sexual (ITS) (Garibay *et al.*, 2024). Asimismo, la evidencia epidemiológica muestra que la población joven continúa siendo una de las más vulnerables a estas infecciones. En este sentido, se ha reportado una prevalencia de infección por *Chlamydia trachomatis* del 6,5 % en mujeres jóvenes (Cárcamo *et al.*, 2012), mientras que el 11,3 % de las mujeres peruanas entre 15 y 49 años refirió haber presentado alguna ITS durante los doce meses previos a la encuesta (Pérez-Fernández *et al.*, 2023). Estos hallazgos evidencian que los jóvenes y adultos jóvenes constituyen uno de los grupos con mayor riesgo de adquirir estas infecciones.

De modo que, las ITS constituyen un problema de salud pública con repercusiones clínicas, sociales y educativas. Su diagnóstico y tratamiento tardíos pueden ocasionar complicaciones como infertilidad, embarazo ectópico y determinados tipos de cáncer (Pérez-Fernández *et al.*, 2023). Esta problemática adquiere especial importancia en los estudiantes universitarios, debido a que muchas ITS pueden cursar de forma asintomática y permanecer sin diagnóstico. Por ello, resulta fundamental fortalecer el acceso a información confiable, orientación especializada y medidas preventivas que favorezcan decisiones informadas y prácticas sexuales responsables que favorezcan el bienestar durante la vida adulta (OMS/OPS, 2025).

El aporte del estudio radica en analizar en conjunto el conocimiento y las prácticas preventivas sobre las ITS, identificando posibles brechas entre lo que conocido por los estudiantes y las conductas que adoptan, lo que aporta evidencia útil para orientar intervenciones educativas y preventivas en el ámbito universitario. Por lo que, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar la asociación entre el nivel de conocimiento y las prácticas preventivas relacionadas con las infecciones de transmisión sexual en estudiantes universitarios de Jaén, 2023.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un estudio de enfoque cuantitativo, con diseño correlacional y de corte transversal. La población estuvo conformada por 2 104 estudiantes de la Universidad Nacional de Jaén, ubicada en el departamento de Cajamarca, Perú, a una altitud de 730 m s. n. m. Para establecer el tamaño de muestra, se empleó la fórmula para estimación de una proporción para población finita, considerando un nivel de confianza del 95 %, una proporción esperada de 50 % y una precisión de 5,7 %, obteniéndose un tamaño que se redondeó a 260 estudiantes matriculados durante el semestre 2023- 2 y que cumplieron los criterios de selección. Los participantes fueron seleccionados mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia, considerando la accesibilidad y disponibilidad de los participantes durante el periodo de recolección de datos.

La población estuvo conformada por 2 104 estudiantes de la Universidad Nacional de Jaén. La selección de los participantes se realizó mediante muestreo no probabilístico por conveniencia, considerando su accesibilidad y disponibilidad durante el periodo de recolección de datos. En consecuencia, los parámetros empleados para el cálculo permitieron establecer el tamaño muestral de referencia, pero no implican representatividad probabilística de la población universitaria.

Se incluyeron estudiantes de ambos sexos, pertenecientes a las cinco carreras profesionales, con edades entre 17 y 31 años, quienes aceptaron participar de forma voluntaria mediante la firma del consentimiento informado. Se excluyeron aquellos estudiantes que no completaron íntegramente el cuestionario o que no otorgaron su consentimiento para participar en la investigación.

La recolección de la información se efectuó utilizando un cuestionario estructurado, elaborado a partir del instrumento validado por Mamani (2017), que fue revisado y adaptado al contexto de la población universitaria evaluada. El instrumento de recolección de datos estuvo conformado por 30 ítems distribuidos tres secciones. La primera incluyó 6 ítems correspondientes a variables sociodemográficas y antecedentes de los participantes, como edad, sexo, ciclo académico, capacitación previa sobre ITS, edad de inicio de las relaciones sexuales y procedencia. La segunda constituida por 14 ítems para evaluar el nivel de conocimiento sobre las infecciones de transmisión sexual, considerando aspectos relacionados con su definición, agentes etiológicos, mecanismos de transmisión y principales signos y síntomas. La tercera sección comprendió 10 ítems orientados a valorar las prácticas preventivas, incluyendo el uso del preservativo, las conductas sexuales y los comportamientos de riesgo.

La validez de contenido del instrumento fue evaluada mediante el juicio de cuatro expertos (02 médicos, 01 licenciada en enfermería, 01 microbiólogo) quienes contaban con grado de doctor y experiencia en salud pública y enfermedades transmisibles. Los especialistas evaluaron los ítems considerando los criterios de claridad, pertinencia, relevancia y coherencia. La valoración se realizó mediante coeficiente V de Aiken obteniéndose un valor 0,91 considerándose alta validez para su aplicación.

La confiabilidad del instrumento se determinó a través de una prueba piloto aplicada a 30 estudiantes que no formaron parte de la muestra definitiva. La consistencia interna de la segunda y tercera sección del cuestionario se determinó mediante el coeficiente alfa de Cronbach, obteniéndose un valor de 0,82, considerado indicativo de buena consistencia interna.

Para la calificación del nivel de conocimiento se asignó un punto a cada respuesta correcta y cero puntos a las respuestas incorrectas. La categorización se realizó mediante la escala de estaninos, determinándose como puntos de corte los valores de $a=9,475$ y $b=11,725$. De acuerdo con estos puntos de corte, fue clasificado en deficiente (0–9 puntos), regular (10–11 puntos) y alto (12–14 puntos). Para las prácticas preventivas, se aplicó el mismo criterio de puntuación utilizado con el nivel de conocimiento. Los puntos de corte obtenidos fueron $a=6,21$ y $b=8,91$; en consecuencia, las prácticas preventivas se clasificaron como deficientes (0–6 puntos), regulares (7–8 puntos) y altas (9–10 puntos).

La aplicación del cuestionario se realizó de manera presencial, previa autorización de las autoridades universitarias. Antes de la recolección, se explicó a los participantes el propósito de la investigación y se obtuvo su consentimiento informado. Toda la información recopilada fue utilizada exclusivamente con fines científicos, garantizando la confidencialidad de los datos y el cumplimiento de los principios éticos establecidos en la Declaración de Helsinki.

El procesamiento y análisis de los datos se efectuó mediante el software Minitab versión 19. Las características de las variables se describieron mediante frecuencias absolutas y relativas. Para determinar la existencia de asociaciones entre variables categóricas se aplicó la prueba de Chi-cuadrado de Pearson. Cuando no se cumplieron sus supuestos de esta prueba se utilizó la prueba exacta de Fisher-Freeman-Halton. Se consideró estadísticamente significativo un valor de $p < 0,05$.

RESULTADOS

La investigación incluyó a 260 estudiantes universitarios. Del total de participantes, el 55,4 % fueron varones y el 70,4 % se encontraba en el rango de edad de 17 a 21 años. Respecto al ciclo de estudios, el grupo con mayor representación correspondió al cuarto ciclo, con el 24,2 % de la muestra. Por otro lado, el 70,4 % de los estudiantes manifestó haber recibido previamente algún tipo de capacitación relacionada con las ITS. Respecto a la conducta sexual, el 86,9% manifestó haber iniciado su vida sexual, principalmente entre los 16 y 20 años (56,2%). Finalmente, más de la mitad de los estudiantes procedía del área rural (58,5%) (Tabla 1).

Tabla 1
Características generales de los estudiantes universitarios, Jaén – Cajamarca

Datos Generales		n	%
Sexo	Masculino	144	55,4
	Femenino	116	44,6
Edad	17 - 21	183	70,4
	22 - 26	70	26,9
	27 - 31	7	2,7
	I	13	5,0
Ciclo	II	31	11,9
	III	28	10,8
	IV	63	24,2
	V	51	19,6
	VI	33	12,7
	VII	6	2,3
	VIII	21	8,1
	IX	6	2,3
	X	8	3,1
Capacitación Previa	Si	183	70,4
	No	77	29,6
Relaciones Sexuales	Si	226	86,9
	No	34	13,1
Edad de Inicio de Relaciones Sexuales	10 - 15	40	15,4
	16 - 20	146	56,2
	21 - 25	40	15,4
	No	34	13,0
Procedencia	Rural	152	58,5
	Urbana	108	41,5
	Total	260	100,0

El 61,2 % de los estudiantes presentó un nivel de conocimiento regular. Al analizar el nivel de conocimiento según grupos de edad, se observaron diferencias en su distribución. Cabe señalar que, debido a que se reportaron frecuencias esperadas inferiores a cinco en algunas celdas de la tabla de contingencia, se empleó la prueba exacta de Fisher-Freeman-Halton evidenciándose la asociación entre ambas variables ($p = 0,021$) (Tabla 2).

Tabla 2*Edad y Nivel de conocimiento de los estudiantes universitarios, Jaén – Cajamarca*

Edad		Nivel de conocimiento			Total	p
		Deficiente	Regular	Alto		
17 - 21	n	16	111	56	183	0,021
	%	6,2	42,7	21,5	70,4	
22 - 26	n	12	46	12	70	
	%	4,6	17,7	4,6	26,9	
27 - 31	n	1	2	4	7	
	%	0,4	0,8	1,5	2,7	
Total	n	29	159	72	260	
	%	11,2	61,2	27,7	100,0	

Nota: * prueba Fisher-Freeman-Halton $p < 0,05$ es significativo

En relación con las prácticas preventivas frente a las infecciones de transmisión sexual, el 89,6% de los estudiantes evidenció un nivel regular de prevención, predominando el sexo masculino, que representó el 49,2% de este grupo (Tabla 3).

Tabla 3*Sexo y Medidas de prevención de los estudiantes universitarios, Jaén – Cajamarca*

Sexo		Medidas de prevención			Total	X ²	gl	p
		Deficiente	Regular	Alto				
Masculino	n	13	128	3	144	10,443	2	0,005
	%	5,0	49,2	1,2	55,4			
Femenino	n	2	105	9	116			
	%	0,8	40,4	3,5	44,6			
Total	n	15	233	12	260			
	%	5,8	89,6	4,6	100,0			

Nota: * prueba de chi cuadrado $p < 0,05$ es significativo

Sobre la prevención de las ITS, el 93,5 % de los estudiantes reconoció que el uso del condón en cada relación sexual contribuye a prevenir su transmisión, el 95,8 % identificó la necesidad de utilizar un condón nuevo en cada relación sexual y el 84,6 % reconoció correctamente la secuencia para su uso. Sin embargo, se observaron menores porcentajes de respuestas correctas en algunos aspectos preventivos. En cuanto a las prácticas y antecedentes relacionados con las ITS, solo el 21,5 % manifestó utilizar siempre el condón durante las relaciones sexuales (Tabla 4).

Tabla 4*Prácticas preventivas infecciones de transmisión sexual en los estudiantes universitarios, Jaén – Cajamarca*

Prácticas preventivas para evitar las ITS	Respuestas correctas		Respuestas incorrectas	
	n	%	n	%
¿Cómo se previene las ITS?	18	6,9	242	93,1
Personas más propensas a contraer las ITS	219	84,2	41	15,8
Evitar el uso de ropa íntima ajena protege contra las ITS	47	18,1	213	81,9
El uso del condón en cada relación sexual ayuda a prevenir el contagio de las ITS	243	93,5	17	6,5
Secuencia correcta del uso del condón	220	84,6	40	15,4
Se debe utilizar un condón nuevo para cada relación sexual	249	95,8	11	4,2
Cambiar continuamente de pareja sexual es algo normal entre los jóvenes	186	71,5	74	28,5
Todas las ITS se previenen mediante vacunas.	137	52,7	123	47,3
Ha tenido una ITS diagnosticada	110	42,3	150	57,7
¿Siempre que has tenido relaciones sexuales has utilizado el condón?	56	21,5	204	78,5

DISCUSIÓN

En el presente estudio, el 66,8 % de los universitarios inició su vida sexual entre los 17 y 20 años. Este hallazgo guarda relación con Riquelme y Cuentas (2023), quienes reportaron una elevada frecuencia de inicio sexual entre los 15 y 17 años. Asimismo, estudios recientes han identificado diversos factores que podrían estar asociados con el inicio temprano de la actividad sexual, entre ellos la edad, nivel educativo, presencia de pareja y determinadas condiciones sociales y conductuales (Osborne *et al.*, 2024; Sepúlveda *et al.*, 2024). Estos resultados resaltan la importancia de fortalecer la educación sexual desde etapas tempranas, considerando las características sociales y educativas de la población.

Respecto al conocimiento sobre las ITS, predominó el nivel regular, evidenciando la persistencia de brechas relevantes para su prevención. Estos resultados concuerdan con Scotini *et al.* (2025) y Villacorte *et al.* (2025), quienes identificaron limitaciones en el conocimiento sobre ITS en poblaciones universitarias. En conjunto, estos hallazgos sugieren que el acceso a información no garantiza conocimientos suficientes, por lo que resulta necesario fortalecer la educación sexual mediante contenidos pertinentes, actualizados y continuos.

Estudios previos han evidenciado brechas en el conocimiento sobre las ITS desde etapas tempranas de formación. Espinoza-Hilario y Arellano-Lazo (2022) encontraron un predominio del nivel medio de conocimiento sobre VIH/SIDA en estudiantes de secundaria, mientras que González Chico *et al.* (2025) identificaron diferencias relacionadas con características sociodemográficas y el acceso a información sobre salud sexual. Estos antecedentes sugieren la

necesidad de fortalecer la educación sexual de manera continua desde la etapa escolar hasta la universitaria.

Respecto a las prácticas preventivas, predominó el nivel regular, aunque proporcionalmente las mujeres alcanzaron con mayor frecuencia el nivel alto. Este resultado guarda relación con Capraş *et al.* (2025), quienes identificaron diferencias según el sexo en determinadas conductas preventivas y de riesgo, lo que sugiere la influencia de factores sociales y conductuales en la prevención de las ITS.

En cuanto a los conocimientos específicos, los estudiantes reconocieron adecuadamente aspectos generales de las ITS, pero presentaron dificultades para identificar sus agentes etiológicos. Hallazgos similares han sido descritos por Lagadinou *et al.* (2024) y Alshemeili *et al.* (2023), quienes identificaron brechas en conocimientos específicos entre universitarios. Estos resultados respaldan la necesidad de fortalecer contenidos sobre etiología, transmisión y prevención de las ITS en la formación universitaria.

En contraste, el conocimiento sobre los signos, síntomas y vías de transmisión de las ITS fue predominantemente adecuado, lo que podría estar relacionado con la capacitación previa recibida por una proporción importante de los universitarios. Estos resultados guardan relación con lo reportado por Lagadinou *et al.* (2024), quienes evidenciaron un conocimiento favorable sobre diversos aspectos relacionados con la transmisión y prevención de las ITS en estudiantes universitarios. Sin embargo, las dificultades observadas en la identificación de los agentes etiológicos revelan la persistencia de vacíos en conocimientos específicos, siendo necesario fortalecer una formación más integral sobre estas infecciones.

Por otra parte, aunque la mayoría de los estudiantes reconoció el preservativo como una medida eficaz para prevenir las ITS, su uso constante fue limitado, evidenciando una brecha entre conocimiento y conducta preventiva. Este hallazgo coincide con Santos *et al.* (2024), quienes reportaron que solo el 39,4 % de los universitarios utilizaba preservativo de manera consistente. Asimismo, Elshiekh *et al.* (2023) identificaron que su uso estaría relacionado con factores como el conocimiento, la percepción del riesgo, las normas sociales y la autoeficacia. Estos resultados sugieren que la educación sexual debe complementar la información con estrategias orientadas a fortalecer habilidades y factores psicosociales que favorezcan prácticas sexuales seguras.

Asimismo, los resultados obtenidos mostraron que una proporción importante de los estudiantes reconoce principalmente el uso del preservativo como estrategia de prevención de las ITS, mientras que otras medidas, como la vacunación, la disminución del número de parejas

sexuales y el tamizaje periódico, fueron identificadas con menor frecuencia. Este hallazgo refleja una visión limitada de la prevención, centrada en una única medida, lo que podría restringir la adopción de estrategias integrales para disminuir el riesgo de infección.

En este sentido, Cegolon *et al.* (2022) reportaron que únicamente el 28 % de los estudiantes universitarios italianos identificó más de un método preventivo, concentrando la mayor parte de sus conocimientos en el uso del preservativo. De forma similar, Gnatou *et al.* (2022) observaron que, aunque los estudiantes universitarios de Togo reconocían el preservativo como la principal medida de prevención, el conocimiento sobre estrategias complementarias, como la vacunación frente al virus del papiloma humano y la hepatitis B, era considerablemente menor. Asimismo, Zango *et al.* (2024) encontraron que el uso del preservativo fue la conducta preventiva más frecuente entre los universitarios, mientras que prácticas como el tamizaje periódico para ITS, la consejería en salud sexual y la reducción de conductas de riesgo fueron poco adoptadas. En conjunto, estos hallazgos evidencian que el conocimiento sobre prevención continúa siendo parcial y que persiste la necesidad de promover una cultura de prevención integral que incorpore múltiples estrategias complementarias para el control de las ITS.

En conjunto, los hallazgos aportan información relevante sobre los conocimientos y las prácticas preventivas frente a las ITS en estudiantes universitarios del nororiente peruano, evidenciando que persisten brechas entre la información disponible y la adopción de conductas preventivas. Estos resultados resaltan la necesidad de fortalecer la educación sexual universitaria mediante intervenciones continuas e integrales que, además de proporcionar conocimientos, promuevan habilidades, actitudes y decisiones responsables orientadas a la prevención de las ITS.

Entre las principales limitaciones del estudio se encuentran el diseño transversal, que impide establecer relaciones causales; el muestreo no probabilístico por conveniencia, que limita la representatividad y generalización de los resultados y el uso de un cuestionario autoadministrado pudo favorecer respuestas influenciadas por la deseabilidad social. Además, no se evaluaron algunos factores socioculturales y socioeconómicos potencialmente relacionados con los conocimientos y las prácticas preventivas. Por ello, futuras investigaciones deberían considerar diseños analíticos o longitudinales y muestras probabilísticas que permitan profundizar en los factores asociados con las conductas preventivas frente a las ITS.

CONCLUSIONES

En conclusión, los estudiantes universitarios evaluados presentaron un nivel regular de conocimiento y prácticas preventivas frente a las infecciones de transmisión sexual, evidenciándose una brecha entre el conocimiento teórico y la adopción de conductas preventivas. Estos hallazgos resaltan la necesidad de fortalecer las estrategias de educación sexual integral mediante programas permanentes, interdisciplinarios y con enfoque de género, orientados no solo a mejorar el nivel de conocimiento, sino también a promover cambios conductuales que favorezcan la prevención de las ITS y el ejercicio de una sexualidad responsable.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alekhy, G., Parida, S.P., Giri, P.P., Begum, J., Patra, S., Sahu, DP. (2023). Effectiveness of school-based sexual and reproductive health education among adolescent girls in Urban areas of Odisha, India: a cluster randomized trial. *Reprod Health*,20(1),105. <https://doi.org/10.1186/s12978-023-01643-7>
- Alshemeili, A., Alhammadi, A., Alhammadi, A., Al Ali, M., Alameeri, E.S., Abdullahi, A.S., Abu-Hamada, B., et al. (2023). Sexually transmitted diseases knowledge assessment and associated factors among university students in the United Arab Emirates: a cross-sectional study. *Front. Public Health*, 11,1284288. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1284288>
- Bogale, E.K., Anagaw, T.F., Tiruneh, M.G., Fenta, E.T., Endeshaw, D., Delie, A.M., et al. (2024). Prevalence of sexually transmitted infections, and its associated factors among students in Ethiopia: a systematic review and meta-analysis study. *BMC Public Health*, 24(1), 1976. <https://doi.org/10.1186/s12889-024-19548-w>
- Capraș, R.D., Telecan, T., Crețeanu, R., Crivii, C.B., Badea, A.F., Cordoș, A.A., et al. (2025). Knowledge, attitudes, and behaviors regarding sexually transmitted infections among romanian medical students: A cross-sectional study. *Healthcare*, 13(10), 1120. <https://www.mdpi.com/2227-9032/13/10/1120>
- Cárcamo, C.P., Campos, P.E., García, P.J., Hughes, J.P., Garnett, G.P., Holmes, K.K. (2012). Prevalences of sexually transmitted infections in young adults and female sex workers

- in Peru: a national population-based survey. *Lancet Infect Dis*, 12(10), 765-773.
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3459082/>
- Carrión Ordóñez, I., Salinas, S.E.B., Coronel, S.A.I., Escalona, E. (2020). Conocimientos sobre sexualidad y conductas sexuales de jóvenes universitarios, Cañar 2020. *RECIMUNDO*, 4(4), 115-128. <https://recimundo.com/index.php/es/article/view/931>
- Cegolon, L., Bortolotto, M., Bellizzi, S., Cegolon, A., Bubbico, L., Pichierri, G. (2022). A Survey on Knowledge, prevention, and occurrence of sexually transmitted infections among freshmen from four Italian universities. *Int J Environ Res Public*, 19(2), 897. <https://www.mdpi.com/1660-4601/19/2/897>
- Contreras, J & Rodríguez M. (2023). Educación sexual, familia y escuela. Una aproximación desde las representaciones sociales de docentes chilenos. *Perfiles educativos*, 45(181), 41-60. <https://doi.org/10.22201/iisue.24486167e.2023.181.60736>
- Duarte-Anselmi, G., Leiva-Pinto, E., Vanegas-López, J., Thomas-Lange, J. (2022). Experiencias y percepciones sobre sexualidad, riesgo y campañas de prevención de ITS/VIH por estudiantes universitarios. Diseñando una intervención digital. *Ciência Saúde Coletiva*, 27, 909-920. <https://www.scielo.org/article/csc/2022.v27n3/909-920/>
- Elshiekh, H.F., Hoving, C., de Vries, H. (2023). Psychosocial determinants of consistent condom use among university students in Sudan: findings from a study using the Integrated Change Model. *BMC Public Health*, 23(1), 578. <https://doi.org/10.1186/s12889-023-15466-5>
- Espinoza-Hilario, S.S., & Arellano-Lazo, D.B. (2022). Factores asociados al conocimiento sobre enfermedades de transmisión sexual en estudiantes de una institución educativa pública, 2021. *Revista Cuidado Y Salud Pública*, 2(1), 41–47. <https://doi.org/10.53684/csp.v2i1.41>
- Garibay, M.C., Fuentes, M.F., Morán, C.C.M. (2024). Percepción sobre prácticas sexuales e infecciones de transmisión sexual en jóvenes universitarios de Lima, Perú. *Rev Enferm Hered*, 17(1): e5714. <https://revistas.upch.edu.pe/index.php/RENH/article/view/5714>

- Gnatou, G.Y.S., Gbeasor-Komlanvi, F.A., Sadio, A.J., Konu, Y.R., Tchankoni, M.K., Zida-Compaore, W.I.C., et al. (2022). Knowledge and practices of female students at university of Kara regarding sexually transmitted infections in Togo, 2021. *J Public Health Afr.*, 13(2), 2225. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9425935/>
- Grabowska, P., Lewoc, M., Jakubowicz-Zalewska, O., Mierzejewska, P., Baran, A., Flisiak, I. (2020). What do you know about sexually transmitted infections? Survey concerning knowledge and risky behaviors among students of Białystok universities. *Przegl Epidemiol.*, 74(2), 370-382. <https://doi.org/10.32394/pe.74.30>.
- González Chico, M. G., Enríquez Cadena, J. L., Díaz Bautista, M. L., Chicaiza Llano, G. C., Ceballos Marcillo, A. J. (2025). La Verdad sobre el Conocimiento de las ITS en los Estudiantes de la Carrera de Enfermería del Instituto Tecnológico Superior España. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 9(1), 11039-11050. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i1.16683
- Guevara-Ibarbo, Y.M., Solórzano-Álvarez, N.J., Duran-Pincay, Y.E. (2024). Enfoque epidemiológico de las enfermedades de transmisión sexual, prevención y control en Latinoamérica y El Caribe. *MQRInvestigar*, 8(1), 2633-2658. <https://www.investigarmqr.com/ojs/index.php/mqr/article/view/1018>
- Guo, R., Xie, H., Zhao, W., Wang, J. (2025). Web-based sexual and reproductive health education for adolescents aged 10–17 years: a systematic review and meta-analysis. *BMJ Paediatr Open*, 9(1). <https://bmjpaedsopen.bmj.com/content/9/1/e003714>
- Íncera-Fernández, D., Román, F.J., Gámez-Guadix, M. (2022). Risky sexual practices, sexually transmitted infections, motivations, and mental health among heterosexual women and men who practice sexualized drug use in Spain. *Int J Environ Res Public Health*, 19(11), 6387. <https://www.mdpi.com/1660-4601/19/11/6387>
- Kalungi, H., Kamacooko, O., Lunkuse, J.F., Namutebi, J., Naluwooza, R., Price, M.A. (2023). Prevalence and factors associated with illicit drug and high-risk alcohol use among adolescents living in urban slums of Kampala, Uganda. *BMC Public Health*, 24, 1709. <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2023.07.20.23292973v1>

- Lagadinou, M., Spiliopoulou, K., Paraskevas, T., Gkentzi, D., Assimakopoulos, S., Katsakiori, P., et al. (2024). Knowledge and attitudes of medical and nursing students in a greek university regarding sexually transmitted diseases. *Int J Environ Res Public Health*, 21(3), 251. <https://www.mdpi.com/1660-4601/21/3/251>
- Lao-López, C., Garriga-Comas, N., Goberna-Tricas, J. (2024). Factores asociados al aumento de infecciones de transmisión sexual en hombres: una revisión integradora. *Enferm Glob*, 23(74), 534-562. https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1695-61412024000200018&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Mercado, G.V.R. & Yupanqui, S.R.C. (2023). Comportamiento sexual de riesgo relacionado a Enfermedades de Trasmisión Sexual en Estudiantes Universitarios. *Cienc Lat Rev Científica Multidiscip*, 7(2), 5262-5278. <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/5717>
- Osborne, A., Wongnaah, F.G., Adeleye, K., Bangura, C., Aboagye, R.G., Ahinkorah, B.O. (2024). Early sexual debut among adolescent girls and young women in Sierra Leone: A multilevel analysis of prevalence and predictors. *Contracept Reprod Med*, 9(1), 56. <https://doi.org/10.1186/s40834-024-00309-4>
- Organización Mundial de la Salud – OMS (2025). Infecciones de transmisión sexual (ITS). [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/sexually-transmitted-infections-\(stis\)](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/sexually-transmitted-infections-(stis))
- Organización Panamericana de la Salud- OPS/OMS (2025). Salud Sexual y Reproductiva. <https://www.paho.org/es/temas/salud-sexual-reproductiva>
- Pérez – Fernández, J., Arroyo-Velasco, D.O., Huaman, M.R., Chavez-Bustamante, S.G., Llamó-Vilcherrez, A.P., Delgado-Flores, C.J., et al. (2023). Association between early sexual initiation and sexually transmitted infections among Peruvian reproductive-age women. *Front Public Health*, 11, 1191722. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10544918/>

- Petrova, D., Garcia-Retamero, R. Effective evidence-based programs for preventing sexually-transmitted infections: A meta-analysis. (2015). *Curr HIV Res.* 2015,13(5),432-438. <https://doi.org/10.2174/1570162X13666150511143943>
- Rodríguez-García, A., Botello-Hermosa, A., Borrallo-Riego, Á., Guerra-Martín, M.D. (2025). Effectiveness of comprehensive sexuality education to reduce risk sexual behaviours among adolescents: A systematic review. *Sexes*, 6(1), 6. <https://www.mdpi.com/2411-5118/6/1/6>
- Santos, M.J.O., Ferreira, E.M.S., Ferreira, M.C. (2024). Predictors of condom use among college students. *Int J Environ Res Public Health*, 21(4), 433. doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph21040433>.
- Sepúlveda, N.M.S., Rivera, D.I.C., Romero, L.A.L., Wandurraga, M.J.D. (2024) Factores asociados al inicio de actividad sexual en adolescentes: Estudio transversal analítico. *Rev Cuid*, 15(1). <https://revistas.udes.edu.co/cuidarte/article/view/3304>
- Scotini, D.P., Tomazelli, P.H., Miranda, M.S., Elisei, L.G., La-Rotta, E.I., dos Reis, L.A., da Silva, P.G. (2025). Knowledge of sexually transmitted infections among health sciences students and teachers in southeastern Brazil. *The Journal of Infection in Developing Countries*, 19(06), 934–940. <https://doi.org/10.3855/jidc.20139>
- Torres, L.M., Álvarez, R.I., Pérez, J.E. (2022). Medicina de Urgencias Tomo 2. *Puerto Madero Editorial Académica*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=933125>
- Villacorte, M.L., Reyes, E.S., & Muepas, R.R. (2025). Conocimientos y prácticas sobre prevención de ITS en estudiantes de primeros niveles FIACA - UPEC. *METANOIA: REVISTA DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN*, 11(2), 187–214. <https://doi.org/10.61154/metanoia.v11i2.4033>
- Zabala, B., Sánchez Bouza, N., Duany Badell, L.E., Omayda Albelo, M., Rodríguez Medina, J.D., Cabada Martínez, Y., et al. (2023). Conocimientos sobre infecciones de transmisión sexual en adolescentes de Parroquia Naiguatá. La Guaira. Venezuela, 2021. *MediSur*, 21(5), 960-969. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1727897X2023000500960&lng=es&nrm=iso&tlng=es

- Zango, A.B., Stutterheim, S.E., de Vries, N., Crutzen, R. (2024). Determinants of preventive sexual behaviours among first year university students in Beira city, central Mozambique: a cross-sectional study. *Reprod Health*, 21(1), 3. <https://doi.org/10.1186/s12978-023-01733-6>
- Zizza, A., Guido, M., Recchia, V., Grima, P., Banchelli, F., Tinelli, A. (2021). Knowledge, information needs and risk perception about HIV and sexually transmitted diseases after an education intervention on italian high school and university students. *Int J Environ Res Public Health*, 18(4), 2069. <https://www.mdpi.com/1660-4601/18/4/2069>

ARTÍCULO ORIGINAL

Aplicación de la herramienta 5S para la mejora de la gestión de producción en una empresa metalmecánica de Cajamarca

Application of the 5S tool for improving production management in a metalworking company in Cajamarca

Cleiver Castillo ¹ , Jheny Vargas ²  y Alfredo Lizana ³ 

RESUMEN

En esta investigación se aplicó la herramienta 5S a nivel piloto para la mejora de la gestión de producción en una empresa metalmecánica de Cajamarca, en el año 2023. El estudio fue de tipo aplicado, con enfoque cuantitativo y con alcance descriptivo y de nivel no experimental, los datos se recolectaron mediante una entrevista al gerente de la empresa, una guía de observación y análisis documental. Los resultados demostraron que la gestión de producción mejoró significativamente, evidenciando un incremento del cumplimiento de la herramienta 5S, pasando de 17% a un 75% y un aumento de la productividad del 30% al 71%. La adecuada gestión permitió aprovechar mejor el tiempo y aumentar la producción, generando beneficios económicos medibles de S/ 65825.45 para el VAN; 48.56% para la TIR y un beneficio/costo de 9.69, demostrando la viabilidad de la implementación.

Palabras clave: Herramienta 5S, gestión de producción, metalmecánica, mejora continua, servicios

ABSTRACT

In this research, the 5S tool was applied at a pilot level to improve production management in a metalworking company in Cajamarca in 2023. The study was applied, with a quantitative approach and descriptive and non-experimental scope. Data was collected through an interview with the company manager, an observation guide, and document analysis. The results showed that production management improved significantly, with an increase in compliance with the 5S tool from 17% to 75% and an increase in productivity from 30% to 71%. Proper management allowed for better use of time and increased production, generating measurable economic benefits of S/ 65,825.45 for the NPV; 48.56% for the IRR and a benefit/cost ratio of 9.69, demonstrating the viability of the implementation.

Keywords: Wavelength 5S tool, production management, metalworking, continuous improvement, services

* Autor para correspondencia

¹ Universidad Privada del Norte, Perú. Email: n00193511@upn.pe, 73303993@pronabec.edu.pe

² Universidad Nacional de Jaén, Perú. Email: alfredo.lizana@est.unj.edu.pe

INTRODUCCIÓN

La manufactura en PYMEs enfrenta el reto de adaptar y estandarizar métodos de mejora al ritmo y condiciones del proceso productivo. Pawlak et al. (2023) señalan que la falta de un método estandarizable y flexible dificulta medir con fiabilidad las variaciones en eficiencia. En ese contexto, la herramienta 5S se presenta como una solución práctica para reducir búsquedas, desperdicios y tiempos muertos. No obstante, Karvounis (2021) advierte que las pérdidas por falta de localización y resistencia al cambio pueden persistir si la implementación es débil. Además, Aktar-Demirtas et al. (2023) enfatizan la escasez de evidencia sobre la sostenibilidad de la herramienta 5S en PYMEs, y Piwowar-Sulej y Iqbal (2024) alertan que sin pruebas, inspecciones y aceptación del personal, la implantación puede fracasar cerca del 50%.

Estos mismos problemas se observan en el taller metalmecánico analizado, donde el desorden de herramientas y la ausencia de zonas específicas incrementan riesgos de accidentes, prolongan plazos de entregas y deterioran la imagen institucional. La ejecución improvisada y la falta de planificación técnica se traducen en ineficiencias recurrentes, tales como retrasos, incumplimiento de cronogramas y reclamaciones de clientes. Por tanto, el orden, la estandarización y la gestión del cambio emergen como prioridades para recuperar confiabilidad operativa y reducir desperdicios.

Las evidencias internacionales respaldan el potencial de la herramienta 5S. Por ejemplo, Faishal et al. (2024) reportan una reducción de defectos cercana al 50% al combinar 5S con análisis de las 6M. Asimismo, Shahriar et al. (2022), Senthil-Kumar et al. (2022) y Teplická et al. (2021) documentan reducciones significativas en tiempos operativos y movimientos innecesarios, así como aumentos de productividad. En el ámbito nacional, estudios como el de Leon-Ludena et al. (2023) asocian la gestión de inventarios y la planificación con la recuperación productiva; por otro lado, Flores et al. (2023) documentan acortamientos de tiempos de ciclo y aumentos en capacidad y eficiencia; asimismo, Bravo (2023) y Vargas y Jiménez (2021) destacan mejoras en las condiciones laborales, auditorías de 5S y reducción de contaminantes.

La base teórica, según Socconini (2019), respalda la intervención práctica, pues la herramienta 5S busca un entorno eficiente, seguro y control visual; además, orientan a eliminar lo innecesario, ordenar, limpiar, normalizar y generar disciplina, con beneficios que incluyen eficiencia operativa, calidad y satisfacción del personal. Por otro lado, Nair (2023) define productividad como la relación entre recursos y unidades producidas y se enfatizan las funciones

de planificación, organización, dirección y control para gestionar la producción coherente y sosteniblemente.

Frente a este marco, la investigación buscó aplicar las prácticas de trabajo en un taller metalmecánico mediante la evaluación, adecuación e implementación piloto de la 5S para elevar indicadores operativos y demostrar viabilidad económica. El objetivo principal fue aplicar la herramienta 5S a nivel piloto para la mejora de la gestión de producción en una empresa del departamento de Cajamarca, durante el año 2023.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación es de tipo aplicado, con un enfoque cuantitativo y alcance descriptivo no experimental, orientada a analizar variables relacionadas con la gestión de producción y a identificar causas y efectos del problema estudiado, siguiendo el protocolo propuesto por Pimienta y De la Orden (2017).

La población objeto de estudio es finita y estuvo constituida por los cinco trabajadores del área de producción del taller metalmecánico de una empresa del departamento de Cajamarca, que por razones éticas y de confidencialidad su nombre se mantiene en reserva para proteger la privacidad de los participantes y evitar perjuicios comerciales. Por lo tanto, la muestra coincidió con el 100% de la población (cinco trabajadores).

Se combinaron técnicas cualitativas y cuantitativas para la recolección de datos. De acuerdo a la metodología sugerida por Nair (2023), se aplicó una entrevista semiestructurada al gerente para obtener información sobre la gestión y el contexto organizacional. Luego, de acuerdo a Arhas y Suprianto (2020), se realizaron observaciones de campo guiadas por las 6M (Material, Método, Personal, Medio, Máquina y Medición) para inspeccionar procedimientos y condiciones. Además, se efectuó un análisis documental para explorar y sintetizar registros e informes relevantes al proceso productivo.

La Matriz de Instrumentos resume la relación entre técnica, instrumento, objetivo y ámbito de aplicación, por ello se tuvo guía de entrevista, guía de observación y ficha de registro de producción, tal como están ordenadas en la Tabla 1. La guía de entrevista, tomada de Alva y Orosco (2021), permitió diagnosticar el contexto del taller aportando información sobre problemas recurrentes, actitudes frente al cambio, procesos, mantenimiento de maquinaria y conocimiento sobre la herramienta 5S.

Tabla 1*Matriz de Instrumentos*

Técnica / Herramienta	Instrumento	Logro	Aplicación
Entrevista	Guía de entrevista	Esta técnica va a permitir recolectar datos para conocer la situación actual de la metalmecánica en lo que concierne al área de producción de puertas metálicas.	Se aplicará al gerente general de la empresa ya que es quien gestiona el área de producción de puertas metálicas.
Observación	Guía de observación	Se evaluará a la empresa con visitas constantes, para la detección de problemas y realizar un análisis.	Se llevará a cabo en el desarrollo con el personal encargado del proceso productivo de puertas metálicas.
Análisis documental	Ficha de registros de producción	Permitirá extraer datos específicos de los documentos para responder a las preguntas de investigación o para abordar los objetivos del análisis.	Se recopilará una variedad de datos relacionados al tema de estudio. Estos documentos incluyen informes, imágenes, entre otros.

Nota. Instrumentos utilizados para recolectar y procesar la información.

La guía de observación, detallada en la Tabla 2, fue adaptada de Arhas y Suprianto (2020), consideró las dimensiones de las 6M y se utilizó durante las visitas para diagnosticar la situación real del área productiva (materiales, métodos, personal, ambiente, máquinas y mediciones). Esta herramienta facilitó la identificación de ineficiencias en el flujo de trabajo y el comportamiento operativo del personal, a partir de inspecciones sistemáticas y registros de campo.

Tabla 2*Guía de observación*

Check List	Fecha:			
	Nro. Doc.			
	Elaborado por:			
Diagnóstico de la empresa metalmecánica				
Ítem	Causas	Otros		
		Sí	No	N /A
Material				
1	Los almacenes cuentan con cantidades suficientes de insumos y materia prima para la producción.			
2	El porcentaje merma es inferior al de producción.			
3	El material cuenta con la debida clasificación y organización en el almacén.			
Medio				
4	La organización entre áreas permite el flujo apropiado en los recorridos			

5	Se evidencian condiciones seguras en los puestos de trabajo.
Personal	
6	Se cuenta con personal capacitado.
7	Existe personal fijo en el área de producción.
8	Se percibe una buena actitud por parte del personal.
Método	
9	Los procedimientos se encuentran estandarizados.
10	La planificación es cumplida por los trabajadores.
Medición	
11	Existen formatos oficiales para registro de indicadores o KPI.
12	Los inventarios se actualizan en tiempo real.
13	Se maneja un estándar de calidad en cuento a selección de proveedores.
Máquina	
14	Los costos de mantenimiento se encuentran bajo control.
15	El programa de mantenimiento preventivo se cumple a cabalidad.
16	La disponibilidad es garantizada por las labores de mantenimiento.

Nota. Tomado de Ulloa (2022)

La ficha de registro de producción, tomada de Oleksiak et al. (2025) permitió verificar la eficacia, eficiencia y productividad en torno a la herramienta 5S, por ello se emplearon las ecuaciones: Eficacia = $[100 * (\text{Producción real} / \text{Producción esperada})]$; Eficiencia = $[100 * (\text{Tiempo empleado} / \text{Tiempo disponible})]$; y Productividad = $[\text{Eficacia} * \text{Eficiencia}]$. Se consideraron datos como demanda proyectada, demanda atendida, tiempo efectivo de trabajo y tiempo total de trabajo mes a mes, información que sirvió para cuantificar mejoras y establecer comparaciones con el periodo anterior, tal como se precisa en la Tabla 3.

Tabla 3

Test de verificación de la herramienta 5S

Mes	Demanda proyectada (unidades)	Demanda atendida (unidades)	Eficacia	Tiempo efectivo de trabajo (minutos)	Eficiencia	Productividad
Enero						
Febrero						
Marzo						
Abril						
Mayo						
Junio						
Julio						
Agosto						
Setiembre						
Octubre						
Noviembre						
Diciembre						

El procesamiento de los datos cuantitativos se realizó con el programa estadístico SPSS versión 27. La información cualitativa de entrevistas y observaciones se sistematizó mediante fichas y síntesis temáticas, lo que permitió contrastar hallazgos y triangular evidencias entre fuentes de campo y documentación histórica.

El procedimiento inició con visitas al taller para aplicar la entrevista al gerente y la guía de observación, con el objetivo de diagnosticar el área productiva. Con la información de campo se elaboró un diagrama de Ishikawa bajo el enfoque de las 6M para identificar causas raíz. Las causas detectadas fueron ponderadas mediante una matriz de correlación y priorizadas con la regla 80/20 aplicando un diagrama de Pareto para focalizar acciones correctivas. Luego, se complementó el diagnóstico con la revisión de registros históricos mediante la ficha de producción, evaluando en una tabla del año anterior la demanda real atendida y los niveles de eficacia, eficiencia y productividad. Con esos insumos se clasificaron y diseñaron formatos para cada fase de la herramienta 5S, abarcando actividades de clasificación, orden, limpieza, organización, estandarización y mantenimiento.

La implementación piloto de la herramienta 5S inició con la identificación y etiquetado rojo de equipos y herramientas innecesarios. Continuó con el ordenamiento mediante estantes, contenedores (tapers) y rótulos según la rotación de uso. Luego, se estableció un cronograma de limpieza y se aplicaron formatos de verificación para procesos estandarizados. Paralelamente, se realizaron actividades de socialización para consolidar la disciplina y el compromiso del personal frente al cambio. La verificación de mejoras se efectuó reaplicando el instrumento diagnóstico inicial y comparando resultados antes y después de la intervención. Por último, la evaluación de la mejora en productividad se realizó con la tabla de productividad que incluye variables como demanda, eficacia, eficiencia y productividad, teniendo como unidad de análisis la producción de puertas metálicas.

La evaluación económica confrontó los costos asociados a implementar o no la herramienta 5S, mediante un flujo de caja mensual que permitió calcular indicadores financieros (VAN, TIR y B/C) y determinar la viabilidad económica de la intervención.

Por último, se respetaron aspectos éticos, puesto que se contó con una carta de autorización firmada por la gerencia para la recolección, uso y procesamiento de datos. La participación de colaboradores fue informada y consentida antes de aplicar entrevistas,

observaciones y tomar fotografías. Asimismo, se respetaron los derechos de autor citando y referenciando las investigaciones utilizadas como respaldo del estudio.

RESULTADOS

La observación sistemática mostró hallazgos críticos en las 6M, tal como se muestra en la Tabla 4. Se identificó falta de clasificación y organización de material en almacén, deficiencias en condiciones seguras de trabajo, ausencia de procedimientos estandarizados, incumplimiento de planificación, inexistencia de formatos oficiales para indicadores y actualización de inventarios, y carencias en mantenimiento preventivo y control de costos.

Tabla 4

Resultados de la observación realizada

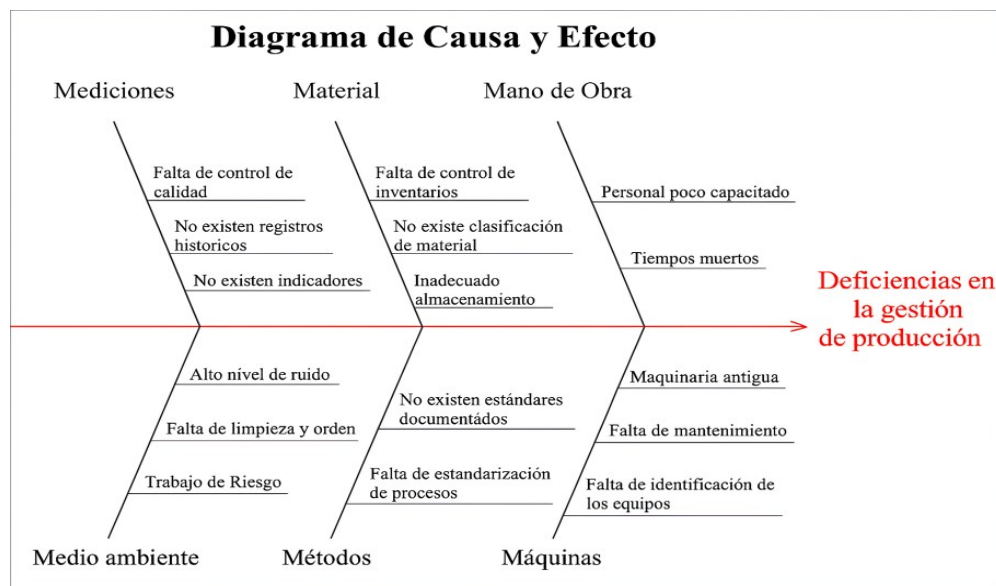
Diagnóstico de la empresa metalmecánica				
Ítem	Causas	Sí	Otros No	N /A
Material				
1	Los almacenes cuentan con cantidades suficientes de insumos y materia prima para la producción.			N/A
2	El porcentaje merma es inferior al de producción.	Sí		
3	El material cuenta con la debida clasificación y organización en el almacén.		No	
Medio				
4	La organización entre áreas permite el flujo apropiado en los recorridos		No	
5	Se evidencian condiciones seguras en los puestos de trabajo.		No	
Personal				
6	Se cuenta con personal capacitado.		No	
7	Existe personal fijo en el área de producción.	Sí		
8	Se percibe una buena actitud por parte del personal.	Sí		
Método				
9	Los procedimientos se encuentran estandarizados.		No	
10	La planificación es cumplida por los trabajadores.		No	
Medición				
11	Existen formatos oficiales para registro de indicadores o KPI.		No	
12	Los inventarios se actualizan en tiempo real.		No	
13	Se maneja un estándar de calidad en cuanto a selección de proveedores.		No	
Máquina				
14	Los costos de mantenimiento se encuentran bajo control.		No	
15	El programa de mantenimiento preventivo se cumple a cabalidad.		No	
16	La disponibilidad es garantizada por las labores de mantenimiento.		No	

Nota. Formato basado en las 6M para evaluar la situación inicial de la empresa

A partir de los hallazgos se construyó un diagrama de Ishikawa, detallado en la Figura 1, y se codificaron 16 causas potenciales (detallados en la primera columna de la tabla anterior). Una matriz de correlación cuantificó relaciones entre causas mediante valores 1/0, lo que permitió calcular frecuencias y agrupar problemas afines, detallados en la Tabla 5. Entre los clústeres más recurrentes destacaron limpieza/orden, clasificación y almacenamiento, seguidos por tiempos muertos, falta de indicadores y problemas de mantenimiento y estandarización.

Figura 1

Diagrama Ishikawa de posibles causas del problema de la empresa metalmecánica



Nota. La figura representa las causas más significantes del problema en la gestión de producción.

Tabla 5

Frecuencia acumulada del número de incidencias

Código	Causas	Cantidad de ocurrencias	% Frecuencia Relativa	% Frecuencia Acumulada
C15	Falta de limpieza y orden	11	8%	8%
C7	No existe clasificación de material	10	8%	16%
C8	Inadecuado almacenamiento	10	8%	24%
C2	Tiempos muertos	9	7%	31%
C5	No existen indicadores	9	7%	38%
C9	Falta de identificación de los equipos	9	7%	45%
C10	Falta de mantenimiento	9	7%	52%
C11	Maquinaria antigua	9	7%	58%
C12	Falta de estandarización de procesos	8	6%	65%
C13	No existen estándares documentados	8	6%	71%
C14	Trabajo de riesgo	8	6%	77%
C3	Falta de control de calidad	7	5%	82%

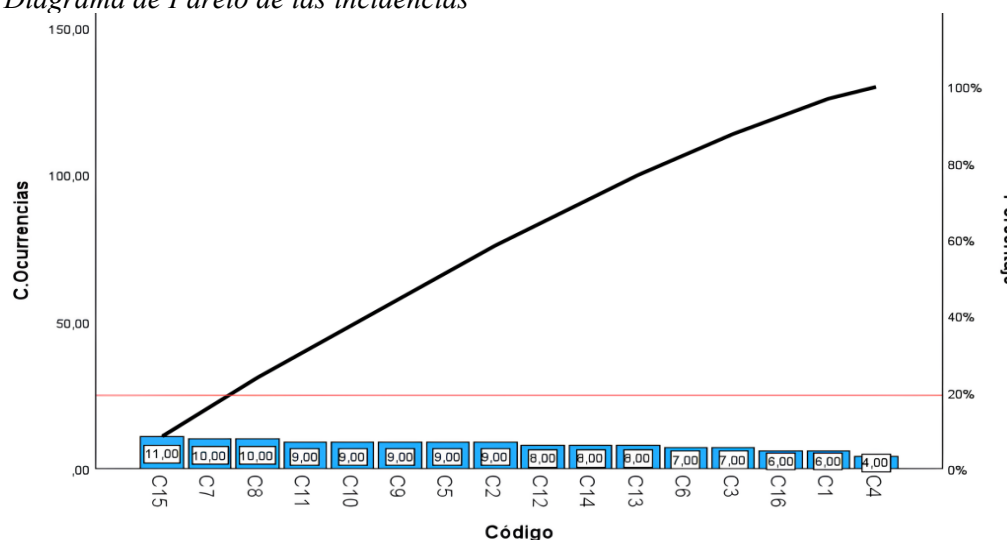
C6	Falta de control de inventarios	7	5%	88%
C1	Personal poco capacitado	6	5%	92%
C16	Alto nivel de ruido	6	5%	97%
C4	No existe registro histórico	4	3%	100%
Total		130	100%	

Nota. Cuantificación porcentual de la representación general de cada problema.

En base a los resultados de la Tabla 5, se realizó la aplicación de Pareto (Figura 2), revelando que las causas más significativas fueron falta de limpieza y orden (C15), ausencia de clasificación de material (C7) e inadecuado almacenamiento (C8); las dos primeras concentran el 16% y las tres primeras el 24% de las incidencias registradas.

Figura 2

Diagrama de Pareto de las incidencias



Nota. En esta figura se observa que los focos vitales corresponden: falta de limpieza y orden (C15), no existe clasificación de material (C7) y el inadecuado almacenamiento (C8).

El análisis de productividad del año 2022 se hizo con registros de ventas y metas mensuales, tal como se indica en la Tabla 6. Se consideró que cada puerta (unidad de producción) requiere 7 horas de fabricación y una jornada semanal de 48 horas. Los índices iniciales registrados fueron: eficacia 0.68 pedidos/h, eficiencia 0.67 pedidos/h y productividad laboral 0.46 pedidos/h (46%).

Tabla 6*Productividad del año 2022 en la empresa metalmecánica*

Mes	Demanda proyectada (unidades)	Demanda atendida (unidades)	Eficacia	Tiempo efectivo de trabajo (minutos)	Eficiencia	Productividad
Enero	12	8	0.67	3360	0.54	36%
Febrero	9	6	0.67	2520	0.40	27%
Marzo	9	7	0.78	2940	0.47	37%
Abril	9	7	0.78	2940	0.47	37%
Mayo	9	6	0.67	2520	0.40	27%
Junio	9	5	0.56	2100	0.34	19%
Julio	12	10	0.83	4200	0.67	56%
Agosto	9	6	0.67	2520	0.40	27%
Setiembre	9	5	0.56	2100	0.34	19%
Octubre	9	6	0.67	2520	0.40	27%
Noviembre	9	7	0.78	2940	0.47	37%
Diciembre	9	5	0.56	2100	0.34	19%
Promedio	10	7	0.68	2730	0.44	30%

Nota. Se elaboró con datos brindados por la empresa metalmecánica.

La adecuación de la herramienta 5S cubrió las zonas de soldadura, pintura, reparación, almacén y áreas comunes. Para la implementación de SEIRI se redactó un inventario en Excel (Tabla 7), considerando criterios de frecuencia/obsolescencia y tarjeta roja. Se documentó 90 herramientas de mano, 70 puertas en proceso, 2 máquinas, 10 herramientas innecesarias (rojas), 500 kg reciclados y 4 m² liberados, con una reducción estimada del 30% en tiempo de búsqueda.

Tabla 7*Implementación de herramienta SEIRI*

Área de Trabajo: Sección de Producción y Taller de Herramientas
Inventario Inicial
Herramientas de mano: 90 unidades
Materia les en proceso: 70 puertas
Equipos: 2 máquinas
Productos terminados: 5 puertas
Materia les de desecho: 40 kg
Criterios de Clasificación
Frecuencia de uso: diario, Semanal, Mensual

Estado: Buen estado, Reparables, irreparables

Necesidad: Esenciales, Ocasionalmente necesarios, Innecesarios

Resultados de Clasificación

Herramientas ocasionalmente necesarias:40

Herramientas innecesarias:10 (rojas)

Materia les reciclados: 500 kg

Espacio liberado: 4 metros cuadrados

Impacto y Beneficios

Mejora en eficiencia: Reducción del 30% en tiempo de búsqueda de herramientas

Reducción de costos: Ahorros significativos en a almacenamiento y mantenimiento

Nota. Clasificación de los materiales y herramientas.

En SEITON se instalaron estantes, tapers rotulados y cinta de señalización para delimitar zonas y facilitar retornos. En la Tabla 8 se precisa que los materiales para organización tuvieron un costo total de S/702.

Tabla 8

Materiales utilizados para organizar

Materiales	Cantidad	Precio	Total
Estante	2	S/ 200.00	S/ 400.00
Taper	8	S/ 25.00	S/ 200.00
Rotulos	13	S/ 3.00	S/ 39.00
Cinta de señalización	2	S/ 31.50	S/ 63.00
Total			S/ 702.00

Nota. Materiales que facilitaron la organización de los estantes.

En SEISO se definieron estándares y responsabilidades de limpieza, se capacitó al personal y se adquirieron implementos, tal como se precisa en la Tabla 9. El listado y la compra de insumos y equipo sumaron S/1,186, incluyendo aspiradora industrial, escobas, recipientes y EPP. Además, se planificaron auditorías periódicas para sostener la limpieza.

Tabla 9

Personal de limpieza para la herramienta SEISO

Personal de Limpieza - Planta de Producción					
Operarios	Función	Frecuencia de limpieza			
		Diario	Semanal	Quincenal	Mensual
Nº1	Limpiar y programar mantenimiento de máquinas				x
Nº2	Limpiar elementos del área de trabajo	x			

N°3	Barrer y trapear los pisos	x		
N°4	Limpiar equipos de trabajo		x	
N°5	Limpiar ventanas y paredes del área de trabajo			x
N°6	Limpiar estantería y organizadores	x		

Nota. Secuencia de actividades de limpieza y periodicidad.

Respecto a la estandarización (SEIKETSU), se alcanzó cumplimiento total en clasificación, cumplimiento mayoritario en organización y mantenimiento de los programas de limpieza. En términos agregados, el índice promedio de cumplimiento pasó de 17% (inicial) a 75% (final), según la comparación cuantitativa presentada en la Tabla 10.

Tabla 10

Comparación de indicadores antes y después de aplicada la herramienta 5S

Ítems a Evaluar	Nivel Inicial	Nivel Final	Nivel Máximo	Porcentaje inicial	Porcentaje final
Material	1	3	3	33%	100%
Medio ambiente	0	2	2	0%	100%
Personal	2	3	3	67%	100%
Método	0	1	2	0%	50%
Medición	0	1	3	0%	33%
Máquina	0	2	3	0%	67%
Total				17%	75%

Nota. Resumen de indicadores con valores antes y después de la Herramienta 5S.

La disciplina (SHITSUKE) se reforzó mediante talleres, auditorías, reconocimiento a desempeño y un buzón de sugerencias. Estas acciones mejoraron la puntualidad, el compromiso y la participación en actividades de mantenimiento del orden y la limpieza, consolidando cambios conductuales entre los operarios.

La verificación post-implementación (Tabla 11) mostró que ítems críticos como clasificación de material, condiciones seguras, estandarización y disponibilidad de formatos mejoraron notablemente. En productividad, los valores pasaron de 0.46 a 0.71 pedidos/h (46% a 71%); esto representa un aumento absoluto de 25 puntos porcentuales y un incremento relativo aproximado de 54.35% respecto al nivel inicial.

Figura 11

Análisis de productividad año 2023

Mes	Demanda proyectada (unidades)	Demanda atendida (unidades)	Eficacia	Tiempo efectivo de trabajo (minutos)	Eficiencia	Productividad
-----	-------------------------------	-----------------------------	----------	--------------------------------------	------------	---------------

Marzo	13	12	0.92	4680	6240	69%
Abril	13	12	0.92	4680	6240	69%
Mayo	14	13	0.93	5070	6240	75%
Junio	15	13	0.87	5070	6240	70%
Promedio	14	13	0.91	4875	6240	71%

Nota. Se realizó la mejora de la productividad con los datos obtenidos de la empresa luego de la implementación de la herramienta 5S.

En la Tabla 12 se detalla que el análisis económico reportó los costos de implementación con un total declarado de S/1,251 y la Tabla 13 indica que los costos asociados a la no implementación de S/3,109.80.

Tabla 12

Inversión total para la implementación de la herramienta 5S

Costos de implementación de metodología 5S	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Capacitación en Metodología 5S	2	S/ 80.00	S/ 160.00
Horas hombre invertidas (5 colaboradores)	12	S/ 6.50	S/ 78.00
Estante	2	S/ 200.00	S/ 400.00
Taper	8	S/ 25.00	S/ 200.00
Rótulos	13	S/ 3.00	S/ 39.00
Cinta de señalización	2	S/ 31.50	S/ 63.00
Stickers para señalización de áreas de riesgo	7	S/ 5.00	S/ 35.00
Escobas	2	S/ 12.00	S/ 24.00
Recogedores	2	S/ 6.00	S/ 12.00
Contenedores de basura	2	S/ 35.00	S/ 70.00
Trapos de limpieza	12	S/ 0.42	S/ 5.00
Ace	1	S/ 26.50	S/ 26.50
Lejía	1	S/ 10.50	S/ 10.50
Poet	1	S/ 14.00	S/ 14.00
Guantes	12	S/ 9.50	S/ 114.00
Paquete de bolsas negras	100	S/ 0.10	S/ 10.00
Total			S/ 1251.00

Nota. Resumen de costos incurridos para implementar la herramienta 5S.

Tabla 13

Costo por falta de aplicación de la herramienta "5S"

Costeo de 5S	Costo
Existencia de herramientas innecesarias en el área de trabajo	S/ 396.00
Demanda no atendida	S/ 2,400.00
Materiales faltantes	S/ 313.80
Total	S/ 3,109.80

Nota. Evaluación de costos incurridos por no implementar la herramienta 5S.

La Tabla 14 detalla el flujo de caja y los indicadores financieros, en base a esos datos se construyó la Tabla 15, obteniendo VAN = S/65,825.45; TIR = 48.56%; B/C = 9.69.

Tabla 14

Flujo de caja mensual

Concepto de egresos							
Meses (13)	Implementación 5S	Costo de local	Servicios	Existencia de herramientas innecesarias en el área de trabajo	Demanda no atendida	Materiales faltantes	Total de Egresos mensual
0 Mar	S/ 1,251.00	S/ 1,100.00	S/ 600.00	S/ 1,462.50	S/ 1,600.00	S/ 780.00	S/ 6,793.50
1 Abr		S/ 1,100.00	S/ 600.00	S/ 1,462.50	S/ 1,600.00	S/ 780.00	S/ 5,542.50
2 May		S/ 1,100.00	S/ 600.00	S/ 1,462.50	S/ 2,400.00	S/ 780.00	S/ 6,342.50
3 Jun		S/ 1,100.00	S/ 600.00	S/ 1,462.50	S/ 3,200.00	S/ 780.00	S/ 7,142.50
4 Jul		S/ 1,100.00	S/ 600.00	S/ 1,462.50	S/ 1,600.00	S/ 780.00	S/ 5,542.50
5 Ago		S/ 1,100.00	S/ 600.00	S/ 1,462.50	S/ 2,400.00	S/ 780.00	S/ 6,342.50
6 Set		S/ 1,100.00	S/ 600.00	S/ 1,462.50	S/ 3,200.00	S/ 780.00	S/ 7,142.50
7 Oct		S/ 1,100.00	S/ 600.00	S/ 1,462.50	S/ 2,400.00	S/ 780.00	S/ 6,342.50
8 Nov		S/ 1,100.00	S/ 600.00	S/ 1,462.50	S/ 1,600.00	S/ 780.00	S/ 5,542.50
9 Dic		S/ 1,100.00	S/ 600.00	S/ 1,462.50	S/ 3,200.00	S/ 780.00	S/ 7,142.50
10 Ene		S/ 1,100.00	S/ 600.00	S/ 1,462.50	S/ 3,200.00	S/ 780.00	S/ 7,142.50
11 Feb		S/ 1,100.00	S/ 600.00	S/ 1,462.50	S/ 2,400.00	S/ 780.00	S/ 6,342.50
12 Mar		S/ 1,100.00	S/ 600.00	S/ 1,462.50	S/ 1,600.00	S/ 780.00	S/ 5,542.50
Total	S/ 1,251.00	S/ 14,300.00	S/ 7,800.00	S/ 9,012.50	S/ 30,400.00	S/ 10,140.00	S/ 82,903.50

Nota. Se tuvo en cuenta los diferentes costos para la implementación de la herramienta 5S, a fin de determinar si la aplicación es viable.

Tabla 15

Resumen de la evaluación

VAN	65825.45
TIR	48.56%
B/C	9.69

Nota. Resumen de evaluación económica, obtenido de la Tabla 14.

DISCUSIÓN

La investigación proporcionó evidencia coherente sobre las limitaciones iniciales de la gestión de producción y el potencial de la herramienta 5S para corregirlas. El diagnóstico construido a partir de la entrevista al gerente y la guía de observación permitió desarrollar un diagrama de Ishikaway codificar dieciséis causas que, al ser sometidas a análisis de correlación y Pareto, mostraron que los problemas de orden/limpieza, clasificación de material y almacenamiento concentraban la mayor proporción de incidencias. Esto confirma, de acuerdo a

Karvounis (2021) que intervenciones focalizadas sobre estas áreas pueden producir mejoras sustanciales en la eficiencia operativa.

La relación entre la reducción de las fallas detectadas y las ganancias en eficiencia es congruente con evidencias previas. Por ejemplo, Oleksiak et al. (2025) sostienen que mitigar estos problemas puede elevar la eficiencia hasta niveles cercanos al 79%, en este estudio la intervención alcanzó aumentos comparables en indicadores de cumplimiento (de 17% a 75%) y en productividad (pasando a 0.71 pedidos/h o, según la escala empleada en la evaluación, de aproximadamente 30% a 71%). Estas concordancias, de acuerdo con Shahriar et al. (2022), refuerzan la idea de que mejoras en organización, limpieza y clasificación tienen impacto directo y medible sobre la capacidad productiva.

La adecuación de la 5S al contexto del taller mostró fortalezas y desafíos. Las fases de SEIRI, SEITON y SEISO lograron resultados cuantificables (por ejemplo, liberación de espacio, reducción del tiempo de búsqueda en torno al 30% y compra de implementos para limpieza y organización); sin embargo, la estandarización y la cuantificación del impacto encontraron barreras prácticas. Esto coincide con Pawlak et al. (2023), quienes señalan la complejidad de adaptar métodos de estandarización a procesos heterogéneos y la dificultad de transformar formatos cualitativos en métricas operativas robustas. En consecuencia, la implementación requiere formatos que mezclen mediciones simples y continuas con registros cualitativos para facilitar la toma de decisiones.

La ejecución piloto produjo mejoras operativas observables (orden, etiquetado, señalización, cronogramas de limpieza y capacitaciones) y una reducción del tiempo de búsqueda que contribuyó al incremento de la productividad. Al comparar con la experiencias en MYPEs, una investigación de Santos et al. (2023), reportaron una reducción de residuos del 47% y un incremento productivo del 33%, las diferencias pueden explicarse por el alcance de la intervención, la línea base de desperdicios y la amplitud del muestreo. Por otro lado, Senthil Kumar et al. (2022) midieron residuos y productividad en un conjunto de procesos más amplio, en este estudio el foco inicial fue la organización y disponibilidad de herramientas, cuya repercusión en la reducción de residuos fue indirecta y aún por cuantificar plenamente.

La verificación post-implementación mostró efectos positivos en indicadores cuantitativos y financieros. Los indicadores de productividad laboral y eficacia mejoraron notablemente (pasando, según tablas y figuras del estudio, de 0.46 a 0.71 pedidos/h y de niveles porcentuales iniciales alrededor de 30% a 71%), y el análisis costo-beneficio arrojó VAN =

S/65,825.45; TIR = 48.56% y B/C = 9.69. Un estudio de Flores et al. (2023) reportó aumentos de productividad en un 60.2% y otras cifras de resultados que son comparables en tendencia y reafirman que la 5S puede ser motor de mejora. Las diferencias puntuales entre estudios (en magnitud de VAN o TIR) responden a variables contextuales ya sea horizonte de evaluación, supuestos financieros, base de costos y tamaño de la unidad económica; por ejemplo, Galvez-Verastegui (2019) encontró VAN y TIR menores, lo que sugiere que la viabilidad financiera es sensible a la escala y al período de análisis.

Las limitaciones del estudio condicionan la generalización de los hallazgos. La información primaria provino en buena medida de registros de naturaleza empírica y de observaciones no automatizadas, lo que restringió el análisis cuantitativo sobre proveedores, clientes y ciertos procesos. La ausencia de procedimientos documentados y diagramas de flujo complicó la estandarización y la rapidez de replanteo de procesos, al igual que un estudio realizado por Saldaña y Castillo (2024). Además, la resistencia inicial al cambio por parte de algunos colaboradores afectó la implementación y esto, según Fernandez y Andres (2023), pudo haber moderado la velocidad de adopción de las 5S. Por último, de acuerdo a Hossen Irfan et al. (2025), estas limitaciones reducen la validez externa y señalan la necesidad de replicar la intervención en muestras más amplias y con mayor automatización de registros.

CONCLUSIONES

La evaluación diagnóstica reveló que los factores que concentran la mayor gravedad operativa son la falta de limpieza y orden, la ausencia de clasificación de materiales y el inadecuado almacenamiento (codificados como C15, C7 y C8). Estos tres elementos, que representan el núcleo del 20% de las incidencias, obstaculizan la continuidad del flujo productivo, aumentan los tiempos de búsqueda, elevan el riesgo operativo y afectan la trazabilidad de insumos.

La herramienta 5S pudo adaptarse al contexto del taller metalmecánico mediante formatos y procedimientos concretos, tales como inventarios en Excel, flujogramas, tarjeta roja para elementos innecesarios, estantes y tápers rotulados, cronogramas de limpieza y formatos de verificación de cumplimiento. Estas adaptaciones respetaron las fases de la metodología y facilitaron una aplicación práctica y ordenada en las áreas de trabajo.

La implementación piloto produjo efectos operativos medibles tales como reducción del tiempo de búsqueda de herramientas en aproximadamente 30%, disminución de desperdicios y mejoras en la organización del espacio. La estandarización de actividades y la capacitación del

personal incrementaron la eficiencia operativa y la calidad del producto, al tiempo que fomentaron una cultura de disciplina y mejora continua entre los operarios.

La verificación cuantitativa confirmó avances significativos ya que el índice promedio de cumplimiento pasó de 17% a 75% y la productividad laboral aumentó de alrededor de 30% a 71%. El análisis económico complementario mostró viabilidad de la intervención, con VAN = S/65,825.45, TIR = 48.56% y relación B/C = 9.69, resultados que indican un retorno positivo y un efecto favorable sobre la rentabilidad operativa.

En términos de recomendaciones derivadas de la discusión, conviene: 1) institucionalizar indicadores simples y medibles (KPI) que permitan cuantificar en tiempo real avances en inventarios, tiempos muertos y cumplimiento de estándares; 2) documentar procedimientos y diagramas de flujo para facilitar la replicabilidad y la formación continua; 3) fortalecer el plan de mantenimiento preventivo y la digitalización parcial del control de inventarios; 4) sostener programas de capacitación y mecanismos de incentivos para reducir la resistencia al cambio; y 5) realizar análisis de sensibilidad financiero que prueben la robustez del VAN y la TIR ante variaciones en costos y beneficios.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aktar Demirtas, E., Gultekin, O. S., & Uskup, C. (2023). A case study for surgical mask production during the COVID-19 pandemic: Continuous improvement with Kaizen and 5S applications. *International Journal of Lean Six Sigma*, 14(3), 679-703. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-02-2022-0025>
- Alva Alcalde, J. M., & Orosco Huallpayunca, C. (2021). Propuesta de implementación de herramientas Lean Manufacturing para mejorar el proceso productivo de una empresa metalmecánica de la ciudad de Cajamarca. *Universidad Privada del Norte*. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/27758>
- Arhas, S. H., & Suprianto, S. (2020). The Effectiveness of 6M Implementation at Artebo MSME. *Jurnal Ad'ministrare*, 6(2), 249-256. <https://doi.org/10.26858/ja.v6i2.15531>
- Bravo Fernandez, J. A. (2023). Aplicación de herramientas Lean Manufacturing (5S, Andon y Tiempo Estándar) para el aumento de la productividad en el área de producción de una empresa metalmecánica. *Industrial Data*, 26(1), 217-245. <https://doi.org/10.15381/idata.v26i1.24580>

- Faishal, M., Mohamad, E., Asih, H. M., Rahman, A. A. A., Ibrahim, A. Z., & Adiyanto, O. (2024). The use of Lean Six Sigma to improve the quality of coconut shell briquette products. *Multidisciplinary Science Journal*, 6(1). <https://doi.org/10.31893/multiscience.2024005>
- Fernandez, B., & Andres, J. (2023). Aplicación de herramientas Lean Manufacturing (5S, Andon y Tiempo Estándar) para el aumento de la productividad en el área de producción de una empresa metalmecánica. *Industrial Data*, 26(1), 217-245. <https://doi.org/10.15381/idata.v26i1.24580>
- Flores-Perez, A., Romani-Huapaya, S. A., & Vargas-Pachas, S. (2023). Improvement Proposal to Increase Productivity in a Leather Footwear SME Applying 5S, SLP and standard Work. An Empirical Review. *Proceedings of the 2023 10th International Conference on Industrial Engineering and Applications*, 186-191. <https://doi.org/10.1145/3587889.3588198>
- Galvez Verastegui, K. (2019). Propuesta de implementación de herramientas de Lean Manufacturing y su incidencia en la productividad de la piscigranja Trucha Dorada de la ciudad de Chota, Cajamarca. *Universidad Privada del Norte*. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/22320>
- Hossen Irfan, Md. T., Rafiquzzaman, Md., & Manik, Y. A. (2025). Productivity improvement through lean tools in cement industry – A case study. *Heliyon*, 11(3), e42057. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e42057>
- Karvounis, N. (2021). Lean Application: An Assessment of 5S on Employee Attitudes and Productivity. *STEMPS Theses & Dissertations*. <https://doi.org/10.25777/n2nv-wh29>
- Karvounis, N. D. (2021). *Lean Application: An Assessment of 5S on Employee Attitudes and Productivity* [Old Dominion University Libraries]. <https://doi.org/10.25777/N2NV-WH29>
- Leon-Ludena, L. A., Diestra-Medroa, C., & Flores-Perez, A. (2023). Improvement Proposal to Reduce the Total Cycle Time in Production through the Application of SLP, 5S and TPM under a DMAIC Approach in a Peruvian Textile SME. *Proceedings of the 2023 10th*

- International Conference on Industrial Engineering and Applications*, 71-77.
<https://doi.org/10.1145/3587889.3587971>
- Nair, L. B. (2023). Conducting qualitative management research with semi-structured interviews: From planning to interpretation. En *Researching and Analysing Business*. Routledge.
- Oleksiak, B., Żyszczyński, M., & Micor, K. (2025). 5S Method Usage for the Improvement of Production Process in the Manufacturing Company. *Management Systems in Production Engineering*, 33(3), 354-361. <https://doi.org/10.2478/mspe-2025-0033>
- Pawlak, S., Nowacki, K., & Kania, H. (2023). Analysis of the impact of the 5S tool and Standardization on the duration of the production process—Case study. *Production Engineering Archives*, 29(4), 421-427. <https://doi.org/10.30657/pea.2023.29.47>
- Pimienta Prieto, J. H., & De la Orden Hoz, A. (2017). *Metodología de la investigación*. Pearson Educación. <http://repositorio.uasb.edu.bo/handle/20.500.14624/1268>
- Piowar-Sulej, K., & Iqbal, Q. (2024). 5S implementation, basic needs satisfaction, sustainable leadership and firm sustainable performance: Empirical evidence from the oil and gas industry. *Journal of Cleaner Production*, 484, 144354. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.144354>
- Saldaña, A. H. T., & Castillo, E. D. P. (2024). Aplicación de la herramienta 5s en empresas del sector industrial: Revisión de literatura 2023. *Journal of Scientific and Technological Research Industrial*, 5(2), 33-41. <https://doi.org/10.47422/jstri.v5i2.53>
- Santos, E., Lima, T. M., & Gaspar, P. D. (2023). Optimization of the Production Management of an Upholstery Manufacturing Process Using Lean Tools: A Case Study. *Applied Sciences*, 13(17), 9974. <https://doi.org/10.3390/app13179974>
- Senthil Kumar, K. M., Akila, K., Arun, K. K., Prabhu, S., & Selvakumar, C. (2022). Implementation of 5S practices in a small scale manufacturing industries. *Materials Today: Proceedings*, 62, 1913-1916. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.01.402>
- Shahriar, M. M., Parvez, M. S., Islam, M. A., & Talapatra, S. (2022). Implementation of 5S in

a plastic bag manufacturing industry: A case study. *Cleaner Engineering and Technology*, 8, 100488. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100488>

Socconini, L. (2019). *Lean Manufacturing. Paso a Paso*. MARGE BOOKS.

Teplická, K., Hurná, S., & Sénová, A. (2021). Design of Workplace Layout Using the 5S Method in the Area of Quality Management System. *Quality - Access to Success*, 22(183), 91-95.

Vargas Crisóstomo, E. L., & Jiménez Camero, J. W. (2021). Aplicación del Lean Manufacturing (5s y Kaizen) para el incremento de la productividad en el área de producción de adhesivos acuosos de una empresa manufacturera. *Industrial Data*, 24(2), 249-271. <https://doi.org/10.15381/idata.v24i2.19485>

ARTÍCULO ORIGINAL**Susceptibilidad antimicrobiana de *Pseudomonas aeruginosa* aisladas de aguas de pozos de oxidación en Jaén, Perú**

Antimicrobial susceptibility of *Pseudomonas aeruginosa* isolated from oxidation pond water in Jaen, Peru

Edwin Oblitas¹ , Leydi Segura² , Sonia Vallejos³ , Marly Vera⁴ , Yuriko Murillo⁵ , Christian Rivera⁶  y Keyla Pariatanta⁷ 

RESUMEN

El estudio tuvo como objetivo evaluar la susceptibilidad antimicrobiana de *Pseudomonas aeruginosa* aisladas de agua de pozos de oxidación de la provincia de Jaén. La investigación se desarrolló mediante un enfoque cuantitativo, con diseño no experimental, descriptivo y de corte transversal. Se recolectaron 48 muestras de agua provenientes de cuatro pozos de oxidación, se obtuvieron 31 aislamientos las cuales fueron procesadas mediante técnicas microbiológicas convencionales para el aislamiento de *Pseudomonas aeruginosa* en agar Cetrimide y la obtención de cultivos puros, evaluándose posteriormente la susceptibilidad antimicrobiana mediante el método de difusión en disco de Kirby-Bauer frente a ceftazidima, cefepima, meropenem, amikacina y piperacilina/tazobactam. El análisis de los resultados evidenció que el 64,6% de las muestras resultó positivo para *Pseudomonas aeruginosa*. Asimismo, las cepas aisladas presentaron elevada resistencia a ceftazidima (100%), piperacilina/tazobactam (83,87%) y cefepima (67,74%), mientras que meropenem y amikacina mostraron los mayores porcentajes de sensibilidad (48,39% y 58,06%, respectivamente), sin registrarse cepas resistentes frente a estos antibióticos. El estudio concluye que las cepas de *Pseudomonas aeruginosa* aisladas de agua de pozos de oxidación en Jaén presentaron alta resistencia a antibióticos β -lactámicos, mientras que meropenem y amikacina conservaron una adecuada actividad antimicrobiana.

Palabras clave: *Pseudomonas aeruginosa*, susceptibilidad antimicrobiana, resistencia antimicrobiana, pozos de oxidación, aguas residuales.

ABSTRACT

The study aimed to evaluate the antimicrobial susceptibility of *Pseudomonas aeruginosa* isolated from oxidation pond water in the province of Jaén. The research employed a quantitative approach with a non-experimental, descriptive, and cross-sectional design. Forty-eight water samples were collected from four oxidation ponds and processed using conventional microbiological techniques—including culture on Cetrimide agar and the generation of pure cultures—to isolate *Pseudomonas aeruginosa*. Antimicrobial susceptibility was subsequently evaluated using the Kirby-Bauer disk diffusion method against ceftazidime, cefepime, meropenem, amikacin, and piperacillin/tazobactam. Analysis of the results revealed that 64.6% of the samples tested positive for *Pseudomonas aeruginosa*. Furthermore, the isolated strains exhibited high resistance to ceftazidime (100%), piperacillin/tazobactam (83.87%), and cefepime (67.74%), whereas meropenem and amikacin showed the highest rates of susceptibility (48.39% and 58.06%, respectively), with no resistant strains detected against these antibiotics. The study concludes that *Pseudomonas aeruginosa* strains isolated from oxidation pond water in Jaén displayed high resistance to β -lactam antibiotics, while meropenem and amikacin retained adequate antimicrobial activity.

Keywords: *Pseudomonas aeruginosa*, antimicrobial susceptibility, antimicrobial resistance, oxidation ponds, wastewater.

* Autor para correspondencia

¹ Universidad Nacional de Jaén, Perú. Email: 2024210078@est.unj.edu.pe, 2024130012@est.unj.edu.pe, 2024130019@est.unj.edu.pe, 2024110016@est.unj.edu.pe, yuriko_domen@unj.edu.pe, Christian.rivera@unj.edu.pe, keyla.noemi67@gmail.com

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la resistencia antimicrobiana (RAM) se ha consolidado como una de las principales amenazas para la salud pública a nivel mundial, comprometiendo la eficacia de los tratamientos frente a infecciones bacterianas, virales y fúngicas. La Organización Mundial de la Salud advierte que este fenómeno se encuentra entre las diez mayores amenazas sanitarias globales, debido a que las infecciones son cada vez más difíciles de tratar, incrementando el riesgo de complicaciones y muerte. Se estima que la RAM fue responsable directa de aproximadamente 1,27 millones de muertes en 2019, evidenciando su impacto creciente en los sistemas de salud¹.

Este problema se agrava por el uso inadecuado y excesivo de antimicrobianos, lo que favorece la aparición de microorganismos resistentes, incluyendo bacterias multirresistentes capaces de evadir múltiples grupos de antibióticos como fluoroquinolonas, carbapenémicos, aminoglucósidos y cefalosporinas. En este contexto, patógenos como *Escherichia coli* y *Pseudomonas aeruginosa* han mostrado elevados niveles de resistencia a antibióticos comúnmente utilizados, como el ciprofloxacino, e incluso resistencia a tratamientos de última línea como los carbapenémicos en diversas regiones del mundo.

Desde una perspectiva ambiental, la problemática adquiere mayor complejidad, ya que los ecosistemas acuáticos, especialmente las aguas residuales, actúan como reservorios y puntos críticos para la diseminación de bacterias resistentes y genes de resistencia antimicrobiana. En estos ambientes convergen residuos hospitalarios, urbanos e industriales que contienen antibióticos, desinfectantes y microorganismos, generando condiciones que favorecen la selección y transferencia horizontal de genes de resistencia entre bacterias. Diversos estudios han reportado la presencia de bacterias resistentes a carbapenémicos, betalactámicos y fluoroquinolonas en aguas residuales, así como la detección de genes que codifican resistencia a antibióticos de amplio espectro, lo que evidencia su papel en la propagación de la RAM².

Particularmente, bacterias como *Pseudomonas aeruginosa* presentan una elevada capacidad de adaptación y resistencia intrínseca y adquirida, destacando su resistencia a múltiples antimicrobianos como quinolonas, tetraciclinas, aminoglucósidos y betalactámicos, lo que limita las opciones terapéuticas y favorece su persistencia en ambientes acuáticos. Además, estas bacterias pueden adquirir genes de resistencia mediante plásmidos, transposones y otros elementos genéticos móviles, incrementando su potencial de diseminación en el ambiente³.

A nivel local, en la provincia de Jaén, existe escasa información sobre la presencia y comportamiento de bacterias resistentes en sistemas de tratamiento de aguas residuales,

como los pozos de oxidación. Esta limitada evidencia impide comprender el rol de estos sistemas como posibles reservorios de microorganismos multirresistentes y su impacto en la salud pública y ambiental. En consecuencia, surge la necesidad de evaluar la susceptibilidad antimicrobiana de *Pseudomonas aeruginosa*, aisladas de estos ambientes, con el fin de generar información científica que contribuya a la vigilancia de la resistencia antimicrobiana y al diseño de estrategias de control en el contexto local.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló utilizando muestras de agua provenientes de cuatro pozos de oxidación en funcionamiento de la provincia de Jaén, Cajamarca, Perú, seleccionados mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia durante el año 2026. Se recolectaron cuatro muestras por pozo durante tres días consecutivos representando una muestra de corte transversal puntual, obteniendo un total de 48 muestras, las cuales fueron tomadas en diferentes puntos de cada pozo para asegurar su representatividad. La recolección se realizó en recipientes estériles, empleando medidas de bioseguridad como el uso de guantes y mascarilla para evitar la contaminación de las muestras. Posteriormente, estas fueron transportadas al laboratorio en un cooler con refrigeración, preservando sus características microbiológicas hasta su procesamiento.

En el laboratorio, las muestras fueron sembradas en agar Cetrimide como medio selectivo para el aislamiento de *Pseudomonas aeruginosa*, incubándose a 35-37 °C durante 24 a 48 horas⁴. Las colonias con características compatibles fueron subcultivadas en agar tripticosa de soya (TSA) para obtener cultivos puros, garantizando la evaluación de una sola población bacteriana⁵. La identificación de *Pseudomonas aeruginosa* se realizó mediante la evaluación de las características macroscópicas de las colonias en agar Cetrimide, considerando la morfología colonial, la pigmentación característica (piocianina) y la fluorescencia bajo luz ultravioleta (pioverdina). Posteriormente se efectuaron pruebas bioquímicas, incluyendo oxidasa, catalasa, crecimiento a 42 °C y ausencia de fermentación de glucosa en TSI (Triple Sugar Iron Agar), complementadas con LIA (Lysine Iron Agar), SIM (Sulfuro, Indol y Motilidad) y Citrato de Simmons para apoyar la identificación de la especie, cuyos resultados fueron interpretados de acuerdo con los patrones bioquímicos característicos de la especie *Pseudomonas aeruginosa*.

La evaluación de la susceptibilidad antimicrobiana se realizó mediante la técnica de difusión en disco o método de Kirby-Bauer. Para ello, se seleccionaron de tres a cinco colonias bien aisladas de cada cultivo puro y se suspendieron en caldo nutritivo hasta alcanzar una turbidez equivalente al estándar 0.5 de McFarland. Posteriormente, la suspensión bacteriana se inoculó sobre agar Mueller-Hinton y se colocaron discos de

ceftazidima (30 µg), cefepima (30 µg), meropenem (10 µg), amikacina (30 µg) y piperacilina/tazobactam (100/10 µg), los diámetros de los halos de inhibición fueron interpretados como sensibles, intermedios o resistentes de acuerdo con los puntos de corte establecidos por el Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI), documento M100, 35.^a edición.

Finalmente, los resultados obtenidos fueron registrados y organizados en una base de datos en Microsoft Excel para su análisis estadístico descriptivo. La información se presentó mediante tablas de frecuencia y porcentajes, permitiendo describir el perfil de susceptibilidad antimicrobiana de las cepas de *Pseudomonas aeruginosa* aisladas de los pozos de oxidación de la provincia de Jaén. Durante todo el desarrollo de la investigación se aplicaron las normas de bioseguridad para el manejo de muestras microbiológicas, y los datos obtenidos fueron utilizados exclusivamente con fines académicos y científicos, garantizando la integridad y confiabilidad de los resultados.

RESULTADOS

La Tabla 01 presenta los resultados de la susceptibilidad antimicrobiana de las cepas de *Pseudomonas aeruginosa* aisladas de aguas de pozos de oxidación en Jaén durante el año 2026. Los resultados evidencian un elevado nivel de resistencia frente a algunos de los antibióticos evaluados, lo que pone de manifiesto la circulación de cepas con perfiles de resistencia preocupantes en este tipo de ambiente.

Se observó que la mayor resistencia correspondió a la ceftazidima, con 31 aislamientos (100%), seguida de la piperacilina/tazobactam, con 26 aislamientos (83,87%), y la cefepima, con 21 aislamientos (67,74%). El 100 % de resistencia a la ceftazidima, es distinto a lo reportado por eso es factible debido a que en este tipo ambientes acuáticos es elevada la circulación de genes de resistencia.

En contraste, meropenem y amikacina mostraron los mejores perfiles de susceptibilidad. Para meropenem, 15 aislamientos (48,39%) fueron sensibles y 16 (51,61%) presentaron sensibilidad intermedia, sin registrarse cepas resistentes. De manera similar, la amikacina presentó el mayor porcentaje de sensibilidad, con 18 aislamientos (58,06%), mientras que 13 (41,94%) mostraron sensibilidad intermedia y no se evidenció resistencia frente a este antimicrobiano.

En términos generales, los resultados indican que las cepas de *Pseudomonas aeruginosa* aisladas de aguas de pozos de oxidación presentan una alta resistencia a los antibióticos β -lactámicos evaluados, especialmente a ceftazidima, piperacilina/tazobactam y cefepima. Por otro lado, meropenem y amikacina conservaron una mayor actividad antimicrobiana, constituyéndose como las alternativas con mejor eficacia frente a los

aislamientos obtenidos. Estos hallazgos resaltan la importancia de mantener una vigilancia continua de la resistencia antimicrobiana en fuentes ambientales, debido a que estos microorganismos pueden actuar como reservorios de genes de resistencia con potencial impacto en la salud pública. Cabe recalcar que, de las 48 muestras de agua recolectadas en los pozos de oxidación, 31 (64,6%) resultaron positivas para *Pseudomonas aeruginosa* y fueron incluidas en el análisis de susceptibilidad antimicrobiana, mientras que las 17 muestras restantes no presentaron crecimiento de *Pseudomonas aeruginosa* y fueron excluidas del antibiograma.

Tabla 01

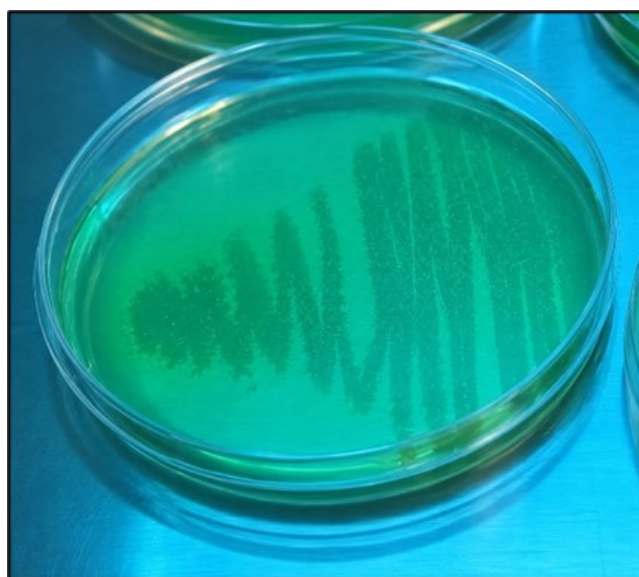
Susceptibilidad antimicrobiana en Pseudomonas aeruginosa aisladas de aguas de pozos de oxidación en Jaén, 2026

Antibióticos	Resistente		Intermedio		Sensible	
	N	%	n	%	n	%
Ceftazidima (30 µg)	31	100,00	0	0,00	0	0,00
Piperacilina/tazobactam (100/10 µg)	26	83,87	5	16,13	0	0,00
Cefepima (30 µg)	21	67,74	10	32,26	0	0,00
Meropenem (10 µg)	0	0,00	16	51,61	15	48,39
Amikacina (30 µg)	0	0,00	13	41,94	18	58,06

Nota: Esta tabla muestra los ensayos de susceptibilidad antimicrobiana desarrollados en el laboratorio

Figura 01

Observación del pigmento característico (pioverdina) en las colonias de las cepas con la fluorescencia bajo luz ultravioleta



DISCUSIÓN

La presente investigación permitió evaluar la susceptibilidad antimicrobiana de cepas de *Pseudomonas aeruginosa* aisladas de aguas de pozos de oxidación en Jaén, evidenciándose altos niveles de resistencia frente a ceftazidima (100%), piperacilina/tazobactam (83,87%) y cefepima (67,74%). Estos resultados reflejan una disminución de la eficacia de los antibióticos β -lactámicos, posiblemente asociada a mecanismos de resistencia propios de *Pseudomonas aeruginosa*, como la producción de β -lactamasas, la disminución de la permeabilidad de la membrana externa y la activación de sistemas de expulsión de antimicrobianos.

El 100% de resistencia a ceftazidima es muy a lo extremo a lo reportado por Hozu et al.⁸ en Sudáfrica a partir de aislamientos no clínicos, evidenciándose resistencia de 63,9 % a ceftadizima, 55,6% a cefepima, 47,2% a piperacilina/tazobactam y 41,7% a meropenem, esto es factible a que estos tipos de ambientes acuáticos actúan como reservorio de cepas con genes de resistencia.

Por otro lado, algunas investigaciones de aguas muestran resultados opuestos, con alta sensibilidad antimicrobiana. Tarazi et al.⁹ refiere que, en agua embotellada de Jordania, los aislamientos fueron 100 % sensibles a amikacina, ceftazidima e imipenem, Licea-Herrera et al.¹⁰ determino que en aguas de México hubo 100% de sensibilidad a ceftazidima y amikacina. Esta no homogeneidad según Rojo-Bezares et al.¹¹, este probablemente relacionada a contaminación, origen del efluente y presión selectiva del entorno.

Los hallazgos coinciden con lo reportado por Roulová et al.¹², quienes encontraron resistencia de *Pseudomonas aeruginosa* a diversos antibióticos en aguas residuales hospitalarias. La similitud observada frente a piperacilina/tazobactam confirma que los ambientes acuáticos actúan como reservorios de bacterias resistentes. Sin embargo, los porcentajes de resistencia encontrados en este estudio fueron superiores, posiblemente debido a diferencias en las condiciones ambientales y la carga de contaminantes.

Aunque no se detectaron cepas clasificadas como resistentes a meropenem, el hecho de que más de la mitad de los aislamientos (51,61 %) presentara sensibilidad intermedia constituye un hallazgo microbiológicamente relevante. La categoría "intermedia" no representa únicamente una respuesta terapéutica reducida, sino que puede reflejar el inicio de modificaciones en la susceptibilidad bacteriana asociadas con mecanismos de resistencia emergentes, como la disminución de la permeabilidad de la membrana, la sobreexpresión de bombas de eflujo o la producción incipiente de carbapenemasas. En ecosistemas como las aguas residuales, donde existe una elevada presión selectiva por la presencia continua de antimicrobianos y otros contaminantes, estos aislamientos pueden actuar como reservorios

de determinantes genéticos de resistencia y favorecer la selección y diseminación de cepas multirresistentes. Por ello, aunque meropenem mantuvo actividad frente a los aislamientos estudiados, el elevado porcentaje de sensibilidad intermedia debe interpretarse como una señal de alerta epidemiológica que justifica fortalecer los programas de vigilancia microbiológica ambiental¹³.

De igual manera, los resultados respaldan lo señalado por Reem et al.¹⁴, describieron la amplia distribución de *Pseudomonas aeruginosa* en ambientes acuáticos y su capacidad para adquirir genes de resistencia antimicrobiana. La elevada resistencia observada podría estar relacionada con la presencia de mecanismos genéticos favorecidos por la exposición continua a aguas residuales con residuos de antibióticos y otros contaminantes. En contraste, meropenem y amikacina presentaron los mejores perfiles de sensibilidad, sin registrarse cepas resistentes, lo que sugiere que ambos antimicrobianos conservan una adecuada actividad frente a los aislamientos evaluados. No obstante, la presencia de cepas con sensibilidad intermedia evidencia la necesidad de mantener una vigilancia constante debido a la capacidad adaptativa de estos microorganismos y su potencial para desarrollar resistencia con el tiempo.

En relación a los mecanismos de resistencia de *Pseudomonas* a los betalactámicos, según Castanheira¹⁵, se debe a diferentes de mecanismos de resistencia, y las más prevalentes incluyeron la desrepresión de AmpC con pérdida de OprD y la hiperexpresión de bombas de flujo MexAB-OprM, MexCD-OprJ, MexEF-OprN y MexXY-OprM.

La frecuencia de aislamiento de *Pseudomonas aeruginosa* (64,6%) demuestra la amplia presencia de este microorganismo en ambientes acuáticos contaminados con aguas residuales. Como aporte, este estudio proporciona información actualizada sobre la susceptibilidad antimicrobiana de cepas ambientales en la provincia de Jaén. Sin embargo, se limitó al análisis de aislamientos procedentes de pozos de oxidación específicos y no incluyó la identificación molecular de los mecanismos de resistencia, por lo que futuras investigaciones deberían profundizar en estos aspectos para comprender mejor la dinámica de la resistencia bacteriana en estos ambientes.

CONCLUSIONES

La evaluación de la susceptibilidad antimicrobiana permitió establecer que las cepas ambientales de *Pseudomonas aeruginosa* aisladas de aguas de pozos de oxidación presentan un patrón de resistencia predominante frente a antibióticos β -lactámicos, evidenciando la presencia de microorganismos con potencial importancia epidemiológica para la salud pública y ambiental.

Asimismo, el estudio permitió identificar que meropenem y amikacina conservaron mayor actividad antimicrobiana en comparación con los demás antibióticos evaluados; sin embargo, la elevada frecuencia de aislamientos con sensibilidad intermedia evidencia la necesidad de implementar programas permanentes de vigilancia microbiológica y resistencia antimicrobiana en sistemas de tratamiento de aguas residuales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- World Health Organization. Resistencia a los antimicrobianos [Internet]. Ginebra: World Health Organization; 2025 [citado 20 Jul 2026]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/antimicrobial-resistance>
- Espinoza Pesantez DI, Esparza Sanchez GF, Espinoza Pesantez DI, Esparza Sanchez GF. Resistencia enzimática en *Pseudomonas aeruginosa*, aspectos clínicos y de laboratorio. *Revista chilena de infectología*. febrero de 2021;38(1):69-80. doi:10.4067/S0716-10182021000100069
- Sulca-Galarza LE, Robles-Camarena RC, Sánchez-Rojas TL, Rodríguez-Gonzales AF. Calidad microbiológica y resistencia antimicrobiana de *Pseudomonas aeruginosa* en sistemas de agua potable del antiguo terminal del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez: potencial papel como reservorio ambiental. *Rev Peru Med Exp Salud Pública*. 30 de junio de 2026;207-16. doi:10.17843/rpmesp.2026.432.15160
- CMS Científica do Brasil. CMS Científica Brasil: Produtos para Laboratório e Sala Limpa [Internet]. Holambra (SP): CMS Científica do Brasil; [citado 21 Jul 2026]. Disponible en: <https://cmscientifica.com.br/es/>
- Burguet-Lago N, Sierra-Prado N, Estrada MA. Evaluación de una formulación para la conservación de cepas de *Pseudomonas aeruginosa*. *Rev CENIC Cienc Biológicas*. 2014;45(1):51-6.
- Jorgensen JH, Pfaller MA, Carroll KC, Funke G, Landry ML, Richter SS, et al., editors. *Manual of Clinical Microbiology*. 11th ed. Washington (DC): ASM Press; 2015. Disponible en: *Manual of Clinical Microbiology (PDF)*
- Clinical and Laboratory Standards Institute. Performance Standards for Antimicrobial Susceptibility Testing. CLSI supplement M100 [Internet]. 35th ed. Wayne (PA): Clinical and Laboratory Standards Institute; 2025 [citado 21 Jul 2026]. Disponible en: <https://clsi.org/standards/products/microbiology/documents/m100/>

- Hosu, M. C., Vasaikar, S., Okuthe, G. E., & Apalata, T. (2021). Detección molecular de genes de resistencia a antibióticos en *Pseudomonas aeruginosa* de un entorno no clínico: implicaciones para la salud pública en Mthatha, provincia de Cabo Oriental, Sudáfrica. *International Journal of Microbiology*, 2021, Artículo ID 8861074. <https://doi.org/10.1155/2021/8861074>.
- Tarazi, Y. H., Abu-Basha, E., Ismail, Z., & Al-Jawasreh, S. I. (2021). Sensibilidad antimicrobiana de *Pseudomonas aeruginosa* multirresistente aislada de agua potable y pacientes hospitalizados en Jordania. *Acta Tropica*, 217, 105859. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2021.105859>.
- Licea-Herrera, J. I., Guerrero, A., Guel, P., Bocanegra-García, V., Rivera, G., & Martínez-Vázquez, A. V. (2025). Ocurrencia de virulencia y resistencia a antibióticos en *Pseudomonas aeruginosa* aislada del agua ambiental de Tamaulipas, México. *Antibiotics*, 14(12), 1278. <https://doi.org/10.3390/antibiotics14121278>
- Rojo-Bezares, B., Casado, C., Cenicerós, T., López, M., Chichón, G., Lozano, C., Ruiz-Roldán, L., & Sáenz, Y. (2024). *Pseudomonas aeruginosa* del agua de río: resistencia antimicrobiana, virulencia y tipificación molecular. *FEMS Microbiology Ecology*, 100(3), fiae028. <https://doi.org/10.1093/femsec/fiae028>
- Roulová N, Mot'ková P, Brožková I, Pejchalová M. Antibiotic resistance of *Pseudomonas aeruginosa* isolated from hospital wastewater in the Czech Republic. *J Water Health*. 12 de abril de 2022;20(4):692-701. <https://doi.org/10.2166/wh.2022.101>
- Alatoom, A., Alattas, M., Alraddadi, B., Moubareck, C., Hassanien, A., Jamal, W., Kurdi, A., Mohamed, N., Senok, A., Somily, A. M., & Ziglam, H. (2024). Perfiles de resistencia antimicrobiana de *Pseudomonas aeruginosa* en la región del Golfo Pérsico durante un período de 12 años (2010-2021). *Journal of Epidemiology and Global Health*, 14, 529-548. <https://doi.org/10.1007/s44197-024-00191-y>
- Reem A, Almansoob S, Senan AM, Raj AK, Shah R, Shrewastwa MK, et al. *Pseudomonas aeruginosa* and related antibiotic resistance genes as indicators for wastewater treatment. *Heliyon*. 15 de mayo de 2024;10(9). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29798>
- Castanheira, M., Mills, J. C., Farrell, D., & Jones, R. N. (2014). Mecanismos de resistencia a β -lactámicos impulsados por mutaciones en aislados contemporáneos de

Pseudomonas aeruginosa no sensibles a ceftazidima procedentes de hospitales de EE. UU. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 58(11), 6844-6850.
<https://doi.org/10.1128/aac.03681-14>

ARTÍCULO ORIGINAL

Evaluación de la integridad estructural de herramientas de corte recuperadas mediante soldadura por arco sumergido (SAW) para maquinaria pesada

Structural integrity assessment of cutting tools recovered by submerged arc welding (SAW) for heavy machinery

Luis Llanos ¹, Frans Fuentes ², Ricardo Shimabuku ³, Mario Olivera ⁴, Jaime Honorio ⁵ y Boy Vásquez ⁶

RESUMEN

Las herramientas de corte utilizadas en maquinaria pesada están sometidas a condiciones severas de abrasión, impacto y cargas cíclicas que producen pérdida progresiva de material y reducen su vida útil. El objetivo de esta investigación fue evaluar la integridad estructural de herramientas de corte recuperadas mediante soldadura por arco sumergido (SAW) para determinar su viabilidad de reutilización. La recuperación se realizó empleando acero antidesgaste T-500, alambre EL-12 de 3,2 mm y fundente R35Mo, con parámetros de 350 A, 30 V y una velocidad de avance de 30 cm/min. Se efectuaron análisis microestructurales y de composición química, ensayos de tracción, impacto, dureza y desgaste, complementados con análisis estructural y de fatiga. La resistencia promedio a la tracción fue 1014,5 MPa, con rotura localizada en el metal base, y la energía promedio absorbida fue 124,13 J. La zona soldada presentó una velocidad promedio de desgaste de 0,01040 g/min frente a 0,01400 g/min del metal base, equivalente a una reducción del 25,7 %. El análisis de fatiga estimó 61 447 ciclos para alcanzar el daño acumulado total. Los resultados evidencian la viabilidad técnica del procedimiento SAW para recuperar las herramientas estudiadas.

Palabras clave: Soldadura por arco sumergido; integridad estructural; herramientas de corte; desgaste abrasivo; maquinaria pesada.

ABSTRACT

The cutting tools used in heavy machinery are subjected to severe abrasion, impact, and cyclic loading conditions, which cause progressive material loss and reduce their service life. The objective of this research was to evaluate the structural integrity of cutting tools restored by submerged arc welding (SAW) in order to determine their feasibility for reuse. The restoration process was carried out using T-500 wear-resistant steel, 3.2 mm EL-12 welding wire, and R35Mo flux, with welding parameters of 350 A, 30 V, and a travel speed of 30 cm/min. Microstructural and chemical composition analyses were performed, together with tensile, impact, hardness, and wear tests, complemented by structural and fatigue analyses. The average tensile strength was 1014.5 MPa, with fracture occurring in the base metal, while the average absorbed impact energy was 124.13 J. The welded zone exhibited an average wear rate of 0.01040 g/min compared with 0.01400 g/min for the base metal, representing a 25.7% reduction. Fatigue analysis estimated 61,447 cycles to reach total cumulative damage. The results demonstrate the technical feasibility of the SAW process for restoring the cutting tools evaluated.

Keywords: submerged arc welding; structural integrity; cutting tools; abrasive wear; heavy machinery

* Autor para correspondencia

¹ Universidad Nacional de Jaén, Perú. Email: luis.llanos@unj.edu.pe, ingfrans@unj.edu.pe, shimabuku.ysa@unj.edu.pe, olivera_aldana@unj.edu.pe, jaime_honorio@unj.edu.pe

² Universidad Nacional de Trujillo, Perú. Email: boyvasquez85@gmail.com

INTRODUCCIÓN

Las herramientas de corte (uñas) instaladas en maquinaria pesada utilizadas en trabajos de movimiento de tierras están expuestas a condiciones severas de operación durante las actividades de excavación, movimiento, penetración de materiales como rocas y partículas abrasivas que producen pérdida progresiva de material de la herramienta modificación de la geometría original y disminuyendo su capacidad operativa. Estudios recientes realizados en equipos utilizados en canteras han identificado el desgaste abrasivo como uno de los mecanismos responsables del deterioro de componentes como dientes de excavadoras, cargadores frontales entre otros generando reemplazos frecuentes, mayores costos de mantenimiento y periodos de indisponibilidad del equipo (Floreza et al., 2025).

Frente a este problema, la recuperación de componentes mediante recargue o *hardfacing* es una práctica utilizada para restituir superficies deterioradas y prolongar la vida de piezas mecánicas sometidas a condiciones de desgaste. La aplicación de materiales duros sobre regiones críticas que están en contacto con el material abrasivo permite modificar las propiedades mecánicas superficiales, esta práctica contribuye al aprovechamiento de piezas que de otro modo serían descartadas.

Entre los procedimientos disponibles, la soldadura por arco sumergido (*Submerged Arc Welding*, SAW) presenta características favorables para la recuperación de componentes debido a su elevada tasa de deposición, estabilidad del proceso y posibilidad de controlar parámetros como corriente, voltaje y velocidad de avance. Estas variables influyen sobre la penetración, geometría del cordón, aporte térmico, microestructura y propiedades mecánicas resultantes del material depositado (Singh & Singh, 2020).

La recuperación mediante soldadura, sin embargo, no debe evaluarse únicamente a partir de la reconstrucción de la geometría original. Se conoce que los ciclos térmicos generados durante el proceso de soldado ocasionan regiones metalúrgicamente diferenciadas entre el metal depositado, la zona afectada por el calor (ZAC) y el metal base, investigaciones realizadas en uniones mediante SAW han identificado diferencias microestructurales y de dureza entre estas regiones, así como modificaciones próximas a la línea de fusión (Küçükoner et al., 2020). De manera similar, la distribución térmica durante la soldadura condiciona la evolución microestructural y las propiedades mecánicas obtenidas posteriormente (Oo & Muangjunburee, 2018).

Una de las propiedades más significativas para estas condiciones de trabajo es la resistencia al desgaste abrasivo. Investigaciones sobre recubrimientos obtenidos mediante SAW han demostrado que el comportamiento frente al desgaste depende de factores como composición química, microestructura, dilución, número de capas y condiciones de deposición (Zahiri et al., 2014; Oo & Muangjunburee, 2018). Estudios más recientes muestran también que modificaciones de los parámetros de recargue pueden producir cambios significativos en la microestructura, dureza y resistencia al desgaste (Balos et al., 2025). No obstante, una mayor dureza no garantiza necesariamente una mayor resistencia a la abrasión, debido a que el comportamiento tribológico depende de la interacción entre las fases presentes, la matriz y el mecanismo de desgaste (Muangjunburee et al., 2025).

Por otro lado, las herramientas de corte de maquinaria pesada(uñas) están sometidas a cargas variables durante los ciclos de operación frente a ello, la evaluación de las herramientas de corte recuperado no solo debe limitarse a la evaluación de sus propiedades superficiales sino también su capacidad para soportar esfuerzos cíclicos, el fenómeno de fatiga puede verse influenciado por estos factores (McLaughlin & Mehmanparast, 2026).

Actualmente diferentes investigaciones han estudiado la influencia del hardfacing y del proceso SAW sobre la microestructura, dureza o resistencia al desgaste, la evaluación conjunta de estas propiedades con la resistencia a la tracción, impacto y comportamiento a fatiga resulta particularmente importante cuando se pretende aplicar a una herramienta de corte (uña) para mantenerla en servicio. Limitarse analizar una propiedad en específico es básico cuando se pretende analizar la integridad estructural de una herramienta de corte (Uña), en este sentido es necesario analizar desde un enfoque que integre los resultados metalúrgicos, mecánicos y tribológicos con la evaluación estructural del componente recuperado.

Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue evaluar la integridad estructural de herramientas de corte recuperadas mediante soldadura por arco sumergido (SAW), a partir de la caracterización microestructural y química, las propiedades mecánicas, la resistencia al desgaste y el comportamiento frente a cargas cíclicas, con la finalidad de determinar la viabilidad técnica de su reutilización en aplicaciones de maquinaria pesada.

Como hipótesis general, se planteó que las herramientas de corte recuperadas mediante soldadura por arco sumergido (SAW), empleando acero T-500, alambre EL-12 de 3,2 mm y fundente R35Mo bajo los parámetros establecidos, presentan, en las condiciones ensayadas y

simuladas, una integridad estructural compatible con su reutilización técnica en aplicaciones de maquinaria pesada.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

La investigación se desarrolló utilizando herramientas de corte (uñas) desgastadas pertenecientes a un cargador frontal Caterpillar 938G, las cuales fueron seleccionadas como material base para el proceso de recuperación. Estas herramientas están fabricadas en acero de baja aleación DH-3 bonificado, con una dureza nominal comprendida entre 45 y 50 HRC, condición que proporciona una adecuada combinación entre resistencia mecánica y tenacidad para aplicaciones sometidas a desgaste e impacto. La composición química y las propiedades mecánicas del acero fueron consideradas como referencia para la caracterización del componente recuperado.

Como material de reconstrucción se empleó una plancha de acero antidesgaste T-500, utilizada para restituir la geometría original de la herramienta antes de la aplicación del recubrimiento superficial. Este acero se caracteriza por su elevada resistencia mecánica y su comportamiento favorable frente al desgaste abrasivo, propiedades que justifican su uso en componentes sometidos a condiciones severas de servicio. De acuerdo con las recomendaciones del fabricante, el material fue precalentado previamente para minimizar gradientes térmicos y reducir el riesgo de fisuración durante la soldadura.

La recuperación se realizó mediante soldadura por arco sumergido (SAW), empleando alambre EL-12 de 3,2 mm de diámetro y fundente R35Mo. Esta combinación fue seleccionada por su capacidad para generar depósitos con alta resistencia al desgaste y propiedades mecánicas adecuadas para la reconstrucción de componentes utilizados en maquinaria pesada.

Tabla 1

Materiales empleados durante el proceso de recuperación de las herramientas de corte

Material	Especificación	Función en la investigación
Herramienta de corte desgastada	Uña de cargador frontal Caterpillar 938G fabricada en acero DH-3 bonificado	Material base utilizado para la recuperación y posterior evaluación de la integridad estructural.
Acero antidesgaste	T-500	Reconstrucción geométrica de la herramienta antes de la aplicación del recubrimiento mediante soldadura SAW.
Alambre de soldadura	EL-12, Ø 3,2 mm	Material de aporte utilizado durante el proceso de soldadura por arco sumergido.

Fundente	R35Mo	Protección del arco eléctrico y estabilización del proceso de soldadura, favoreciendo la calidad metalúrgica del depósito.
Equipo de soldadura	Proceso SAW	Recuperación de la herramienta mediante deposición controlada del material de aporte.
Equipos de caracterización	Microscopía óptica, espectrómetro y equipos para ensayos mecánicos	Evaluación de la composición química, microestructura y propiedades mecánicas del componente recuperado.

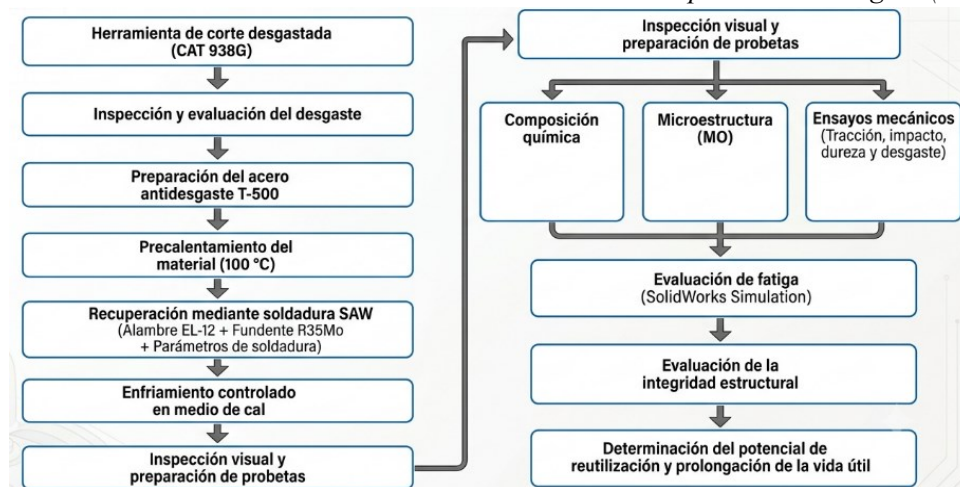
Procedimiento de recuperación mediante soldadura SAW

Las herramientas de corte fueron previamente inspeccionadas para identificar el nivel de desgaste y definir la zona de reconstrucción. Posteriormente, el acero T-500 fue conformado de acuerdo con las dimensiones originales de la herramienta y acondicionado mediante operaciones de corte, limpieza superficial y preparación de bordes.

Antes de iniciar la soldadura, el material de reconstrucción fue precalentado a 100 °C utilizando un pirómetro infrarrojo para verificar la uniformidad de la temperatura. La recuperación se efectuó mediante el proceso SAW utilizando un alambre EL-12 de 3,2 mm y fundente R35Mo, estableciendo una corriente de 350 A, un voltaje de 30 V y una velocidad de avance de 30 cm/min, parámetros seleccionados de acuerdo con las especificaciones técnicas del fabricante. Finalizada la deposición, las herramientas recuperadas fueron sometidas a un enfriamiento lento en un medio de cal, seguido de la remoción de escoria y una inspección visual para verificar la continuidad del cordón y detectar posibles discontinuidades superficiales.

Figura 1

Diagrama del procedimiento experimental seguido para la recuperación y evaluación de herramientas de corte mediante soldadura por arco sumergido (SAW)



Caracterización experimental

Con el propósito de evaluar la influencia del proceso de recuperación sobre la integridad estructural de las herramientas de corte, se desarrolló un programa de caracterización que integró análisis metalúrgicos, ensayos mecánicos y evaluación del comportamiento frente al desgaste.

La composición química del metal base y del material de aporte fue determinada para verificar la compatibilidad metalúrgica entre los materiales utilizados durante la recuperación. Posteriormente, se realizó la caracterización microestructural de la unión soldada con el fin de identificar las transformaciones ocurridas en el metal depositado, la zona afectada por el calor y el metal base.

Las propiedades mecánicas fueron evaluadas mediante ensayos de tracción, impacto y dureza, siguiendo las normas correspondientes indicadas en la tesis (ASTM E18 y ASTM E92 para dureza, entre otras). Asimismo, la resistencia al desgaste abrasivo fue determinada mediante el procedimiento establecido en la norma ASTM G65, permitiendo comparar el comportamiento del material recuperado con el metal base. Finalmente, la capacidad del componente para soportar cargas cíclicas fue analizada mediante un estudio de fatiga complementado con la caracterización del ciclo de trabajo del cargador frontal y el análisis por elementos finitos desarrollado en SolidWorks Simulation.

Análisis de datos.

Los resultados experimentales obtenidos fueron analizados de manera conjunta para establecer la relación entre la microestructura generada durante el proceso SAW y el comportamiento mecánico del componente recuperado. La interpretación consideró conjuntamente la composición química, la respuesta a tracción, impacto, dureza, desgaste abrasivo y fatiga, con el propósito de determinar si el procedimiento de recuperación permitió restablecer la integridad estructural requerida para la reutilización de la herramienta en condiciones de servicio.

La hipótesis general se contrastó de manera descriptiva, sin recurrir a una prueba estadística inferencial, mediante los siguientes criterios de ingeniería: a) que la rotura en tracción no se localizara en la unión recuperada; b) que la velocidad promedio de desgaste de la zona soldada fuera menor que la del metal base; y c) que, en la condición crítica simulada, el factor de seguridad fuera mayor que 1 y el daño acumulado permaneciera por debajo del 100 % durante los 45502 ciclos evaluados. Los resultados de microestructura, impacto y dureza se utilizaron como evidencia complementaria. El cumplimiento conjunto de estos criterios se consideró respaldo descriptivo de la hipótesis dentro del alcance del estudio.

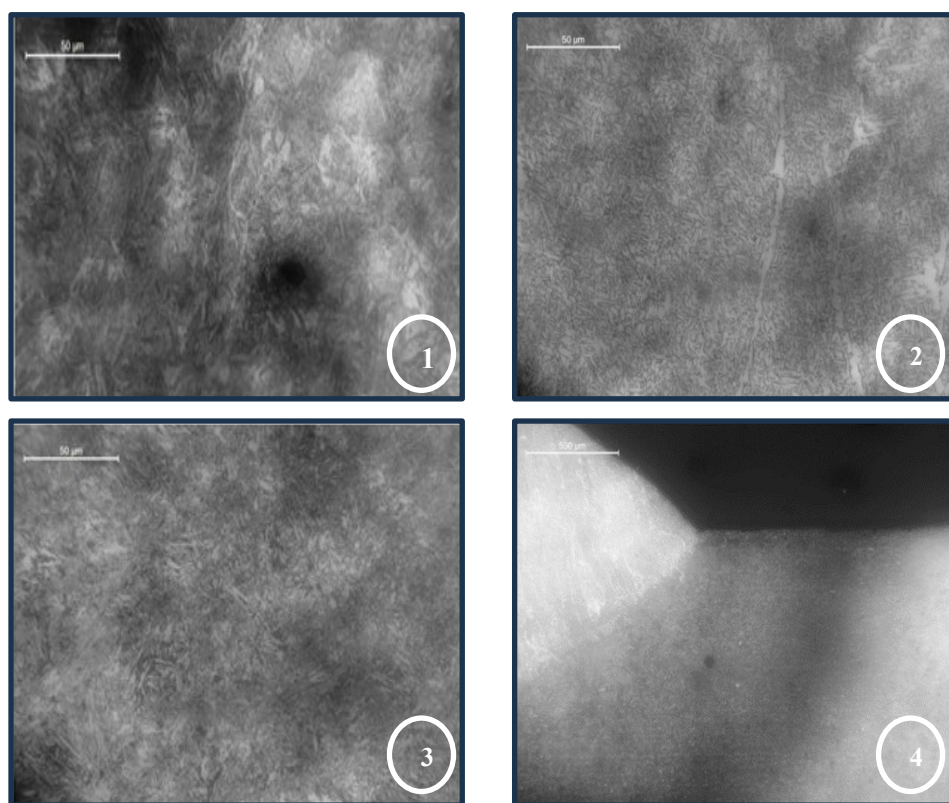
RESULTADOS

Caracterización microestructural y composición química.

La caracterización microestructural de la herramienta recuperada permitió identificar las diferentes regiones generadas después del proceso de soldadura por arco sumergido. Se analizaron el acero antidesgaste T-500, el recubrimiento obtenido mediante SAW con alambre EL-12 y fundente R35Mo, la zona de transición entre el metal base y la zona afectada por el calor (ZAC), el límite entre el metal base y el recubrimiento, así como la región constituida por metal base-ZAC-recubrimiento. Las micrografías fueron obtenidas a diferentes aumentos, entre 50× y 500×, en el Laboratorio de Materiales de la Universidad Nacional de Trujillo.

Figura 2

Microestructuras del material T-500, recubrimiento EL-12/R35Mo-SAW y regiones de transición metal base-ZAC-recubrimiento



Nota: Material de calzada anti desgaste T-500, 2. Recubrimiento proceso SAW-T500, 3. Zona ZAC, 4. Material base-Zona ZAC fuente laboratorio de materiales Universidad Nacional de Trujillo (UNT)

La composición química obtenida mediante el análisis realizado en el Laboratorio de Materiales de la Universidad Nacional de Trujillo mostró diferencias entre el metal base y el material de aporte.

Tabla 2*Composición química del metal base y material de aporte*

Elemento	Material de aporte (%)	Metal base (%)
B	0,0008	0,0011
C	0,1457	0,2469
Cr	0,6165	0,3887
Cu	0,0395	0,0071
Mn	0,8409	1,0327
Mo	0,1279	0,1977
Ni	0,2083	0,4855
P	0,0126	0,0074
Si	0,3818	0,4754
S	<0,0010	<0,0010

Nota: Laboratorio de Materiales de la Universidad Nacional de Trujillo (UNT)

Propiedades mecánicas de la unión recuperada

Resistencia a la tracción

Los ensayos de tracción realizados sobre la unión recuperada presentaron resistencias de 1026, 1007, 1010 y 1015 MPa, respectivamente. La elongación registrada fue de 66 %, 70 %, 68 % y 69 %. En los cuatro ensayos, la rotura se produjo en el material base, y no en la zona de unión soldada. El promedio de resistencia a la tracción fue de 1014,5 MPa, mientras que la elongación promedio fue de 68,25 %.

Tabla 3*Resultados del ensayo de tracción*

Probeta	Resistencia a la tracción (MPa)	Elongación (%)	Zona de rotura
E1	1026	66	Material base
E2	1007	70	Material base
E3	1010	68	Material base
E4	1015	69	Material base
Promedio	1014,5	68,25	—

Nota: Laboratorio de Materiales de la Universidad Nacional de Trujillo (UNT)

Resistencia al impacto

Las probetas de impacto presentaron valores de energía absorbida de 124,0; 124,5; 125,0 y 123,0 J. El valor promedio obtenido fue de 124,13 J.

Tabla 4*Resultados del ensayo de impacto*

Probeta	Energía absorbida (J)
E1	124,0
E2	124,5
E3	125,0
E4	123,0
Promedio	124,13

Nota: Laboratorio de Materiales - (UNT)

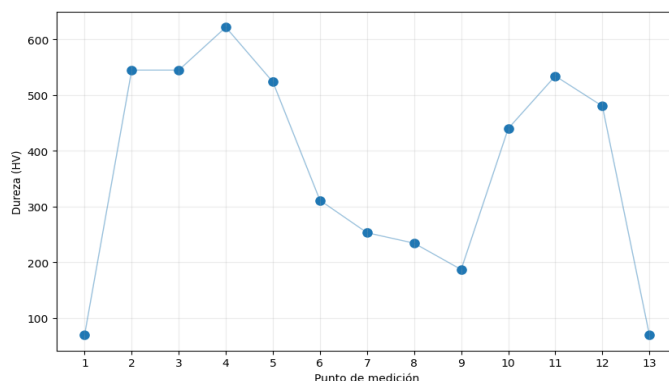
Los resultados muestran una variación reducida entre las cuatro probetas, con una diferencia máxima de 2 J entre el mayor y el menor valor obtenido.

Dureza

La evaluación de dureza presentó una distribución heterogénea entre los 13 puntos de medición, con valores comprendidos entre 69,2 y 621,7 HV. El valor máximo se registró en el punto 4, con 621,7 HV, mientras que el mínimo correspondió al punto 13, con 69,2 HV. Los puntos 2, 3, 4, 5, 10, 11 y 12 presentaron valores superiores a 440 HV, mientras que los puntos 6 a 9 mostraron valores entre 187,0 y 311,2 HV. Esta variabilidad evidencia diferencias en la respuesta de dureza entre los puntos evaluados; sin embargo, debido a que no se dispone de la ubicación espacial exacta de cada punto sobre la sección transversal, los valores se presentan únicamente según su identificación experimental y no se asignan directamente a las regiones de metal base, ZAC o recubrimiento.

Figura 3

Distribución de los valores de dureza Vickers en los puntos de medición de la herramienta recuperada mediante SAW

*Nota:* Laboratorio de Materiales - (UNT)

Resistencia al desgaste

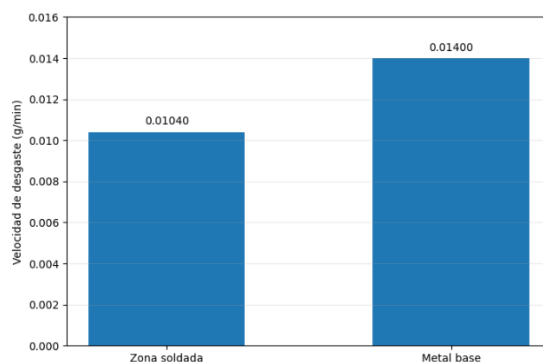
Los ensayos realizados mostraron diferencias en la velocidad de desgaste entre la zona soldada y el metal base. En las dos muestras correspondientes a la zona soldada se registraron pérdidas de masa de 0,0209 y 0,0207 g durante un tiempo de ensayo de 2 min, obteniéndose

velocidades de desgaste de 0,01045 y 0,01035 g/min, respectivamente. En el metal base, las pérdidas de masa fueron de 0,0276 y 0,0284 g, correspondientes a velocidades de desgaste de 0,01380 y 0,01420 g/min.

La velocidad promedio de desgaste fue de 0,01040 g/min para la zona soldada y 0,01400 g/min para el metal base. A partir de estos valores se determinó una reducción aproximada del 25,7 % en la velocidad de desgaste de la zona soldada respecto al metal base, evidenciando una menor pérdida de material en la superficie recuperada bajo las condiciones del ensayo.

Figura 4

Comparación de la velocidad de desgaste



Nota: Laboratorio de Materiales - (UNT)

Comportamiento estructural y vida útil

El análisis estructural mediante SolidWorks Simulation permitió evaluar la respuesta de la herramienta recuperada bajo las condiciones de carga identificadas durante la caracterización del trabajo del cargador frontal. La investigación consideró diferentes sucesos asociados con materiales de trabajo y condiciones de operación, incluyendo cantera, relleno y material arcilloso.

El análisis de fatiga consideró un total de 45 502 ciclos teóricos asociados al periodo de trabajo evaluado. La aplicación de la regla de Miner permitió estimar aproximadamente 61 447 ciclos para alcanzar el 100 % de daño. Para los sucesos considerados se obtuvieron 6 825 ciclos teóricos para el suceso N.º 01, 6 825 para el N.º 02, 9 100 para el N.º 03 y 22 752 para el N.º 04.

Tabla 5

Resultados del análisis de fatiga

Suceso	Material	Ciclos teóricos	Ciclos aproximados para la falla
N.º 01	Cantera	6 825	9 217
N.º 02	Cantera	6 825	9 217
N.º 03	Relleno	9 100	12 289

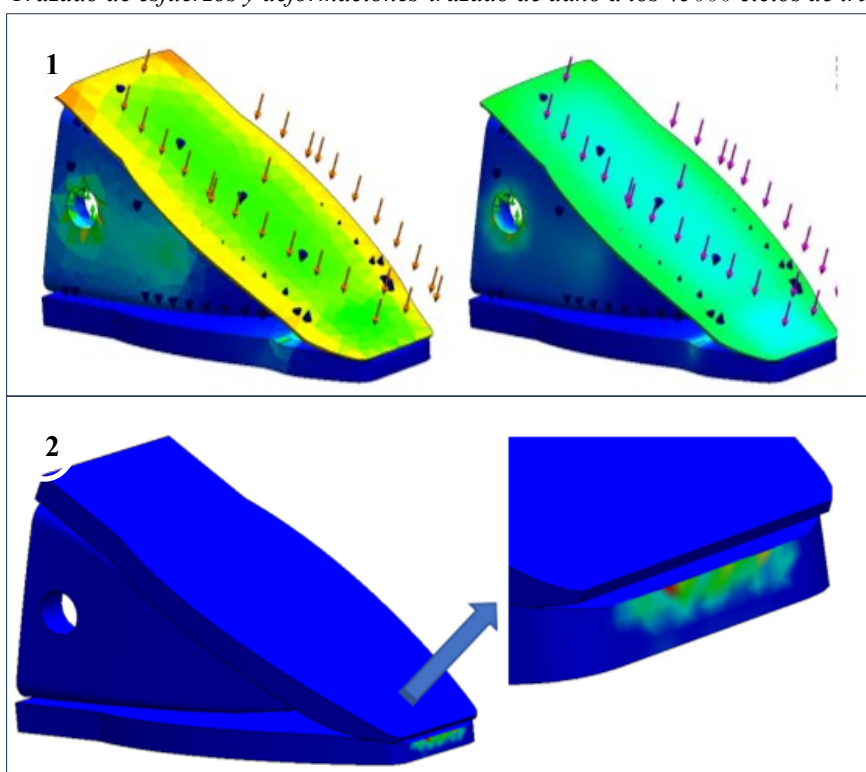
N.º 04	Arcilla	22 752	30 724
Total	—	45 502	61 447

Nota: Laboratorio de Materiales - (UNT)

El trazado de daño mostró que, para los 45 502 ciclos teóricos, la región crítica alcanzó aproximadamente 74 % de daño, mientras que la aproximación utilizada en la investigación estimó el 100 % de daño en 61 447 ciclos asimismo, considerando las condiciones de trabajo analizadas, la vida de la herramienta recuperada fue estimada en aproximadamente cuatro meses para alcanzar la condición de falla, frente a los tres meses correspondientes al periodo de trabajo utilizado para la caracterización finalmente, para la condición de carga crítica se obtuvo un factor de seguridad mínimo de 1,172 considerando una fuerza de penetración de 114 kN, una fuerza de desgarre de 114 kN y 6 825 ciclos.

Figura 5

Trazado de esfuerzos y deformaciones-trazado de daño a los 45000 ciclos de trabajo



El trazado de daño mostró que, para los 45 502 ciclos teóricos, la región crítica alcanzó aproximadamente 74 % de daño, mientras que la aproximación utilizada en la investigación estimó el 100 % de daño en 61 447 ciclos.

Asimismo, considerando las condiciones de trabajo analizadas, la vida de la herramienta recuperada fue estimada en aproximadamente cuatro meses para alcanzar la condición de falla, frente a los tres meses correspondientes al periodo de trabajo utilizado para la caracterización.

Finalmente, para la condición de carga crítica se obtuvo un factor de seguridad mínimo de 1,172, considerando una fuerza de penetración de 114 kN, una fuerza de desgarre de 114 kN y 6 825 ciclos.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos permiten establecer que la recuperación de las herramientas de corte mediante soldadura por arco sumergido (SAW) produjo una respuesta mecánica y tribológica. La evaluación de la microestructura, propiedades mecánicas como resistencia a la tracción, impacto, dureza, desgaste abrasivo y comportamiento a fatiga proporciona la información necesaria para el análisis de la integridad estructural de las herramientas de corte (uñas) contempladas en la presente investigación, el proceso de recuperación utilizó los materiales como acero antidesgaste T-500 empleando alambre EL-12 de 3,2 mm y fundente R35Mo, con parámetros de soldadura recomendados por el fabricante de 350 A, 30 V y una velocidad de avance de 30 cm/min. Estos parámetros son críticos e influyen directamente sobre la penetración, geometría del cordón, composición y propiedades mecánicas obtenidas mediante SAW (Singh & Singh, 2020).

La caracterización microestructural permitió diferenciar el material base, la zona afectada por el calor ZAC y el recubrimiento depositado mediante SAW, asimismo, la composición química mostró diferencias entre el material de aporte y el metal base, particularmente en los contenidos de C, Cr, Mn, Mo y Ni. Estas variaciones resultan relevantes debido a que la composición química, conjuntamente con las condiciones térmicas de soldadura y solidificación, influye sobre las características microestructurales y las propiedades mecánicas de la unión. Estudios realizados en uniones obtenidas mediante SAW han mostrado diferencias microestructurales entre el metal de soldadura, la ZAC y el metal base, registrándose además variaciones en dureza y tamaño de grano próximas a la línea de fusión (Küçükoner et al., 2020).

Del mismo modo, se ha señalado que la distribución térmica generada durante el proceso de soldadura influye sobre la evolución metalúrgica y, posteriormente, sobre las propiedades mecánicas del material (Oo & Muangjunburee, 2018).

Los ensayos de tracción mostraron resistencias comprendidas entre 1007 y 1026 MPa, alcanzando un promedio de 1014,5 MPa, mientras que la elongación promedio fue de 68,25 %. Un aspecto especialmente relevante fue que las probetas presentaron la rotura en el material base y no en la zona de unión soldada este comportamiento constituye un indicador favorable de la estructura mecánica en el proceso de recuperación en concordancia a resultados similares

han sido reportados en determinadas uniones realizadas mediante SAW (Küçükoner et al., 2020). En este sentido, los resultados obtenidos permiten considerar que la unión soldada presentó capacidad suficiente para transferir las solicitaciones mecánicas hacia el material base sin producir una falla prematura en la región recuperada.

Respecto a la resistencia al impacto, las cuatro probetas presentaron energías absorbidas entre 123 y 125 J, con un promedio de 124,13 J y una diferencia máxima de 2 J entre los valores obtenidos. La baja variación observada entre las probetas evidencia una respuesta relativamente uniforme frente a este tipo de sollicitación. Esta propiedad resulta importante en herramientas de corte utilizadas en maquinaria pesada, puesto que durante las operaciones de penetración, excavación y movimiento de material pueden presentarse cargas dinámicas e impactos además del fenómeno de abrasión. No obstante, la resistencia al impacto debe analizarse conjuntamente con la dureza, ya que una mayor dureza no necesariamente implica un incremento simultáneo de la tenacidad. En procesos SAW se ha reportado que determinadas modificaciones en corriente y voltaje pueden incrementar la dureza, pero simultáneamente producir reducciones en propiedades como la resistencia al impacto, lo que demuestra la necesidad de alcanzar un equilibrio entre dureza, resistencia y tenacidad (Singh & Singh, 2020).

La evaluación de la dureza presentó una marcada heterogeneidad, obteniéndose valores comprendidos entre 69,2 y 621,7 HV. Siete puntos de medición presentaron valores superiores a 440 HV, mientras que otros registraron mediciones menores la literatura especializada indica que las propiedades mecánicas de los depósitos obtenidos mediante SAW se encuentran relacionadas con su macroestructura y microestructura y que parámetros como corriente, voltaje y velocidad pueden modificar la dureza del material depositado (Singh & Singh, 2020). De manera similar, investigaciones recientes sobre recubrimientos duros han demostrado que los cambios microestructurales y la presencia de fases endurecedoras pueden modificar considerablemente los niveles de dureza alcanzados por el material depositado (Prysyazhnyuk et al., 2026).

Los resultados correspondientes al desgaste constituyen uno de los hallazgos más importantes del estudio. La zona soldada presentó velocidades de desgaste de 0,01045 y 0,01035 g/min, mientras que el metal base alcanzó 0,01380 y 0,01420 g/min. Los valores promedio fueron de 0,01040 g/min para la zona soldada y 0,01400 g/min para el metal base, representando una disminución aproximada del 25,7 % en la velocidad de desgaste de la superficie recuperada

esto indica que, bajo las condiciones la superficie recuperada presentó mayor resistencia frente al desgaste abrasivo que el material base.

La tendencia obtenida presenta correspondencia con estudios realizados directamente sobre recubrimientos obtenidos mediante SAW. Se ha demostrado que este proceso puede mejorar el comportamiento frente al desgaste de componentes sometidos a abrasión, principalmente cuando se controlan adecuadamente el material de aporte, la dilución y las condiciones de deposición (Zahiri et al., 2014). Asimismo, en recubrimientos realizados sobre acero al 3,5 % Cr mediante SAW se encontró que el número de capas, la microestructura y las condiciones del procedimiento influyen significativamente sobre la resistencia al desgaste; las configuraciones de tres capas presentaron mejor comportamiento abrasivo que las de una sola capa (Oo & Muangjunburee, 2018).

La literatura reciente también respalda la relación entre las características microestructurales del recubrimiento y su resistencia a la abrasión. Balos et al. encontraron que la corriente y la velocidad utilizadas durante el recargue modifican la microestructura y pueden favorecer la formación de constituyentes duros, afectando directamente el comportamiento frente al desgaste (Balos et al., 2025). Estos resultados respaldan la necesidad de analizar de manera conjunta los parámetros de soldadura, la microestructura y el comportamiento tribológico, en lugar de interpretar la resistencia al desgaste únicamente a partir de la dureza.

En efecto, los resultados disponibles muestran que mayor dureza no necesariamente significa mayor resistencia al desgaste. Muangjunburee et al. encontraron que un acero de riel R260 presentó la mayor resistencia al desgaste pese a registrar una dureza inferior a algunos de los metales utilizados para su reparación; por el contrario, uno de los recubrimientos con mayor dureza presentó menor resistencia frente al desgaste (Muangjunburee et al., 2025). Por esta razón, la reducción del 25,7 % obtenida en la presente investigación no debe atribuirse exclusivamente a los valores de dureza, sino al efecto combinado de la composición química, la microestructura, las características del material depositado y el mecanismo de desgaste desarrollado durante el ensayo.

Esta consideración coincide además con investigaciones recientes sobre recubrimientos reforzados, donde la resistencia al desgaste depende no solamente del nivel de dureza alcanzado, sino también de la distribución, estabilidad y características de las fases duras presentes en la matriz. (Luo et al., 2026).

Investigaciones recientes realizadas directamente sobre equipos de cantera han identificado a las herramientas de corte de cargadores frontales, excavadora entre los componentes críticos afectados por desgaste abrasivo y reemplazos frecuentes frente a ello se ha propuesto la recuperación mediante soldadura como alternativa para disminuir costos y tiempos de parada (Floreza et al., 2025). Esto coincide con el propósito del procedimiento desarrollado en el presente trabajo, orientado a recuperar una herramienta (diente) que había alcanzado el límite de vida debido al desgaste y se realizó la reconstrucción geométrica y posterior revestimiento superficial utilizando nuevos aportes y procesos de soldadura SAW.

El análisis estructural y de fatiga complementó los resultados experimentales debido a que permitió evaluar el comportamiento de la herramienta recuperada frente a condiciones asociadas con su operación. Se estimaron 45 502 ciclos teóricos para el periodo analizado y, mediante la regla de Miner, aproximadamente 61 447 ciclos para alcanzar el 100 % de daño.

Para los 45502 ciclos considerados, la región crítica alcanzó aproximadamente 74 % de daño, mientras que la vida útil fue estimada en aproximadamente cuatro meses bajo las condiciones propuestas. Asimismo, para la condición de carga crítica se obtuvo un factor de seguridad mínimo de 1,172 con fuerzas de penetración y desgarre de 114 kN. Estos resultados deben interpretarse considerando que la fatiga en componentes soldados constituye un fenómeno multifactorial la geometría del cordón, las concentraciones de esfuerzos, propiedades mecánicas locales, características de la ZAC, porosidad, rugosidad superficial y tensiones residuales pueden intervenir en la iniciación y propagación de grietas por fatiga (McLaughlin & Mehmanparast, 2026). Por ello, la simulación realizada debe entenderse como una estimación de la respuesta estructural bajo las condiciones establecidas en el modelo y no como una determinación absoluta de la vida real del componente.

Esta precisión resulta especialmente importante porque el modelo de fatiga empleado en la investigación no incorporó de manera simultánea la reducción progresiva del espesor ocasionada por el desgaste abrasivo. La propia investigación reconoce que ambos fenómenos pueden presentarse simultáneamente durante el funcionamiento de la herramienta y que esta interacción podría modificar la estimación de vida obtenida. Por tanto, el valor aproximado de cuatro meses debe interpretarse como una vida útil estimada bajo las condiciones de carga consideradas, constituyendo además una oportunidad para futuros trabajos que integren en un mismo modelo el daño por fatiga y la pérdida progresiva de material ocasionada por abrasión.

Al aplicar los criterios de ingeniería establecidos, la hipótesis general quedó respaldada descriptivamente: las cuatro probetas de tracción fallaron en el metal base y no en la unión soldada; la velocidad promedio de desgaste de la zona soldada fue 25,7 % menor que la del metal base; y la condición crítica simulada presentó un factor de seguridad de 1,172 y un daño acumulado aproximado de 74 % a los 45502 ciclos, inferior a la condición de falla definida por el 100 % de daño. La evidencia microestructural y los resultados de impacto y dureza complementaron esta valoración. Por ello, el procedimiento con acero T-500, alambre EL-12 y fundente R35Mo se considera técnicamente viable para las herramientas evaluadas, dentro de las condiciones experimentales y numéricas del estudio, sin que ello implique su validación para todas las condiciones reales de operación.

CONCLUSIONES

La recuperación de las herramientas de corte mediante soldadura por arco sumergido (SAW), utilizando acero antidesgaste T-500, alambre EL-12 de 3,2 mm y fundente R35Mo que según los resultados de ensayos de tracción se alcanzó una resistencia promedio de 1014,5 MPa y una elongación promedio de 68,25 %, lo que evidencia la factibilidad técnica obtener una unión con comportamiento mecánico favorable.

La respuesta frente al impacto presentó valores entre 123 y 125 J, con una energía promedio absorbida de 124,13 J con variación mínimas entre las probetas, adicional la dureza mostró valores comprendidos entre 69,2 y 621,7 HV, evidenciando datos heterogéneos en los puntos evaluados, por otro lado, la zona recuperada presentó una mayor resistencia al desgaste abrasivo respecto al metal base. La velocidad promedio de desgaste disminuyó de 0,01400 g/min en el metal base a 0,01040 g/min en la zona soldada, representando una reducción aproximada del 25,7 %. Este resultado constituye uno de los principales indicadores experimentales obtenidos con el procedimiento SAW frente a condiciones abrasivas.

En el análisis de fatiga se estimó con 45 502 ciclos de trabajo y aproximadamente 61 447 ciclos para alcanzar el 100 % de daño acumulado. Bajo las condiciones de carga solicitadas, la región crítica alcanzó aproximadamente 74 % de daño a los 45 502 ciclos y se obtuvo un factor de seguridad mínimo de 1,172 para la condición crítica. Asimismo, la vida útil de la herramienta recuperada fue estimada en aproximadamente cuatro meses; este valor debe interpretarse como una predicción bajo las condiciones establecidas en el modelo, debido a que el efecto simultáneo del desgaste abrasivo no fue incorporado en el análisis de fatiga.

En conjunto, los hallazgos respaldan descriptivamente la hipótesis general y muestran que la recuperación mediante SAW es técnicamente viable, bajo las condiciones ensayadas y simuladas, para reutilizar las herramientas de corte evaluadas. Para la ingeniería, el aporte principal consiste en integrar evidencia metalúrgica, mecánica, tribológica y estructural en un criterio de decisión sobre la recuperación de componentes. Para la industria de mantenimiento de maquinaria pesada, este enfoque ofrece una base técnica para evaluar la recuperación frente al reemplazo inmediato, con potencial para prolongar el aprovechamiento de las piezas y reducir el consumo de repuestos y los tiempos de indisponibilidad. Su aplicación industrial debe acompañarse de control de calidad del procedimiento, seguimiento en servicio y validación del efecto combinado del desgaste y la fatiga.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Balos, S., Labus Zlatanović, D., Janjatović, P., Pećanac, M., Erić Cekić, O., Rosić, M., & Stopić, S. (2025). Microstructure, hardness, and wear behavior of layers obtained by electric arc hardfacing processes. *Materials*, 18(2), 299. <https://doi.org/10.3390/ma18020299>
- Florea, V. A., Toderas, M., & Tihanov-Tănăsache, D. (2025). Influence of abrasive wear on reliability and maintainability of components in quarry technological equipment: A case study. *Applied Sciences*, 15(7), 3603. <https://doi.org/10.3390/app15073603>
- Hao, J., & Que, H. (2026). The effect of heat treatment temperature on the wear resistance of 42CrMo steel hardfacing with Fe–Cr–C alloy. *Journal of Alloys and Metallurgical Systems*, 13, 100235. <https://doi.org/10.1016/j.jalmes.2026.100235>
- Küçükoner, H., Karakoç, H., & Kahraman, N. (2020). Investigation of microstructure and mechanical properties of AISI2205/DIN-P355GH steel joint by submerged arc welding. *Journal of Manufacturing Processes*, 59, 566–586. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.10.023>
- Luo, K., Yang, X., He, J., Lu, J., Ai, X., Luo, Z., & Luo, F. (2026). Tailoring high-temperature wear resistance of PTAW Ni–WC coatings: The critical role of WC type in microstructural optimization and properties design. *Surface & Coatings Technology*, 530, 133530. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2026.133530>

- McLaughlin, E., & Mehmanparast, A. (2026). Fatigue life prediction of as-welded steel structures using phase-field modelling: The role of material properties and weld geometry. *Engineering Failure Analysis*, 197, 111126. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2026.111126>
- Mohammadi, A. A., Wang, Z., & Teng, H. (2025). Mechanical and metallurgical assessment of a submerged arc welded surfaced rail. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 19, 211–222. <https://doi.org/10.1016/j.ijst.2024.09.003>
- Mohammadi, H., Eslami, A., Bahrami, A., & Saeidi, N. (2025). Effect of heat treatment on crack growth resistance of 420NiMo hard-faced coating applied on DIN 21CrMoV5-11 steel substrate using submerged arc welding (SAW). *Journal of Materials Research and Technology*, 39, 4913–4923. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2025.10.093>
- Muangjunburee, P., Oo, H. Z., Abd Rahim, S. Z., & Srikarun, B. (2025). Abrasive wear performance of repair welds on R260 rail using different welding electrodes. *Results in Engineering*, 26, 104680. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.104680>
- Ning, Y., Qiu, Z., Wu, B., Pan, Z., & Li, H. (2025). Hardfacing of metals: A review of consumables, properties and strengthening processes. *Journal of Materials Research and Technology*, 36, 6330–6349. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2025.04.221>
- Oo, H. Z., & Muangjunburee, P. (2018). Wear behaviour of hardfacing on 3.5% chromium cast steel by submerged arc welding. *Materials Today: Proceedings*, 5, 9281–9289.
- Prysyazhnyuk, P., Paliichuk, I., Prysiashniuk, A., Marynenko, S., Huryk, O., Khomyk, N., & Koval, I. (2026). Microstructure and hardness of high-manganese steel coatings reinforced with molybdenum carbide (Mo₂C). *Procedia Structural Integrity*, 81, 552–557. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2026.03.094>
- Singh, A., & Singh, R. P. (2020). A review of effect of welding parameters on the mechanical properties of weld in submerged arc welding process. *Materials Today: Proceedings*, 26, 1714–1717. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.361>

- Singh, A. B., Singh, S., Dangayach, G. S., Meena, M. L., & Kumar, M. (2026). Comparative study of SAW and ASAW process on ASTM A709 Grade 36 steel welds. *Materials Today: Proceedings*, 118, 22–30. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.01.052>
- Xue, K., Ma, Y., Shi, J., & Nie, J. (2025). Development and performance evaluation of high-value SJ101 submerged arc welding flux from solid waste steel slag. *Structures*, 80, 109842. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2025.109842>
- Zahiri, R., Sundaramoorthy, R., Lysz, P., & Subramanian, C. (2014). Hardfacing using ferro-alloy powder mixtures by submerged arc welding. *Surface & Coatings Technology*, 260, 220–229. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2014.08.076>

ARTÍCULO ORIGINAL

Factores psicosociales y complicaciones obstétricas asociados a la depresión posparto en púérperas atendidas en un establecimiento de salud de Piura

Psychosocial factors and obstetric complications associated with postpartum depression in women receiving care at a health facility in Piura

Jonathan Aranda 

RESUMEN

Determinar la asociación entre factores psicosociales y complicaciones obstétricas con la depresión posparto (DPP) en púérperas atendidas en el Centro de Análisis Clínicos GEMA, Piura. Estudio cuantitativo, correlacional-analítico y transversal en 232 púérperas. Se aplicó la Escala de Edimburgo (EPDS), APGAR familiar y encuesta sociodemográfica, con análisis bivariado y regresión logística. La prevalencia de DPP fue del 38.8%. Los factores psicosociales mostraron las asociaciones más fuertes: disfunción familiar severa (ORa: 4.87), violencia de pareja (ORa: 4.12), apoyo social inadecuado (ORa: 3.42) y estrés emocional (ORa: 3.28). Entre las complicaciones obstétricas, solo la cesárea de emergencia (ORa: 2.89) y la hemorragia posparto (ORa: 2.33) persistieron como factores independientes. La edad menor de 20 años (ORa: 2.15) y los controles prenatales insuficientes (ORa: 2.22) aumentaron el riesgo, mientras que la educación superior fue protectora (ORa: 0.41). La DPP afecta a casi 4 de cada 10 púérperas, predominando los determinantes psicosociales sobre los obstétricos. Se recomienda implementar tamizaje rutinario con EPDS y APGAR familiar, fortalecer redes de apoyo y detectar violencia de pareja en el primer nivel de atención para reducir la carga de DPP en el Perú.

Palabras clave: Atención primaria; salud materna; prevención, estrés, salud pública.

ABSTRACT

To determine the association of psychosocial factors and obstetric complications with postpartum depression (PPD) in women who had recently given birth and were attended at the GEMA Clinical Analysis Center in Piura. A quantitative, correlational-analytical, cross-sectional study involving 232 women. The Edinburgh Postnatal Depression Scale (EPDS), the Family APGAR scale, and a sociodemographic survey were administered; data were analyzed using bivariate analysis and logistic regression. The prevalence of PPD was 38.8%. Psychosocial factors showed the strongest associations: severe family dysfunction (aOR: 4.87), intimate partner violence (aOR: 4.12), inadequate social support (aOR: 3.42), and emotional stress (aOR: 3.28). Among obstetric complications, only emergency cesarean section (aOR: 2.89) and postpartum hemorrhage (aOR: 2.33) remained as independent factors. Age under 20 years (aOR: 2.15) and insufficient prenatal care (aOR: 2.22) increased the risk, whereas higher education served as a protective factor (aOR: 0.41). PPD affects nearly 4 out of 10 women who have recently given birth, with psychosocial determinants playing a more prominent role than obstetric ones. Recommendations include implementing routine screening using the EPDS and Family APGAR, strengthening support networks, and detecting intimate partner violence at the primary care level to reduce the burden of PPD in Peru.

Keywords: Primary care; maternal health; prevention, stress, public health.

* Autor para correspondencia

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

INTRODUCCIÓN

La depresión posparto (DPP) es uno de los trastornos del estado de ánimo más prevalentes en salud materno-infantil, afectando globalmente entre el 10% y 20% de las puérperas, con tasas que se elevan por encima del 20-30% en poblaciones vulnerables de América Latina y Perú. Además de impactar la calidad de vida materna y el vínculo con el recién nacido, constituye una causa importante de mortalidad materna por suicidio en países de altos ingresos (hasta 39% de muertes tardías)(Alhaj Ahmad et al., 2024a; Bodunde et al., 2023a; Chen & Nakagawa, 2025; Schoretsanitis et al., 2024). La DPP tiene una etiología multifactorial donde interactúan determinantes biológicos, psicológicos y sociales(Cirujana Asesor Tohalino Meza Gustavo, 2018). Los factores psicosociales más consistentemente asociados incluyen bajo apoyo social, violencia de pareja, depresión prenatal y eventos estresantes; mientras que las complicaciones obstétricas como hemorragia posparto, preeclampsia, diabetes gestacional, parto pretérmino y cesárea de emergencia también han mostrado asociación significativa(Aguilar Condori & Medina Del Valle, 2013; Ferrari et al., 2026; Galletta et al., 2026). La evidencia internacional (Qi et al., 2021) y nacional (Leveau-Bartra et al., 2024; Medina Rosado, 2022) confirma la relevancia de los factores psicosociales, con frecuencias de tamizaje positivo que alcanzan el 40% en hospitales peruanos. A nivel regional, estudios en Piura y Sullana (Calle Domínguez, 2025; Juárez Vásquez, 2022) reportan prevalencias del 54.5% y factores como disfunción familiar, adolescencia materna y baja satisfacción conyugal. Sin embargo, persisten vacíos sobre cómo estos factores se manifiestan en establecimientos de salud de nivel primario como el Centro de Análisis Clínicos GEMA, donde la ausencia de tamizajes rutinarios perpetúa el subdiagnóstico.

En este contexto, el presente estudio se planteó como objetivo general determinar la asociación entre los factores psicosociales y las complicaciones obstétricas con la depresión posparto en puérperas atendidas en el Centro de Análisis Clínicos GEMA, Piura. Como objetivos específicos, se buscó identificar la prevalencia y severidad de la DPP, determinar su asociación con los factores psicosociales (apoyo social, disfuncionalidad familiar, violencia de pareja, estrés emocional, eventos estresantes y embarazo no planificado) y con las complicaciones obstétricas (hemorragia posparto, preeclampsia, diabetes gestacional, tipo de parto y parto pretérmino), identificar los factores sociodemográficos y obstétricos asociados (edad, nivel educativo, estado civil, paridad y controles prenatales), y establecer los predictores independientes mediante regresión logística ajustada. La hipótesis general sostiene que existe asociación significativa entre estos factores y la DPP; como hipótesis nula se planteó la ausencia

de dicha asociación. Específicamente, se hipotetizó que los factores psicosociales adversos, las complicaciones obstétricas como hemorragia posparto y cesárea de emergencia, la edad menor de 20 años, la primiparidad, los controles prenatales insuficientes y la falta de pareja estable aumentan el riesgo de DPP, mientras que la educación superior actúa como factor protector; además, se esperó que los factores psicosociales tengan mayor fuerza de asociación que las complicaciones obstétricas, siendo la disfunción familiar severa, la violencia de pareja y el apoyo social inadecuado los predictores más potentes en el modelo ajustado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Estudio aplicado, cuantitativo, observacional, correlacional-analítico y transversal en el Centro de Análisis Clínicos GEMA, Piura. Muestra: 232 puérperas (muestreo por conveniencia), calculada con fórmula para comparación de proporciones (95% confianza, 80% potencia). Criterios: puérperas >18 años con consentimiento informado; exclusión por trastorno depresivo/bipolar activo, psicosis posparto o limitaciones cognitivas. Variable dependiente: DPP medida con EPDS (sin depresión: 0-9, leve: 10-12, mayor: ≥ 13). Variables independientes: apoyo social, disfuncionalidad familiar (APGAR), eventos estresantes, hemorragia posparto, preeclampsia, diabetes gestacional, tipo de parto y parto pretérmino. Variables de control: edad, nivel educativo, estado civil, paridad y controles prenatales. Recolección: encuesta y revisión documental en 5 fases. Análisis: SPSS v26 (descriptivo e inferencial: chi-cuadrado/Fisher, OR/IC95%, regresión logística binaria, $p < 0.05$). Aspectos éticos: Declaración de Helsinki, consentimiento informado, anonimización, derivación a salud mental si EPDS ≥ 13 . Limitaciones: diseño transversal, muestreo por conveniencia, sesgo de memoria y generalización limitada.

RESULTADOS

De las 232 puérperas, el grupo etario predominante fue de 20-35 años (67,2 %), con un 16.4% menores de 20 años y otro 16.4% mayores de 35 años. La mayoría eran convivientes (50,9%), tenían educación secundaria (54,7%), se dedicaban al hogar (61,2%) y percibían ingresos menores a 1000 soles (42,2%), reflejando condiciones socioeconómicas desfavorables.

Tabla 1
Características sociodemográficas de las puérperas

Característica	Frecuencia (n)	Porcentaje (%)
Edad materna		
< 20 años	38	16,4
20 - 35 años	156	67,2
> 35 años	38	16,4
Estado civil		
Soltera	52	22,4
Conviviente	118	50,9

Característica	Frecuencia (n)	Porcentaje (%)
Casada	48	20,7
Separada/divorciada	14	6,0
Nivel educativo		
Primaria	35	15,1
Secundaria	127	54,7
Superior	70	30,2
Ocupación		
Ama de casa	142	61,2
Trabajadora dependiente	48	20,7
Independiente	26	11,2
Estudiante	10	4,3
Desempleada	6	2,6
Ingreso económico mensual		
< S/. 1000	98	42,2
S/. 1000 - 2000	87	37,5
> S/. 2000	47	20,3

La prevalencia global de depresión posparto (DPP) en la población estudiada fue del 38,8% (n=90), lo que significa que casi 4 de cada 10 puérperas presentaron sintomatología depresiva significativa. Al clasificar según la severidad, se encontró que la depresión leve afectó al 24,1% (n=56) de las participantes, mientras que la depresión mayor, que requiere intervención especializada inmediata, se presentó en el 14,7% (n=34) de los casos. Esta elevada prevalencia supera ampliamente los promedios mundiales reportados (10-20%) y evidencia la magnitud del problema en el establecimiento de salud estudiado.

Tabla 2

Prevalencia y severidad de depresión posparto

Categoría EPDS	Frecuencia (n)	Porcentaje (%)
Sin depresión	142	61,2
Depresión leve	56	24,1
Depresión mayor	34	14,7
Total, con DPP	90	38,8

Los seis factores psicosociales evaluados se asociaron significativamente con DPP ($p<0,05$). La disfunción familiar evidenció relación dosis-respuesta: disfunción leve (OR: 3,00) y severa (OR: 6,00), siendo el factor más potente. Le siguieron violencia de pareja (OR: 5,36), estrés/sobrecarga emocional (OR: 4,17), apoyo social inadecuado (OR: 3,76), eventos estresantes (OR: 3,26) y embarazo no planificado (OR: 2,54). Los determinantes psicosociales, especialmente los vinculados al entorno familiar y de pareja, superan en fuerza a las complicaciones obstétricas, orientando las intervenciones hacia el fortalecimiento de redes de apoyo, prevención de violencia y manejo de disfunción familiar.

Tabla 3*Factores psicosociales y su asociación con depresión posparto*

Factor psicosocial	Total (n=232) / n (%)	DPP presente (n=90) / n (%)	DPP ausente (n=142) n (%)	OR (IC 95%)	Valor p
Apoyo social					
Adecuado	142 (61,2)	38 (42,2)	104 (73,2)	Ref	-
Inadecuado	90 (38,8)	52 (57,8)	38 (26,8)	3,76 (2,18-6,48)	<0,001
Disfuncionalidad familiar					
Funcional	128 (55,2)	32 (35,6)	96 (67,6)	Ref	-
Disfunción leve	68 (29,3)	34 (37,8)	34 (23,9)	3,00 (1,64-5,48)	<0,001
Disfunción severa	36 (15,5)	24 (26,6)	12 (8,5)	6,00 (2,72-13,22)	<0,001
Embarazo planificado					
Sí	158 (68,1)	50 (55,6)	108 (76,1)	Ref	-
No	74 (31,9)	40 (44,4)	34 (23,9)	2,54 (1,45-4,43)	0,001
Violencia de pareja					
No	196 (84,5)	64 (71,1)	132 (93,0)	Ref	-
Sí	36 (15,5)	26 (28,9)	10 (7,0)	5,36 (2,43-11,82)	<0,001
Estrés/Sobrecarga emocional					
No	126 (54,3)	30 (33,3)	96 (67,6)	Ref	-
Sí	106 (45,7)	60 (66,7)	46 (32,4)	4,17 (2,39-7,28)	<0,001
Eventos estresantes					
Ausente	164 (70,7)	50 (55,6)	114 (80,3)	Ref	-
Presente	68 (29,3)	40 (44,4)	28 (19,7)	3,26 (1,82-5,83)	<0,001

La hemorragia posparto se presentó en el 14,7% (n=34) de las púerperas y se asoció con un riesgo 2,61 veces mayor de DPP (IC95%: 1,24-5,50; p=0,010). La preeclampsia afectó al 10,3% (n=24) de la población y mostró una asociación significativa con DPP (OR: 2,43; IC95%: 1,03-5,73; p=0,039). En cuanto al tipo de parto, la cesárea de emergencia fue la complicación obstétrica con mayor fuerza de asociación (OR: 3,41; IC95%: 1,65-7,05; p<0,001), mientras que la cesárea electiva no alcanzó significancia estadística (p=0,052). La diabetes gestacional (6,0%, n=14) y el parto pretérmino (11,2%, n=26) no mostraron asociación significativa con la depresión posparto en el análisis bivariado.

Tabla 4*Complicaciones obstétricas y su asociación con depresión posparto*

Complicación obstétrica	Total (n=232) n (%)	DPP presente (n=90) n (%)	DPP ausente (n=142) n (%)	OR (IC 95%)	Valor p
Hemorragia posparto					
No	198 (85,3)	70 (77,8)	128 (90,1)	Ref	-
Sí	34 (14,7)	20 (22,2)	14 (9,9)	2,61 (1,24-5,50)	0,010
Preeclampsia					
No	208 (89,7)	76 (84,4)	132 (93,0)	Ref	-
Sí	24 (10,3)	14 (15,6)	10 (7,0)	2,43 (1,03-5,73)	0,039
Diabetes gestacional					
No	218 (94,0)	84 (93,3)	134 (94,4)	Ref	-
Sí	14 (6,0)	6 (6,7)	8 (5,6)	1,20 (0,40-3,58)	0,748
Tipo de parto					
Vaginal	144 (62,1)	44 (48,9)	100 (70,4)	Ref	-
Cesárea electiva	48 (20,7)	22 (24,4)	26 (18,3)	1,92 (0,99-3,73)	0,052
Cesárea emergencia	40 (17,2)	24 (26,7)	16 (11,3)	3,41 (1,65-7,05)	<0,001
Parto pretérmino					
No	206 (88,8)	76 (84,4)	130 (91,5)	Ref	-
Sí	26 (11,2)	14 (15,6)	12 (8,5)	1,99 (0,88-4,51)	0,09

La Tabla 5 muestra que la edad menor de 20 años (OR: 2,22; p=0,042), la primiparidad (OR: 1,90; p=0,021), los controles prenatales insuficientes <6 (OR: 2,49; p=0,003) y la falta de pareja estable (OR: 2,49; p=0,002) se asociaron significativamente con mayor riesgo de DPP. El nivel educativo superior actuó como factor protector (OR: 0,38; p=0,004).

Tabla 5*Variables sociodemográficas y obstétricas asociadas a DPP*

Variable	Total (n=232) n (%)	DPP presente (n=90) n (%)	DPP ausente (n=142) n (%)	OR (IC 95%)	Valor p
Edad					
< 20 años	38 (16,4)	20 (22,2)	18 (12,7)	2,22 (1,02-4,84)	0,042
20-35 años	156 (67,2)	56 (62,2)	100 (70,4)	Ref	-

Variable	Total (n=232) n (%)	DPP presente (n=90) n (%)	DPP ausente (n=142) n (%)	OR (IC 95%)	Valor p
> 35 años	38 (16,4)	14 (15,6)	24 (16,9)	1,04 (0,49-2,20)	0,914
Paridad					
Primípara	82 (35,3)	40 (44,4)	42 (29,6)	1,90 (1,10-3,29)	0,021
Múltipara	124 (53,5)	42 (46,7)	82 (57,7)	Ref	-
Gran múltipara	26 (11,2)	8 (8,9)	18 (12,7)	0,87 (0,35-2,14)	0,756
Controles prenatales					
Insuficientes (<6)	58 (31,2)	32 (42,1)	26 (23,6)	2,49 (1,36-4,55)	0,003
Adecuados (6-8)	128 (55,2)	44 (57,9)	84 (76,4)	Ref	-
Nivel educativo					
Primaria	35 (15,1)	18 (20,0)	17 (12,0)	1.83 (0,88-3,79)	0,103
Secundaria	127 (54,7)	56 (62,2)	71 (50,0)	Ref	-
Superior	70 (30,2)	16 (17,8)	54 (38,0)	0.38 (0,19-0,73)	0,004
Estado civil					
Con pareja estable	166 (71,6)	54 (60,0)	112 (78,9)	Ref	-
Sin pareja estable	66 (28,4)	36 (40,0)	30 (21,1)	2.49 (1,40-4,43)	0,002

En el análisis multivariable ajustado, los factores psicosociales fueron los predictores más potentes de DPP: disfunción familiar severa (ORa: 4,87), violencia de pareja (ORa: 4,12), apoyo social inadecuado (ORa: 3,42) y estrés/sobrecarga emocional (ORa: 3,28). Entre las complicaciones obstétricas, solo la cesárea de emergencia (ORa: 2.89) y la hemorragia posparto (ORa: 2,33) se mantuvieron como factores de riesgo independientes. Las variables de control

significativas fueron: edad menor de 20 años (ORa: 2,15), controles prenatales insuficientes (ORa: 2,22) y educación superior como factor protector (ORa: 0,41).

Tabla 6

Modelo de regresión logística binaria para depresión posparto

Variable	OR ajustado	IC 95%	Valor p
Factores psicosociales			
Apoyo social inadecuado	3,42	1,89 - 6,18	<0,001
Disfunción familiar severa	4,87	2,10 – 11,30	<0,001
Disfunción familiar leve	2,34	1,21 – 4,52	0,011
Violencia de pareja	4,12	1,78 – 9,54	<0,001
Estrés/sobrecarga emocional	3,28	1,79 – 6,01	<0,001
Embarazo no planificado	1,94	1,05 – 3,59	0,035
Eventos estresantes	2,16	1,14 – 4,09	0,018
Complicaciones obstétricas			
Hemorragia posparto	2,33	1,04 – 5,22	0,040
Cesárea de emergencia	2,89	1,32 – 6,33	0,008
Preeclampsia	1,98	0,80 – 4,90	0,138
Parto pretérmino	1,72	0,72 – 4,11	0,222
Variables de control			
Edad < 20 años	2,15	1,03 – 4,49	0,042
Primiparidad	1,78	0,97 – 3,27	0,063
Controles prenatales insuficientes	2,22	1,16 – 4,25	0,016
Nivel educativo superior	0,41	0,20 – 0,84	0,015
Sin pareja estable	1,79	0,94 – 3,41	0,076

DISCUSIÓN

El estudio encontró una prevalencia de depresión posparto del 38,8% en el Centro de Análisis Clínicos GEMA, muy superior al promedio global (10-20%). Los factores psicosociales fueron los predictores más potentes: disfunción familiar severa (ORa: 4,87), violencia de pareja (ORa: 4,12) y apoyo social inadecuado (ORa: 3,42). Estos hallazgos coinciden con estudios internacionales (Alhaj Ahmad et al., 2024b; Bodunde et al., 2023b; Chen & Nakagawa, 2025; Qi et al., 2021) y nacionales (Calle Domínguez, 2025; Juárez Vásquez, 2022; Leveau-Bartra et al., 2024; Medina Rosado, 2022), confirmando la consistencia de los factores psicosociales como determinantes universales. La relación dosis-respuesta (disfunción leve ORa: 2,15; severa ORa: 4,87) refuerza la importancia de la funcionalidad familiar. Las complicaciones obstétricas

perdieron significación en el análisis multivariable (excepto hemorragia posparto marginal), sugiriendo que su impacto estaría mediado por el contexto psicosocial. Se requiere implementar tamizajes rutinarios con EPDS y APGAR Familiar, fortalecer redes de apoyo y detectar violencia de pareja en el primer nivel de atención. Limitaciones: diseño transversal, muestreo por conveniencia y sesgo de autorreporte. Fortalezas: muestra adecuada (n=232), instrumentos validados y análisis multivariable.

CONCLUSIONES

Los factores psicosociales (disfunción familiar severa, violencia de pareja y apoyo social inadecuado) son los predictores más potentes de depresión posparto en el Centro de Análisis Clínicos GEMA, superando a las complicaciones obstétricas. La prevalencia del 38.8% confirma que la depresión posparto es un problema de salud pública prioritario. Se requiere implementar tamizajes rutinarios con la Escala de Edimburgo, fortalecer redes de apoyo y detectar tempranamente la violencia de pareja en el primer nivel de atención. Los hallazgos son consistentes con la literatura nacional e internacional, sugiriendo que intervenciones sobre factores psicosociales adversos podrían reducir significativamente la carga de depresión posparto en el Perú. Se necesitan estudios longitudinales y representativos para confirmar estos resultados y evaluar la efectividad de las intervenciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar Condori, E., & Medina Del Valle, C. (2013). *Prevalencia y Factores Que Influyen en la Depresión Post Parto, en Primíparas y Multíparas Atendidas en el Hospital Regional Honorio Delgado Espinoza de Arequipa, en Enero y Febrero de 2013*. Universidad Católica de Santa María. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/4219>
- Alhaj Ahmad, M., Al Awar, S., Sayed Sallam, G., Alkaabi, M., Smetanina, D., Statsenko, Y., & Zaręba, K. (2024a). Biopsychosocial Predictors of Postpartum Depression: Protocol for Systematic Review and Meta-Analysis. *Healthcare (Basel, Switzerland)*, 12(6). <https://doi.org/10.3390/HEALTHCARE12060650>
- Alhaj Ahmad, M., Al Awar, S., Sayed Sallam, G., Alkaabi, M., Smetanina, D., Statsenko, Y., & Zaręba, K. (2024b). Biopsychosocial Predictors of Postpartum Depression: Protocol for Systematic Review and Meta-Analysis. *Healthcare (Switzerland)*, 12(6), 650. <https://doi.org/10.3390/HEALTHCARE12060650/S1>

- Bodunde, E. O., Buckley, D., O'Neill, E., Maher, G. M., Matvienko-Sikar, K., O'Connor, K., McCarthy, F. P., & Khashan, A. S. (2023a). Pregnancy and birth complications associations with long-term adverse maternal mental health outcomes: a systematic review and meta-analysis protocol. *HRB Open Research*, 6, 3. <https://doi.org/10.12688/HRBOPENRES.13660.3>
- Bodunde, E. O., Buckley, D., O'Neill, E., Maher, G. M., Matvienko-Sikar, K., O'Connor, K., McCarthy, F. P., & Khashan, A. S. (2023b). Pregnancy and birth complications associations with long-term adverse maternal mental health outcomes: a systematic review and meta-analysis protocol. *HRB Open Research* 2023 6:3, 6, 3. <https://doi.org/10.12688/hrbopenres.13660.3>
- Calle Domínguez, B. J. (2025). *Relación de pareja asociada a depresión postparto en puérperas de un hospital II Piura 2025*.
- Chen, C., & Nakagawa, S. (2025). Recent advances in the study of perinatal mental health: Epidemiology, psychopathology and intervention. *Advances in Clinical and Experimental Medicine*, 34(12), 1999–2003. <https://doi.org/10.17219/ACEM/212646>
- Cirujana Asesor Tohalino Meza Gustavo, M. (2018). *Factores Asociados al Riesgo de Depresión Posparto en Puérperas Mediatas del Hospital III Yanahuara, Arequipa, Enero - Febrero 2018*. Universidad Católica de Santa María. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/7568>
- Ferrari, A. J., Miller, P. A., Shadid, J., Herrera, A. M., Ahmed, S. M., Malpani, P., Noyes, T. S., Chihara, I., McHugh, T. A., Ayu Nanditha, N. G., Vos, T., Kassebaum, N. J., Dirac, M. A., & Santomauro, D. F. (2026). The global prevalence of major depressive disorder during the peripartum period: a systematic review and meta-regression. *The Lancet. Psychiatry*, 13(6), 461–471. [https://doi.org/10.1016/S2215-0366\(26\)00085-4](https://doi.org/10.1016/S2215-0366(26)00085-4)
- Galletta, M. A. K., Hashimoto, A. S., Estrambk, G. de A., Verardo, I. P. S., Cantagalli, M. H. I., Peres, S. V., & Francisco, R. P. V. (2026). Prevalence of postpartum depression in the COVID-19 pandemic and associated factors: systematic review and meta-analysis. *BMC Pregnancy and Childbirth*, 26, 157. <https://doi.org/10.1186/S12884-025-08262-Z>

- Juárez Vásquez, M. J. (2022). *Factores asociados a depresión posparto en puérperas inmediatas atendidas en el Hospital de Apoyo II-2 Sullana, durante los meses de febrero-marzo de 2022*. Universidad Nacional de Piura. <https://hdl.handle.net/20.500.12676/3437>
- Leveau-Bartra, H. R., Chávez-Navarro, J. R., Calle-Vilca, L. A., Guerrero-Ortiz, H. A., Mejia-Lengua, C. E., Luján-Divizzia, B. M., Leveau-Vásquez, I. K., Medina-Vásquez, N. L., Leveau-Vásquez, H. I., & Medina-Vásquez, F. K. (2024). Factores asociados a la depresión posparto en puérperas de un hospital peruano. *Clínica e Investigación En Ginecología y Obstetricia*, 51(4), 100986. <https://doi.org/10.1016/J.GINE.2024.100986>
- Medina Rosado, N. L. (2022). *Factores relacionados a depresión post parto durante el contexto COVID 19 en puerperas de un Centro de Atención primaria, Arequipa 2022*. Universidad Católica de Santa María. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/12238>
- Qi, W., Zhao, F., Liu, Y., Li, Q., & Hu, J. (2021). Psychosocial risk factors for postpartum depression in Chinese women: a meta-analysis. *BMC Pregnancy and Childbirth*, 21(1), 174. <https://doi.org/10.1186/S12884-021-03657-0>
- Schoretsanitis, G., Gastaldon, C., Ochsenbein-Koelble, N., Olbrich, S., Barbui, C., & Seifritz, E. (2024). Postpartum hemorrhage and postpartum depression: A systematic review and meta-analysis of observational studies. *Acta Psychiatrica Scandinavica*, 150(5), 274–283. <https://doi.org/10.1111/ACPS.13583>

ARTÍCULO ORIGINAL

Relación entre grado de instrucción y nivel de conocimiento sobre cáncer de cérvix en mujeres en edad fértil, Trujillo 2025

Relationship between level of education and level of knowledge regarding cervical cancer among women of childbearing age, Trujillo 2025

Álvaro Quispe ¹ * y Ghyanelly Marrufo ² 

RESUMEN

El cáncer de cérvix (CC) representa un importante problema de salud pública cuya prevención se vincula con los Objetivos de Desarrollo Sostenible 3, orientados a asegurar el acceso a información y a servicios de salud sexual y reproductiva. El estudio tuvo como objetivo determinar la relación entre el grado de instrucción y el nivel de conocimiento sobre el CC en mujeres en etapa fértil. La investigación fue observacional, analítica, transversal y relacional, con enfoque cuantitativo. La muestra estudiada estuvo integrada por 162 mujeres en edad fértil. Los resultados evidenciaron que la mayoría presentó un nivel de conocimiento bajo/medio sobre el CC (50,6%) y sobre sus medidas preventivas (54,9%). En cuanto al grado de instrucción, predominó la educación superior (44,4%) y secundaria (40,7%). Si bien se observó una tendencia a mayor conocimiento en mujeres con mayor grado de instrucción, la prueba de χ^2 no mostró una relación entre las variables ($p = 0,223$). Se concluyó que no existe una relación estadísticamente significativa entre grado de instrucción y nivel de conocimiento sobre el CC.

Palabras clave: Educación, conocimiento, cáncer, mujer, salud.

ABSTRACT

Cervical cancer (CC) represents a significant public health issue; its prevention is linked to Sustainable Development Goal 3, which aims to ensure access to information and services regarding sexual and reproductive health. This study aimed to determine the relationship between educational attainment and the level of knowledge regarding CC among women of reproductive age. The research employed an observational, analytical, cross-sectional, and relational design with a quantitative approach. The study sample consisted of 162 women of reproductive age. The results showed that the majority possessed a low-to-moderate level of knowledge regarding CC (50.6%) and its preventive measures (54.9%). Regarding educational attainment, higher education (44.4%) and secondary education (40.7%) were the most common levels. Although a trend toward greater knowledge was observed among women with higher levels of education, the chi-square (χ^2) test did not reveal a relationship between the variables ($p = 0.223$). It is concluded that there is no statistically significant relationship between educational attainment and the level of knowledge regarding CC.

Keywords: Education, knowledge, cancer, women, health.

* Autor para correspondencia

¹ Universidad César Vallejo, Perú. Email: alvaroromanquispe@gmail.com, gmarrufot@gmail.com

INTRODUCCIÓN

El cáncer de cérvix (CC) representa una de las problemáticas sanitarias más relevantes a escala global, debido a su impacto en la salud de las mujeres ya que continúa siendo una de las causas más frecuentes de morbilidad y defunciones asociadas al cáncer en esta población (OMS,2025; Bhatla et al., 2021; Cibula et al. 2018; Pimple et al.2022; Buskwofie et al.2020; Fowler et al.,2023).

El principal factor de riesgo es el virus de papiloma humano (VPH), especialmente por los genotipos de alto riesgo oncogénico, los tipos 16 y 18 destacan por su alto potencial oncogénico, ya que se asocian con cerca del 70 % de los casos de CC (Viquez et al.,2022; Muñoz et al. 2022; Viveros et al. 2023; Small et al.,2021). A pesar de que esta enfermedad puede prevenirse en gran medida mediante la inmunización contra el VPH, la realización oportuna de pruebas de tamizaje y el manejo adecuado de las lesiones precursoras, continúa generando una importante carga de enfermedad, principalmente en países de economías emergentes y en desarrollo , donde las oportunidades a los servicios de salud sigue estando condicionado por importantes inequidades y a programas de prevención (Yosel et al., 2024; Maggi et al., 2023; Domínguez, 2023).

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), Durante el año 2022, se registró 660 000 nuevos casos y 350 000 defunciones asociadas al CC en el mundo, de las cuales cerca del 94 % ocurrieron en países de ingresos bajos y medianos (Viquez et al.,2022; Yosef et al.,2024; Galdós et al., 2022). En los países de América Latina y el Caribe, esta enfermedad continúa representando un importante desafío sanitario debido a sus elevadas tasas de incidencia y mortalidad (Ferlay et al., 2020; OMS, 2025). En el Perú, el CC representa el segundo tipo de neoplasia maligna más frecuente en mujeres; asimismo, en la región La Libertad se mantiene entre las principales causas de atención oncológica femenina, afectando principalmente a mujeres en edad reproductiva (INEN,2025; IREN-NORTE, 2023, IREN-NORTE, 2024).

Aunque se han fortalecido las estrategias de prevención mediante la inmunización contra el VPH en niñas(os) a partir de los 9 años, así como las pruebas de tamizaje, como el Papanicolaou, el limitado conocimiento sobre el CC entre las mujeres en edad fértil continúa siendo una barrera para su detección temprana (Yosef et al.,2024; Maggi et al., 2023; Dominguez, 2023). Sin embargo, estudios realizados en diferentes países, entre ellos México, Etiopía, India, Polonia, Portugal, Sudáfrica y China, evidencian que una proporción importante de mujeres presenta conocimientos insuficientes acerca de la enfermedad, especialmente

respecto a los factores de riesgo, la infección por VPH, la vacunación y las pruebas de detección precoz (Dominguez,2023; Kuzminski et al.,2024; Argaw et al., 2022; Kadian et al., 2021; Eche et al., 2022; Rodrigues et al., 2024; Gao et al.,2025). De manera similar, investigaciones desarrolladas en diversas regiones del Perú han reportado niveles de conocimiento predominantemente bajos o intermedios, lo cual pone de manifiesto la importancia de fortalecer las estrategias de educación sanitaria dirigidas a la población femenina.

Entre los factores asociados al conocimiento sobre el CC, el grado de instrucción ha sido ampliamente estudiado. Investigaciones previas nacionales e internacionales han encontrado que las mujeres con mayor nivel educativo suelen presentar un mejor conocimiento sobre la enfermedad y sus medidas preventivas (Argaw et al.,2022; Gao et al.,2025; Camero, 2023; Bardalez, 2025; Pineda, 2022). Sin embargo, otros estudios han mostrado resultados diferentes, sin evidenciar una asociación consistente entre ambas variables. Estas discrepancias podrían atribuirse a diferencias en las características sociodemográficas de las poblaciones estudiadas, los instrumentos de medición utilizados y los contextos socioculturales donde se desarrollaron las investigaciones (Maggi et al., 2023; Camero, 2023; Bardalez, 2021; Pineda, 2022; Velasco, 2021; Goyzueta, 2022; Gavidia et al., 2019; Medina, 2025)

A pesar de la evidencia disponible, aún es limitada la información sobre la relación entre grado de instrucción y nivel de conocimiento. Disponer de evidencia generada a nivel local es fundamental para orientar el desarrollo de intervenciones educativas y estrategias de promoción de la salud que contribuyan a mejorar el conocimiento de la población femenina, así como fortalecer las medidas de prevención y detección oportuna de esta enfermedad.

En este contexto, la presente investigación tuvo como objetivo principal determinar la relación entre grado de instrucción y nivel de conocimiento. Para ello, se plantearon como objetivos específicos identificar el grado de instrucción de las participantes, determinar su nivel de conocimiento sobre el CC y evaluar el nivel de conocimiento relacionado con las medidas preventivas de esta enfermedad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un estudio con enfoque cuantitativo, de tipo observacional, analítico, transversal y relacional. La población estudiada estuvo constituida por mujeres en edad fértil (15-49años), residentes del distrito de La Esperanza que acudían al Hospital Distrital Jerusalén para recibir atención. Asimismo, fue indispensable que las participantes aceptaran participar de forma voluntaria en la investigación y otorgaran su consentimiento mediante la firma del consentimiento informado.

Fueron excluidas las mujeres con alteraciones cognitivas o neurológicas que dificultan la comprensión del instrumento, además de aquellas con diagnóstico previo CC.

El tamaño de muestra fue calculado mediante el programa OpenEpi para estudios transversales analíticos, utilizando como referencia las proporciones esperadas de mujeres con alto y bajo nivel de conocimiento, estimadas en 38 % y 17 %, respectivamente, reportadas por Pineda (2022). Para la estimación muestral se asumió un IC del 95 %, una potencia estadística del 80 % y una distribución equitativa de participantes entre los grupos de comparación (1:1). La estimación del tamaño de muestra, realizada mediante el método de Fleiss con corrección por continuidad, estableció la inclusión de 162 participantes, valor que fue adoptado para ofrecer una estimación más conservadora y garantizar una adecuada potencia estadística. Durante el proceso de recolección de datos, se empleó un muestreo no probabilístico por conveniencia. Las participantes fueron seleccionadas de manera consecutiva entre las mujeres que acudieron al establecimiento de salud y que cumplieron con los criterios de elegibilidad, hasta completar el tamaño muestral previamente establecido de 162 participantes.

Durante el proceso de recolección de datos, se empleó un muestreo no probabilístico por conveniencia, mediante la captación consecutiva de las mujeres que acudieron al establecimiento de salud y que cumplieron con los criterios de elegibilidad, hasta completar el tamaño muestral previamente establecido de 162 participantes.

La variable independiente del estudio fue el grado de instrucción, clasificado en las categorías sin educación, primaria, secundaria y superior. La variable dependiente del estudio fue el nivel de conocimiento sobre CC, valorado mediante un cuestionario elaborado por (Sedano et al., 2025), conformado por 15 preguntas dicotómicas relacionadas con conceptos generales, factores de riesgo y medidas preventivas de la enfermedad. Cada respuesta correcta recibió un punto y las respuestas incorrectas cero puntos. De acuerdo con la puntuación obtenida, el nivel de conocimiento se clasificó en bajo, medio y alto, con puntuación respectiva de 0-5pts, 6-10pts, 11-15pts. La validación del cuestionario se efectuó mediante la evaluación de tres especialistas en el área, asimismo, el instrumento fue sometido a una prueba piloto en un grupo de 20 mujeres, donde se obtuvo un coeficiente de Kuder-Richardson (KR-20) de 0,86.

La obtención de la información se realizó mediante de una encuesta presencial en el Hospital Distrital Jerusalén. Antes de la aplicación del instrumento, se explicó a las participantes los objetivos y alcances de la investigación; posteriormente, aquellas que aceptaron participar otorgaron su consentimiento informado mediante la firma del documento correspondiente. Las

encuestas fueron aplicadas por los investigadores, quienes permanecieron disponibles para resolver las dudas que pudieran surgir durante su desarrollo. Una vez recolectados, los datos fueron codificados y organizados en una base de datos para su procesamiento y análisis estadístico.

La información recopilada fue sistematizada en Microsoft Excel y posteriormente procesada mediante IBM SPSS Statistics versión 25 para el análisis estadístico de las variables estudiadas. Las variables cualitativas se resumieron mediante frecuencias absolutas y porcentajes. Para evaluar la asociación entre las dos variables, se empleó la prueba de chi cuadrado (χ^2) de Pearson.

La realización del estudio estuvo sujeta a la aprobación ética del Comité de Ética de la Escuela de Medicina de la UCV y a la autorización administrativa del Hospital Distrital Jerusalén. La investigación se llevó a cabo bajo los lineamientos éticos contemplados en la Declaración de Helsinki. Antes de su participación, todas las mujeres firmaron el consentimiento informado, y los datos obtenidos fueron manejados de manera anónima y confidencial, garantizando su utilización únicamente con fines de investigación.

RESULTADOS

La Tabla 1 muestra la distribución de las variables demográficas y sociales de las 162 participantes del estudio. Según el grupo etario, predominó el rango de 38 a 49 años con 60 participantes (37,0%), seguido de 15 a 26 años con 52 (32,1%) y de 27 a 37 años con 50 (30,9%). En relación con el estado civil, la mayor proporción correspondió a mujeres solteras con 67 (41,4%), seguidas de convivientes con 51 (31,5%) y casadas con 42 (25,9%); únicamente 2 participantes (1,2%) reportaron otra situación civil. En relación con el nivel educativo de las participantes, la mayor proporción correspondió a educación superior, con 72 mujeres (44,4%), seguida por educación secundaria, representada por 66 participantes (40,7%). En contraste, 22 mujeres (13,6%) alcanzaron únicamente educación básica y solo 2 (1,2%) reportaron no haber recibido educación formal. En cuanto a la ocupación, la mayor frecuencia correspondió a amas de casa con 71 participantes (43,8%), seguida de trabajadoras dependientes con 60 (37,0%) e independientes con 32 (19,8%). Con respecto a la religión, predominó la religión católica con 95 mujeres (58,6%), seguida de la cristiana con 52 (32,1%), mientras que 15 participantes (9,3%) refirieron pertenecer a otra religión.

Tabla 1
Características sociodemográficas

Variables		n	%
Edad	15-26	52	32,1%
	27-37	50	30,9%
	38-49	60	37,0%
Estado civil	Soltera	67	41,4%
	Casada	42	25,9%
	Conviviente	51	31,5%
	Otros	2	1,2%
Grado de instrucción	Sin educación	2	1,2%
	Primaria	22	13,6%
	Secundaria	66	40,7%
	Superior	72	44,4%
Ocupación	Estudiante	30	18,5%
	Ama de casa	71	43,8%
	Trabajo remunerado dependiente	29	17,9%
	Trabajo remunerado independiente	32	19,8%
Religión	Católica	95	58,6%
	Cristiana	52	32,1%
	Otros	15	9,3%

Nota: Encuesta aplicada a pacientes.

La Tabla 2 presenta la clasificación de las participantes de acuerdo con el grado de conocimiento acerca del CC. Del total de mujeres evaluadas (n=162), 82 (50,6%) presentaron un nivel de conocimiento bajo/medio, mientras que 80 (49,4%) alcanzaron un nivel de conocimiento alto.

Tabla 2
Nivel de conocimiento sobre el CCU.

Variables		n	%
Nivel de conocimiento sobre el CCU	Bajo/Medio	82	50,6%
	Alto	80	49,4%
	Total	162	100%

Nota: Encuesta aplicada a las participantes del estudio.

La Tabla 3 resume los resultados obtenidos al clasificar a las participantes según su grado de conocimiento acerca de las acciones orientadas a prevenir el CC. De las 162 mujeres incluidas en el estudio, 89 (54,9%) fueron clasificadas con un nivel de conocimiento bajo o medio, mientras que 73 (45,1%) evidenciaron un nivel de conocimiento alto.

Tabla 3*Nivel de conocimiento sobre medidas preventivas del CCU.*

Variables		n	%
Nivel de conocimiento sobre medidas preventivas del CCU	Bajo/Medio	89	54,9%
	Alto	73	45,1%
	Total	162	100%

Nota: Encuesta aplicada a las participantes del estudio

La Tabla 4 permite apreciar el comportamiento del conocimiento sobre el CCU en los distintos niveles educativos de la población evaluada. En el grupo conformado por mujeres con educación primaria o sin estudios (n=24), 14 (58,3%) fueron clasificadas con un nivel de conocimiento bajo/medio, mientras que 10 (41,7%) alcanzaron un nivel alto. Entre aquellas con educación secundaria (n=66), 37 (56,1%) presentaron un nivel de conocimiento bajo/medio y 29 (43,9%) un nivel alto. En contraste, en el grupo de participantes que contaba con estudios superiores (n = 72), más de la mitad obtuvo una clasificación de conocimiento alto (41; 56,9%), mientras que las demás (31; 43,1%) se ubicaron en la categoría de conocimiento bajo/medio.

La asociación entre el grado de instrucción y nivel de conocimiento sobre el cáncer de cérvix (CC). fue analizada mediante la prueba de χ^2 . El análisis arrojó un estadístico de $\chi^2 = 3,001$ y un valor de $p = 0,223$, lo que indica que las diferencias observadas no alcanzaron significancia estadística. En consecuencia, los resultados no respaldan la existencia de una asociación entre ambas variables en las participantes del estudio.

Tabla 4*Relación entre la variable independiente y dependiente*

Relación entre la variable independiente y dependiente		Nivel de conocimiento				Chi cuadrado/ p-valor
		Bajo/Medio		Alto		
		n	%	n	%	
Grado de instrucción	Sin educación/Primaria	14	58,3%	10	41,7%	3,001/ 0,223
	Secundaria	37	56,1%	29	43,9%	
	Superior	31	43,1%	41	56,9%	

Nota: Encuesta aplicada a pacientes.

DISCUSIÓN

La investigación tuvo como propósito determinar si existía una relación entre la variable independiente y dependiente en mujeres pertenecientes al grupo de edad reproductiva de la ciudad de Trujillo. Los resultados mostraron una tendencia a un mayor conocimiento a medida que aumentaba el nivel educativo; sin embargo, dicha tendencia no alcanzó significancia estadística. El análisis mediante la prueba de χ^2 no demostró una asociación significativa entre

ambas variables ($\chi^2=3,001$; $p=0,223$). Estos resultados son consistentes con los descritos por Medina (2025), quien igualmente reportó la ausencia de una asociación estadísticamente significativa entre ambas variables estudiadas en pacientes atendidas en un hospital de Lima ($p=0,252$). Una posible explicación de este hallazgo es que, tanto en el estudio de Medina como en la presente investigación, la mayoría de las participantes contaba con educación secundaria o superior. Esta distribución relativamente homogénea del nivel educativo pudo disminuir la variabilidad entre los grupos, dificultando la detección de diferencias estadísticamente significativas en el nivel de conocimiento evaluado.

En contraste, investigaciones previas realizadas por Camero (2023), Bardález (2025) y Pineda (2022) se encontró evidencia estadística que respaldó la relación entre las dos variables, concluyendo que las mujeres con mayor escolaridad presentaban un mejor conocimiento acerca de la enfermedad y sus medidas preventivas. Esta discrepancia podría atribuirse a diferencias metodológicas entre las investigaciones, particularmente en la composición de la muestra, la heterogeneidad del nivel educativo de las participantes y los instrumentos empleados para evaluar el conocimiento. Asimismo, las características de la población incluida en el presente estudio, conformada mayoritariamente por mujeres con educación secundaria y superior, probablemente redujeron la variabilidad entre los grupos de comparación, limitando la detección de una asociación estadísticamente significativa.

En cuanto al perfil educativo de la población estudiada, predominó la educación superior, seguida de la educación secundaria, mientras que las participantes con educación primaria o sin estudios representan una menor proporción. Esta distribución es similar a la descrita por Medina (2025), quien también reportó un predominio de mujeres con estudios superiores. Por el contrario, Domínguez (2023) encontró una mayor frecuencia de mujeres con educación básica en una población mexicana, diferencia que probablemente responde a las características sociodemográficas y educativas de ambos contextos. La mayor proporción de mujeres con educación superior observada en Trujillo podría reflejar las mayores oportunidades de acceso a la educación presentes en un entorno urbano, en comparación con poblaciones procedentes de zonas con menor cobertura educativa.

Al evaluar el conocimiento acerca del CC, se evidenció que la mayor cantidad de las mujeres evaluadas se ubicó en las categorías de conocimiento bajo o medio, mientras que una proporción ligeramente menor alcanzó un nivel alto. Estos resultados coinciden con los reportados por Domínguez (2023), quien también encontró un predominio de conocimientos

insuficientes sobre esta neoplasia. Del mismo modo, Rodrigues et al. (2024), en Portugal, y Kuzminski et al. (2024), en Polonia, documentaron que el conocimiento sobre los factores de riesgo, síntomas y medidas de prevención continúa siendo limitado en diferentes poblaciones femeninas, pese al acceso a servicios de salud. En el ámbito nacional, Gavidia et al. (2021) y Goyzueta (2022) describieron una tendencia similar, caracterizada por el predominio de niveles de conocimiento bajo o medio. La información analizada permite inferir que el nivel de conocimiento sobre el CC todavía representa una limitación compartida por diversas poblaciones, independientemente del país de estudio, lo que resalta la conveniencia de impulsar intervenciones educativas permanentes que promuevan la prevención y el diagnóstico en etapas iniciales.

De manera similar, el conocimiento sobre las medidas preventivas del CCU fue predominantemente bajo o medio. Este hallazgo es consistente con lo informado por Maggi et al. (2023), quienes observaron que la mayoría de mujeres atendidas en un centro oncológico presentó un conocimiento intermedio acerca de las medidas preventivas. Asimismo, Gavidia et al. (2021) encontraron que la mayoría de las usuarias de consulta externa de un hospital peruano presentó un nivel de conocimiento medio. La persistencia de estos hallazgos en diferentes escenarios sugiere que la disponibilidad de programas de tamizaje, vacunación e información sanitaria no garantiza, por sí sola, una adecuada comprensión de la enfermedad. En consecuencia, resulta necesario fortalecer las intervenciones educativas mediante estrategias continuas, accesibles y adaptadas a las características socioculturales de la población femenina.

Entre las fortalezas del presente estudio destaca que aporta evidencia reciente sobre una población de la región La Libertad, donde existen escasas investigaciones que evalúen la relación entre ambas variables del estudio. Asimismo, se empleó un instrumento estructurado que permitió evaluar tanto los conocimientos generales como las medidas preventivas de esta enfermedad. No obstante, deben considerarse algunas limitaciones. El predominio de participantes con educación secundaria y superior pudo disminuir la variabilidad del nivel educativo y afectar la capacidad para identificar asociaciones estadísticamente significativas entre las variables estudiadas. Además, debido al diseño transversal, los resultados permiten establecer asociaciones, pero no relaciones causales. Como limitación adicional, en este estudio no se consideraron algunos factores que podrían influir en el nivel de conocimiento, tales como la oferta de servicios de salud y la participación en actividades de educación sanitaria, los antecedentes de tamizaje y la vacunación contra el VPH. La inclusión de estas variables en

futuras investigaciones permitiría comprender de manera más integral los factores asociados al conocimiento sobre el CCU.

En conjunto, los hallazgos de esta investigación indican que, aunque se observó una tendencia a presentar mejores niveles de conocimiento sobre el CCU entre las mujeres con mayor nivel educativo, dicha diferencia no fue estadísticamente significativa en la población estudiada. Considerando los hallazgos del presente estudio, resulta necesario ampliar el alcance de las acciones de promoción y educación en salud para que todas las mujeres en edad reproductiva, con independencia de su formación académica, dispongan de información científica que facilite el reconocimiento de los factores de riesgo, incentive las prácticas preventivas y fomente el diagnóstico en fases iniciales del CC.

CONCLUSIONES

En conclusión, no existe una relación estadísticamente significativa entre grado de instrucción y nivel de conocimiento sobre el CC.

En relación con el grado de instrucción, se observó que la mayor proporción de mujeres presentó educación superior y secundaria, con los calores de 44,4% y 40,7% respectivamente; por otro lado, una menor frecuencia correspondió a mujeres con nivel educativo primario (13,6 %) y aquellas sin instrucción formal (1,2 %).

En cuanto al conocimiento sobre el CC, los resultados mostraron una distribución similar entre ambas categorías analizadas. El 50,6 % de las participantes fue clasificada con un conocimiento bajo o medio, mientras que el 49,4 % alcanzó un conocimiento alto, lo que refleja una diferencia mínima entre ambos grupos.

Con relación al conocimiento de las medidas preventivas frente al cáncer de cérvix, la mayor proporción de las participantes se concentró en las categorías de conocimiento bajo e intermedio (54,9 %), en tanto que el 45,1 % evidenció un conocimiento alto.

Estos resultados ponen de relieve la conveniencia de ampliar las actividades de promoción y educación en salud dirigidas a mujeres en etapa reproductiva, priorizando la difusión de información sobre la inmunización contra el VPH y la importancia del tamizaje como estrategia para favorecer la detección en fases tempranas de la enfermedad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Argaw, M., Mengistu, B., Gebremichael, B., & colaboradores. (2022). Knowledge and practice of cervical cancer prevention and associated factors among women commercial sex workers in Shashemene Town, West Arsi, Oromia Region, Ethiopia: A

- health institution-based cross-sectional study. *BMC Women's Health*, 22, 233.
<https://doi.org/10.1186/s12905-022-01796-z>
- Bardalez, A. (2025). Nivel de conocimiento sobre el cáncer de cuello uterino en la población peruana: Análisis de la Encuesta Demográfica y de Salud Familiar, 2021 [Tesis de pregrado, Universidad Continental]. Repositorio Institucional Universidad Continental.
<https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/16653>
- Bardalez, A. (2025). Nivel de conocimiento sobre el cáncer de cuello uterino en la población peruana: Análisis de la Encuesta Demográfica y de Salud Familiar, 2021 [Tesis de pregrado, Universidad Continental]. Repositorio Institucional Universidad Continental.
<https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/16653>
- Bhatla, N., Aoki, D., Sharma, D. N., & Sankaranarayanan, R. (2021). Cancer of the cervix uteri: 2021 update. *International Journal of Gynecology & Obstetrics*, 155(1), 28–44.
<https://doi.org/10.1002/ijgo.13865>
- Buskwofie, A., David-West, G., & Clare, C. A. (2020). A review of cervical cancer: Incidence and disparities. *Journal of the National Medical Association*, 112(2), 229–232.
<https://doi.org/10.1016/j.jnma.2020.03.002>
- Camero, S. P. (2023). Factores relacionados al nivel de conocimiento sobre cáncer de cuello uterino en mujeres en edad fértil, Comas 2021 [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio Institucional UPN.
<https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/9280497>
- Cibula, D., Pötter, R., Planchamp, F., Avall-Lundqvist, E., et al (2018). The European Society of Gynaecological Oncology/European Society for Radiotherapy and Oncology/European Society of Pathology guidelines for the management of patients with cervical cancer. *International Journal of Gynecological Cancer*, 28(4), 641–655.
<https://doi.org/10.1097/IGC.0000000000001216>
- Domínguez, A. (2023). Nivel de conocimiento sobre el cáncer cervicouterino en mujeres de 25 a 64 años de la Unidad de Medicina Familiar, San Luis Potosí 2023 [Tesis de

- especialidad, Universidad Autónoma de San Luis Potosí]. Repositorio Institucional UASLP. <https://repositorioinstitucional.uaslp.mx/xmlui/handle/i/8163>
- Eche, M., & Vermaak, K. (2022). Knowledge, attitude and practice of female university students regarding human papillomavirus and self-sampling in KwaZulu-Natal, South Africa: A cross-sectional survey. *BMC Women's Health*, 22(1), 58. <https://doi.org/10.1186/s12905-022-01635-1>
- Ferlay J, Ervik M, Lam F, Colombet M, Mery L, Piñeros M, et al. Global cancer observatory: cancer today. Lyon Int Agency Res Cancer [Internet]. 2020 [citado el 26 de febrero de 2025]. Disponible en: <https://gco.iarc.who.int/media/globocan/factsheets/populations/900-world-fact-sheet.pdf>.
- Fowler, J. R., Maani, E. V., Dunton, C. J., & Jack, B. W. (2023). Cervical cancer. StatPearls Publishing. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK431093/>
- Galdós, O., & Romero, J. (2024). Avances en la prevención y manejo del cáncer cervical. *Revista Peruana de Ginecología y Obstetricia*, 70(4). <http://51.222.106.123/index.php/RPGO/article/view/2701>
- Gao, D., Wang, X., Juan, J., Pei, Z., & Zhang, X. (2025). Association between knowledge of cervical cancer prevention and screening behaviors among women aged 20 to 49 years: A cross-sectional study in six provinces, China. *BMC Public Health*, 25, 1821. <https://doi.org/10.1186/s12889-025-1821-0>
- Gavidia, R., Zavaleta, A., Martínez, G., & colaboradores. (2021). Conocimientos y prácticas sobre prevención del cáncer del cuello uterino en usuarias de consulta externa del Hospital Carlos Lanfranco La Hoz, Lima, 2019. *Revista Investigación Multidisciplinaria CTSCAFE*, 5(15), 20. <https://ctscafe.pe/index.php/ctscafe/article/view/164>
- Goyzueta, E. (2022). Factores asociados al conocimiento sobre cáncer de cuello uterino en las madres de la Institución Educativa N.º 70561, Juliaca, 2022 [Tesis de pregrado,

- Universidad Continental]. Repositorio Institucional Universidad Continental.
<https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/12712>
- Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas. (2025). Detectar el cáncer de cuello uterino en fase temprana puede salvar vidas.
<https://www.gob.pe/institucion/inen/noticias/999234-inen-detectar-el-cancer-de-cuello-uterino-en-fase-temprana-puede-salvar-vidas>
- Instituto Regional de Enfermedades Neoplásicas Norte. (2023). Informe del Registro Hospitalario de Cáncer IREN Norte 2006–2022.
<https://www.irennorte.gob.pe/pdf/epidemiologia/INFORME-RHC-IREN-NORTE-2006-2022.pdf>
- Instituto Regional de Enfermedades Neoplásicas Norte. (2024). Informe del Registro Hospitalario de Cáncer IREN Norte 2019–2023.
<https://www.irennorte.gob.pe/pdf/epidemiologia/INFORME-RHC-IREN-NORTE-2019-2023.pdf>
- Instituto Regional de Enfermedades Neoplásicas Norte. (2024). Informe del Registro Hospitalario de Cáncer IREN Norte 2020–2024.
<https://www.irennorte.gob.pe/pdf/epidemiologia/INFORME-RHC-IREN-NORTE-2020-2024.pdf>
- Kadian, L., Gulshan, G., Sharma, S., & colaboradores. (2021). A study on knowledge and awareness of cervical cancer among females of rural and urban areas of Haryana, North India. *Journal of Cancer Education*, 36(4), 844–849.
<https://doi.org/10.1007/s13187-020-01715-5>
- Kuzminski, C., Podczerwińska, A., & colaboradores. (2024). Assessment of the level of knowledge on cervical cancer prevention among women visiting a private gynecological practice in Krakow: A pilot study. *Przegląd Menopauzalny (Menopause Review)*, 23(3), 273–286. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39660710/>

- Maggi, B., Tumbaco, V., & colaboradores. (2023). Nivel de conocimiento sobre el cáncer cervicouterino en usuarias del Centro Oncológico Santa Elena. *Revista Investigación Talent*, 10(1), 68–79. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9155402>
- Medina, K. (2025). Conocimiento sobre cáncer de cuello uterino en mujeres de edad fértil del Hospital Militar Central, Lima, 2023 [Tesis de pregrado, Universidad Continental]. Repositorio Institucional Universidad Continental. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/17544>
- Muñoz, J. P., Carrillo, A., & Lizano, M. (2022). Epidemiology and molecular biology of HPV variants in cervical cancer: The state of the art in Mexico. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(15), 8566. <https://doi.org/10.3390/ijms23158566>
- Organización Mundial de la Salud. (2025). Cáncer de cuello uterino. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/cervical-cancer>
- Organización Panamericana de la Salud. (s.f.). Cáncer cervicouterino. <https://www.paho.org/es/temas/cancer-cervicouterino>
- Pimple, S., & Mishra, G. (2022). Cancer cervix: Epidemiology and disease burden. *CytoJournal*, 19, 21. https://doi.org/10.25259/CMAS_03_02_2022
- Pineda, K. (2022). Factores asociados al nivel de conocimiento sobre cáncer de cuello uterino en mujeres mayores de 18 años que acuden al Centro de Salud Ganimedes en el periodo octubre-noviembre 2021 [Tesis de pregrado, Universidad Ricardo Palma]. Repositorio Institucional Universidad Ricardo Palma. <https://repositorio.urp.edu.pe/entities/publication/de2b146b-90a2-4a48-8c2d-5bf07b6b36b0>
- Pineda, K. (2022). Factores asociados al nivel de conocimiento sobre cáncer de cuello uterino en mujeres mayores de 18 años que acuden al Centro de Salud Ganimedes en el periodo octubre–noviembre 2021 [Tesis de pregrado, Universidad Ricardo Palma]. Repositorio Institucional Universidad Ricardo Palma. <https://repositorio.urp.edu.pe/entities/publication/de2b146b-90a2-4a48-8c2d-5bf07b6b36b0>

- Rodrigues, I., Duarte, I., Costa, C., & colaboradores. (2024). Knowledge about cervical cancer in young Portuguese women: A cross-sectional study. *Frontiers in Public Health*, 12, 1357606. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2024.1357606>
- Sedano, J. (2025). Nivel de conocimiento sobre cáncer de cuello uterino en mujeres en edad fértil del Hospital Hipólito Unanue, Lima, 2024 [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Federico Villarreal]. Repositorio Institucional UNFV. <https://repositorio.unfv.edu.pe/handle/20.500.13084/10226>
- Small, W., Peltecu, G., Bristow, R. E., & cols. (2021). Cervical cancer in Eastern Europe: Review and proceedings from the cervical cancer research network conference. *International Journal of Gynecological Cancer*, 31(7), 1061–1067. <https://doi.org/10.1136/ijgc-2021-002673>
- Velasco, D. (2021). Conocimiento sobre cáncer de cuello uterino y prácticas de autocuidado para su prevención en mujeres del Centro de Salud Panchia, 2021 [Tesis de segunda especialidad, Universidad Privada Antenor Orrego]. Repositorio ALICIA. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UPAO_45c3bb9610580d47f51b3c24bad21c54
- Viquez, K., Araya, R., & Hidalgo, M. (2022). Cáncer de cérvix: Generalidades. *Revista Médica Sinergia*, 7(9), e898. <https://revistamedicasinergia.com/index.php/rms/article/view/898>
- Viveros-Carreño, D. A., Fernandes, A., & Pareja, R. (2023). Updates on cervical cancer prevention. *International Journal of Gynecological Cancer*, 33(3), 394–402. <https://doi.org/10.1136/ijgc-2022-004526>
- Yosef, T., Birhanu, B., Shifera, N., Bekele, B. B., & Asefa, A. (2024). Determinants of cervical cancer screening uptake among reproductive-age women in southwest Ethiopia: A case-control study. *Frontiers in Oncology*, 14, 1424810. <https://doi.org/10.3389/fonc.2024.1424810>

ARTÍCULO ORIGINAL

Resistencia del concreto reemplazando parcialmente el cemento por residuos de conchas de abanico

Concrete strength by partially replacing cement with scallop shell waste

Atilio López¹ , Edgar Sparrow²  y María Díaz³ 

RESUMEN

El aprovechamiento de residuos de origen marino constituye una alternativa sostenible para impulsar una mejora de los insumos usados en la construcción y por ende reducir significativamente el consumo de cemento para la producción de concreto. Bajo este enfoque, el estudio tuvo como objetivo determinar el desempeño del concreto al incorporar residuos de conchas de abanico en 16.00%, 18.00% y 20.00%, sustituyendo parcialmente el cemento, a partir de un diseño convencional de 210 Kg/cm². La metodología fue aplicada, bajo un análisis experimental, ya que se desarrollaron 108 especímenes cilíndricos y 36 muestras prismáticas, que permitieron estudiar sus propiedades físico-mecánicas. Las muestras fueron curadas con agua potable y que al igual que el proceso de rotura, se realizó a los 28 días. Así mismo, fue necesario triturar, moler y pulverizar las conchas de abanico hasta lograr una composición granulométrica similar a la del cemento, lo que permitió incorporar adecuadamente los residuos finales a la mezcla del concreto. Los resultados indican una ligera variación en la trabajabilidad del concreto, sin embargo, ninguno de los porcentajes evaluados produjo incrementos significativos en las propiedades mecánicas respecto al concreto estándar. No obstante, el reemplazo del 16.00% permitió alcanzar a los 28 días, los rangos de 217.67 Kg/cm², 47.25 Kg/cm², 15.37 Kg/cm² y 19.47 GPa, correspondiente a la resistencia a la compresión, flexión, tracción y módulo de elasticidad, respectivamente. Finalmente, se concluye que esta proporción establece una alternativa adecuada para valorizar los residuos de conchas de abanico y reducir parcialmente el empleo de cemento para elaborar concretos no estructurales, en coherencia al Objetivo de Desarrollo Sostenible 12, vinculado a la producción y el consumo responsable.

Palabras clave: Cemento, conchas de abanico, concreto, trabajabilidad

ABSTRACT

The use of marine waste is a sustainable alternative for improving the materials used in construction and consequently, significantly reducing cement consumption in concrete production. Following this approach, the study aimed to determine the performance of concrete incorporating scallop shell waste at 16.00%, 18.00%, and 20.00%, partially replacing the cement, based on a conventional mix design of 210 Kg/cm². The methodology was applied through experimental analysis, developing 108 cylindrical specimens and 36 prismatic samples to study their physical and mechanical properties. The samples were cured with potable water, and the breaking test was performed after 28 days. The scallop shells were crushed, ground, and pulverized to achieve a particle size distribution similar to that of cement, allowing for the proper incorporation of the final waste into the concrete mix. The results indicate a slight variation in the workability of the concrete, however, none of the evaluated percentages produced significant increases in mechanical properties compared to standard concrete. Nevertheless, the 16.00% replacement allowed the concrete to reach the following values at 28 days, 217.67 Kg/cm², 47.25 Kg/cm², 15.37 Kg/cm², and 19.47 GPa, corresponding to compressive strength, flexural strength, tensile strength, and modulus of elasticity, respectively. Finally, it is concluded that this proportion establishes a suitable alternative for valorizing scallop shell waste and partially reducing cement use in non-structural concrete, in accordance with Sustainable Development Goal 12, related to responsible production and consumption.

Keywords: Cement, scallop shell, concrete, workability

* Autor para correspondencia

¹ Universidad Nacional del Santa, Perú. Email: rlopez@uns.edu.pe, esparrow@uns.edu.pe, mdiaz@uns.edu.pe

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, la producción de concreto constituye una actividad trascendental para el desarrollo de la infraestructura, aunque el proceso de fabricación implica un considerable consumo de recursos y materias prima (Arcila et al., 2025; Chaname et al., 2024); siendo en particular el cemento Portland, el que representa una de las principales fuentes de emisiones nocivas al medio ambiente y que está asociada al sector de la construcción (Cabanillas et al., 2024; Roña et al., 2026). Esta situación ha favorecido a que en la actualidad se busquen materiales alternativos capaces de disminuir parcialmente el consumo de cemento, pero sin afectar directamente el comportamiento físico-mecánico del concreto (García et al., 2023). Bajo esta perspectiva, la incorporación de residuos industriales, agrícolas y marinos constituyen una estrategia de valorización que puede contribuir simultáneamente al aprovechamiento de estos materiales y a la generación de soluciones constructivas con menor impacto ambiental (Hamada et al., 2025).

Entre los principales residuos de origen marino sobresalen las conchas provenientes de actividades pesqueras y acuícolas (Kluger et al., 2022); siendo en el caso peruano, las conchas de abanico (*Argopecten purpuratus*) que representan un residuo de gran interés debido a su disponibilidad en zonas donde se desarrolla su procesamiento y distribución (Córdova-Rodríguez et al., 2022); además, debido a su composición predominantemente calcárea, asociada principalmente al carbonato de calcio, les proporciona características similares a materiales de naturaleza mineral empleados en la industria cementicia (Castañeda et al., 2025; Del Rosario et al., 2022); en consecuencia, después de procesos como limpieza, secado, trituración, molienda y calcinación, estos residuos pueden ser transformados en partículas con potencial para incorporarse a mezclas de concreto (Guessoum et al., 2025; Villarrial & Córdova, 2021).

En ese sentido, la literatura internacional ha demostrado que las conchas marinas pueden emplearse como sustitutos parciales del cemento (Shahidan et al., 2024; Zhu et al., 2024); sin embargo, su comportamiento depende en gran medida del tipo de concha, procesamiento, granulometría y porcentaje de incorporación (Alassaad et al., 2026). Un estudio reciente sobre este tipo de residuos reporta que los reemplazos empleados como material cementante se encuentran generalmente en niveles bajos y moderados, con especial interés en intervalos aproximados de 5.00% a 10.00% (Lakhiar et al., 2026; Levano et al., 2026). Por otro lado, se han establecido mediante análisis experimentales con residuos de conchas de abanico (RCA), que al sustituir hasta 5.00% en peso del cemento, se alcanzan ligeros cambios en determinadas

propiedades, principalmente las asociadas al estado fresco del concreto (Calderón et al., 2026); mientras que en otras investigaciones se han usado rangos entre el 4.00% al 12.00%, identificándose a un 8.00% y 12.00% como las proporciones más favorables para la resistencia a la compresión y flexión, respectivamente (Melendez et al., 2025).

Por el contrario, investigaciones desarrolladas específicamente con *Argopecten purpuratus* han explorado su incorporación en el concreto, evidenciando que el tratamiento y el nivel de sustitución son variables determinantes para conservar un desempeño mecánico adecuado, no obstante, los resultados disponibles no permiten establecer un comportamiento uniforme (Levano et al., 2026); es decir, la sustitución de cemento por residuos calcáreos puede modificar la demanda de agua, asentamiento, contenido de vacíos, densidad y estructura interna de la mezcla del concreto (Calderón et al., 2026); mientras que en el estado endurecido puede ocasionar variaciones en la resistencia mecánica dependiendo de la proporción incorporada y de las características del RCA (El Mendili & Benzaama, 2022). También, la evidencia internacional señala, que niveles moderados de sustitución parcial de cemento por RCA, pueden presentar resultados satisfactorios, mientras que porcentajes elevados pueden incrementar la porosidad o disminuir el desarrollo mecánico a largo plazo (Zhu et al., 2024).

En este contexto, la valorización de los residuos de *Argopecten purpuratus* adquiere gran importancia no sólo por su potencial de utilidad en el sector construcción, sino también por la posibilidad de reducir la cantidad de residuos destinados a disposición final. Su utilización como sustituto parcial del cemento puede vincularse con los principios basados en la economía circular, es decir, al transformar un material considerado desecho luego en un insumo potencial para la elaboración de nuevos productos, sin embargo, la viabilidad de esta alternativa debe sustentarse mediante resultados experimentales que permitan identificar el nivel de reemplazo que mantenga un comportamiento compatible con el concreto convencional.

En función de lo expuesto anteriormente, este estudio tuvo como objetivo determinar el desempeño del concreto al incorporar RCA en 16.00%, 18.00% y 20.00%, sustituyendo parcialmente el cemento, a partir de un diseño convencional de 210 Kg/cm². La evaluación experimental permitirá establecer la proporción de reemplazo que presente el desempeño físico-mecánico más favorable y con ello establecer la factibilidad de usar este residuo marino en la elaboración de concreto, pues con esta investigación se busca promover la valorización de los residuos derivados del procesamiento de conchas de abanico y disminuir parcialmente el requerimiento de cemento, planteando una alternativa de aprovechamiento que favorezca tanto

la gestión responsable de estos residuos como la búsqueda de materiales de construcción con un enfoque más sostenible.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio fue del tipo aplicado y se desarrolló bajo un diseño experimental, con el propósito de determinar el desempeño del concreto al incorporar RCA en rangos de 16.00%, 18.00% y 20.00%, sustituyendo parcialmente el cemento. Así mismo, la Figura 1, resumen los procedimientos de investigación que se han desarrollado en el contexto del presente estudio.

Figura 1
Diagrama los procedimientos desarrollados en esta investigación



De acuerdo con el procedimiento representado en la Figura 1, la investigación se inició con la revisión de literatura científica, normativa técnica y antecedentes relacionados con la incorporación de RCA en materiales cementicios y también del RCA como reemplazante parcial del cemento.

Posteriormente, se seleccionaron los materiales empleados en la elaboración del concreto: cemento Portland Tipo I, agregado grueso proveniente de la cantera La Sorpresa, Chimbote, Perú, agregado fino derivado de la cantera Medina, Chimbote, Perú, agua potable de Chimbote, Perú y los RCA extraído de las playas de Chimbote, Perú. Además, fue necesario triturar, moler y pulverizar las conchas de abanico hasta lograr una composición granulométrica similar a la del cemento, lo que permitió incorporar adecuadamente los RCA a la mezcla del concreto. Previamente a su utilización, los componentes fueron sometidos a la caracterización correspondiente, considerando en todo momento, las especificaciones establecidas en las normas técnicas de Perú y también internacionales aplicables a este estudio.

El diseño de las mezclas del concreto se desarrolló a partir del procedimiento establecido por el ACI 211.1, tomando en cuenta un concreto de resistencia de diseño de 210 Kg/cm². Se definieron cuatro tratamientos experimentales según la proporción de RCA utilizada como sustituto parcial del cemento, expresada respecto a su peso. La mezcla DCM-1 correspondió al concreto patrón, con 0.00% de RCA, mientras que DCM-2, DCM-3 y DCM-4 incorporaron 16.00%, 18.00% y 20.00%, respectivamente. Una vez dosificados los componentes, se realizó el mezclado hasta alcanzar una distribución uniforme de los materiales. En estado fresco se determinaron el asentamiento (AS), peso unitario (PU), contenido de aire (CA) y temperatura del concreto (TEMP).

Para la etapa experimental se elaboraron 108 muestras cilíndricas y 36 especímenes prismáticos, destinados a la evaluación de las propiedades físico-mecánicas. Los especímenes fueron moldeados, compactados y posteriormente sometidos a un proceso de curado hasta alcanzar las edades establecidas para cada ensayo, considerando como edad máxima 28 días. En el concreto endurecido se determinaron la resistencia a la compresión (CS), resistencia a la flexión (FE), resistencia a la tracción (TS) y módulo de elasticidad (MDE), con el propósito de comparar el comportamiento de las mezclas modificadas frente al concreto convencional. Así mismo, la Figura 2, muestra los tipos de fallas características en el concreto, donde se puede destacar la adecuada incrustación de los RCA en el concreto.

Finalmente, los valores obtenidos fueron organizados y analizados mediante estadística descriptiva e inferencial, empleando para tal fin el análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de comparaciones múltiples de Tukey, considerando un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$, para establecer la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes tratamientos y por ende determinar las proporciones de RCA de óptimo comportamiento respecto al concreto estándar. Cabe agregar que se hizo una verificación complementaria sobre

los valores de las diferentes propiedades mecánicas del concreto y ajustaron a una distribución normal con la prueba de Kolmogorov-Smirnov.

Figura 2

Modos de falla de los especímenes del concreto con RCA



RESULTADOS

Los hallazgos correspondientes al presente estudio se detallan en la Tabla 1, los cuales estuvieron relacionados a las propiedades físico-mecánicas del concreto, tanto de la resistencia estándar como de los diferentes especímenes de RCA como reemplazante parcial del cemento.

Tabla 1

Resultados de las principales propiedades del concreto para cada espécimen

Propiedad	Nomenclatura	Unidad	Especimen			
			DCM-1	DCM-2	DCM-3	DCM-4
Físicas	PU	Kg/m ³	2351.00	2343.00	2339.00	2321.00
	AS	cm	9.73	9.24	9.02	8.45
	CA	%	2.15	2.33	2.41	2.56
	TEMP	°C	28.70	30.10	30.50	30.80
Mecánicas	CS	Kg/cm ²	249.47	217.67	173.69	154.39
	FE	Kg/cm ²	51.28	47.25	40.55	38.60
	TS	Kg/cm ²	18.70	15.37	13.78	10.90
	MDE	GPa	21.17	19.47	17.57	16.23

Las propiedades físicas (Tabla 1), mostraron una variación progresiva conforme aumentó el reemplazo de cemento por RCA. El PU disminuyó de 2351.00 Kg/m³ en DCM-1 a

2321.00 Kg/m³ en DCM-4, es decir descendió en 1.28%. En el caso del AS, varió de 9.73 cm a 8.45 cm, es decir hubo una reducción de 13.16%, en consecuencia, se infiere una regular reducción de la trabajabilidad. Contrariamente, el CA aumentó de 2.15% a 2.56%, representando un incremento de 19.07% y la TEMP también varió de 28.70°C a 30.80°C, equivalente a un aumento de 7.32%. En general, estos resultados muestran que la sustitución de cemento por RCA alteró las características del concreto en su etapa fresca, especialmente su consistencia y contenido de aire, aunque las variaciones en global fueron graduales.

Por otro lado, en la Tabla 1, se muestran los hallazgos del comportamiento mecánico del concreto, el cual de manera general presentó una disminución conforme se incrementó el porcentaje de RCA, ya que la CS pasó de 249.47 Kg/cm² (muestra DCM-1) a 217.67 Kg/cm² (muestra DCM-2), lo que implicó una reducción de 12.75%. En el caso de la FE, varió de 51.28 Kg/cm² (tratamiento DCM-1) a 47.25 Kg/cm² (tratamiento DCM-2), siendo una disminución de 7.86%. La TS cambió de 18.70 Kg/cm² (espécimen DCM-1) a 15.37 Kg/cm² (espécimen DCM-2), reduciéndose en 17.81% y el módulo de elasticidad, bajó de 21.17 GPa (muestra DCM-1) a 19.47 GPa (muestra DCM-2), es decir se redujo en 8.03%. En relación a estos resultados, estos cambios podrían atribuirse a la menor capacidad cementante del RCA frente al cemento Portland y a una posible alteración de la matriz cementicia, generando una estructura menos compacta y resistente. Por lo expuesto, el reemplazo de RCA no incrementó las propiedades mecánicas, sin embargo, DCM-2 mantuvo el desempeño más cercano al concreto patrón y superó la resistencia mínima requerida del diseño de 210 Kg/cm².

Análisis estadístico del desempeño mecánico

Se realizó un análisis estadístico que permitió comparar las propiedades mecánicas de los diferentes tratamientos a partir de las diferencias significativas, siendo necesario la aplicación del ANOVA y prueba de medias de Tukey, cuyos resultados se muestran en la Tabla 2, Figura 3 y Figura 4. Así mismo y con estos hallazgos, se confirma estadísticamente que existen diferencias significativas entre los diversos tratamientos, debido a que todos los valores de “p” fueron inferiores a 0.05, por consiguiente se rechaza la hipótesis de igualdad de medias y se confirma que el porcentaje de RCA influye significativamente y de manera negativa sobre el comportamiento mecánico, lo que repercutió finalmente en una disminución gradual de cada resistencia, de modo que no es recomendable aumentar el porcentaje de reemplazo de RCA por cemento en valores superiores al 16.00%.

Tabla 2*Resultados a nivel estadístico de los parámetros mecánicos del concreto*

Ítem	Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad (p-valor)	Valor crítico para F
CS	Entre grupos	16578.86	3.00	5526.29	115.66	6.29E-07	4.07
	Dentro de los grupos	382.24	8.00	47.78			
	Total	16961.10	11.00				
FE	Entre grupos	312.01	3.00	104.00	69.25	4.58E-06	4.07
	Dentro de los grupos	12.01	8.00	1.50			
	Total	324.02	11.00				
TS	Entre grupos	95.19	3.00	31.73	169.11	1.42E-07	4.07
	Dentro de los grupos	1.50	8.00	0.19			
	Total	96.69	11.00				
MDE	Entre grupos	42.11	3.00	14.04	242.33	3.49E-08	4.07
	Dentro de los grupos	0.46	8.00	0.06			
	Total	42.57	11.00				

Figura 3

Rangos de resistencia a la compresión: (a) Valores y (b) Esquema de cajas; resistencia a la flexión: (c) Valores y (d) Esquema de cajas

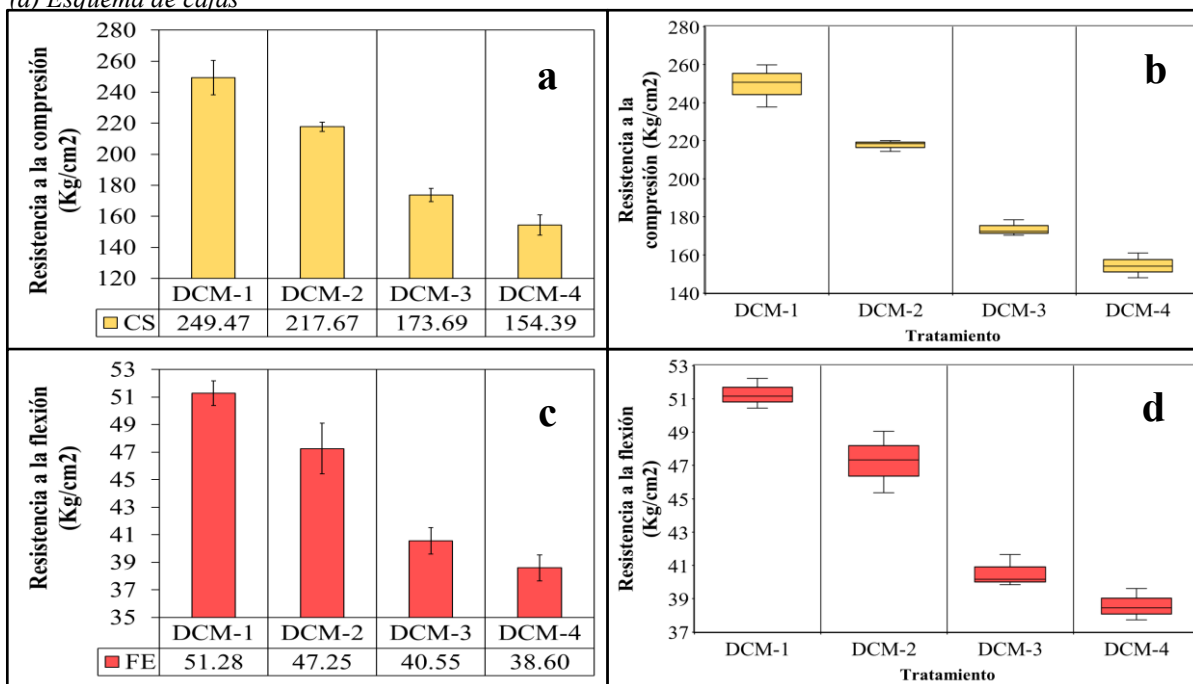
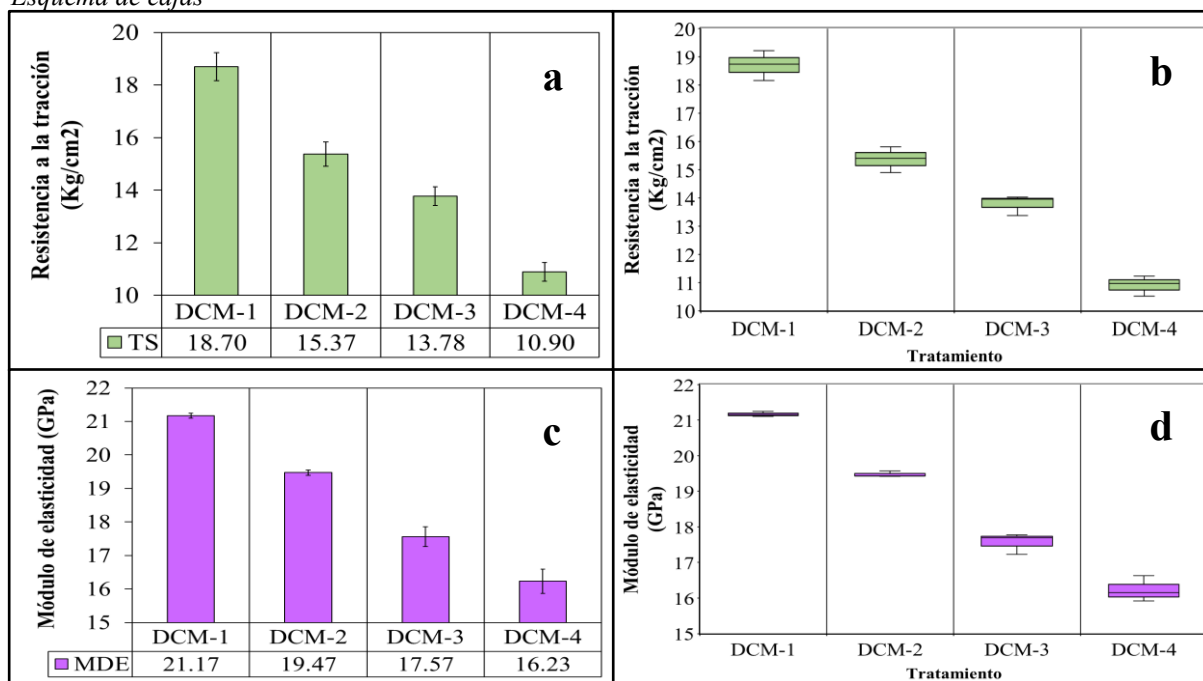


Figura 4

Rangos de resistencia a la tracción: (a) Valores y (b) Esquema de cajas y módulo de elasticidad: (c) Valores y (d) Esquema de cajas



DISCUSIÓN

En cuanto a las propiedades físicas, se mostró que la incorporación de RCA modificó progresivamente las características del concreto fresco, comportamiento que coincide parcialmente con lo informado en investigaciones precedentes, siendo el caso resaltante el de El Mendili & Benzaama (2022), que también emplearon RCA como sustituto parcial del cemento, pues encontraron que los niveles de reemplazo moderados pueden conservar un comportamiento adecuado de la mezcla, lo cual evidencia que la proporción incorporada constituye un factor determinante en su desempeño. Desde una perspectiva más amplia, Zhu et al. (2024), señalan que dichas variaciones de las propiedades del concreto con RCA dependen de características como la granulometría, el procesamiento del residuo, su composición y la cantidad incorporada. Además, Calderón et al. (2026), reportaron que una combinación de polvo de concha de abanico por separado, pero en proporciones reducidas, produjo un incremento de la trabajabilidad, demostrando que la respuesta del concreto puede variar según la dosificación y la naturaleza de los materiales complementarios dentro de la mezcla.

En consecuencia, las modificaciones físicas observadas en este estudio pueden relacionarse con la sustitución progresiva del cemento por un material de diferente distribución granulométrica y comportamiento frente al agua, cuya influencia se vuelve más evidente a mayores niveles de reemplazo.

A nivel mecánico, los hallazgos de este estudio resultan consistentes con la tendencia descrita en investigaciones que han evaluado niveles progresivos de RCA como sustituto del cemento. Tal es el caso de Melendez et al. (2025), pues determinaron que el empleo de polvo de conchas marinas entre 4.00% y 8.00% favoreció la CS, mientras que al alcanzar un 12.00% se generó una disminución respecto de la mezcla de referencia, estableciendo finalmente 8.00% como proporción óptima. Esta tendencia respalda la existencia de un intervalo de sustitución, en el cual el residuo puede incorporarse sin comprometer significativamente el desarrollo resistente, mientras que incrementos posteriores pueden resultar desfavorables. De manera similar, El Mendili & Benzaama (2022), demostraron la viabilidad de emplear RCA como sustituto parcial del cemento, aunque el comportamiento mecánico estuvo condicionado por la proporción utilizada y las características del residuo. En este mismo contexto, Zhu et al. (2024), explican que el incremento excesivo de RCA puede reducir el desempeño mecánico debido a diferencias en composición, tamaño de partícula y actividad cementante frente al cemento Portland tradicional. Además, Calderón et al. (2026), observaron que una sustitución reducida mediante RCA independientemente, permitió incluso mejorar ligeramente la resistencia a los 28 días, reforzando la importancia de controlar el nivel de incorporación de estos residuos. Por tanto, los resultados de esta investigación sugieren que 16.00% constituye el nivel más favorable dentro del intervalo evaluado, aunque su desempeño no superó al concreto convencional.

Por lo expuesto anteriormente, los antecedentes internacionales reportan que porcentajes de sustitución de cemento por RCA cercanos al 8.00% pueden presentar un comportamiento favorable, mientras que niveles superiores, como el 12.00%, pueden reducir la resistencia a compresión bajo determinadas condiciones experimentales. Sin embargo, dichos resultados no establecen un límite universal para todos los concretos elaborados con RCA, debido a que el comportamiento mecánico depende de las características físicas, químicas y mineralógicas del residuo, así como de la dosificación y las condiciones de curado. Por ello, el 16.00% fue considerado como el valor óptimo, para evaluar la respuesta del concreto ante una mayor sustitución de cemento, verificando mediante las diferentes propiedades mecánicas, que si se mantiene el cumplimiento de la resistencia de diseño.

CONCLUSIONES

Se concluye que la incorporación progresiva de RCA en reemplazo parcial del cemento, cambió las propiedades físicas del concreto, evidenciándose una disminución gradual del peso unitario y del asentamiento, junto con incrementos moderados del contenido de aire y la

temperatura. El tratamiento DCM-4, con 20.00% de RCA, presentó la mayor variación física respecto al concreto patrón, mientras que las modificaciones observadas en los demás tratamientos fueron progresivas, por lo que, desde el alcance de estas propiedades, no es conveniente usar rangos superiores a los aplicados en este estudio.

Se concluye que el reemplazo parcial del cemento por RCA generó una reducción de las propiedades mecánicas conforme aumentó la proporción de sustitución, sin embargo, el tratamiento DCM-2, con 16.00% de RCA, mostró el desempeño más favorable entre los diferentes especímenes, manteniendo valores próximos al concreto convencional y una CS superior a la resistencia de diseño de 210 Kg/cm², aunque sin superar al concreto patrón.

Se concluye que el tratamiento DCM-2, correspondiente al 16.00% de RCA, constituyó la alternativa más favorable entre las dosificaciones estudiadas, debido a que se logró obtener a los 28 días, los rangos de 217.67 Kg/cm², 47.25 Kg/cm², 15.37 Kg/cm² y 19.47 GPa, correspondientes a la resistencia a la compresión, flexión, tracción y módulo de elasticidad, respectivamente, por ende esta proporción puede considerarse viable para valorizar los RCA y reducir parcialmente el empleo de cemento para elaborar concretos no estructurales, que puedan usarse en pisos, muros no estructurales y cimientos corridos, en coherencia al Objetivo de Desarrollo Sostenible 12, vinculado a la producción y el consumo responsable.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alasaad, F., Affan, H., Mohamad, A., Yaghi, A., & Haddad, B. (2026). Waste recycling of scallop shells in concrete production: Mechanical behavior and environmental safety for end-of-life classification. *Recycling*, 11(6).
<https://doi.org/10.3390/recycling11060111>
- Arcila, S., Garcia, J., Villegas, L., Damiani, C., Arriola, G., Villena, L., & Idrogo, C. (2025). Valorization of treated bamboo fiber in the mechanical strength and durability of concrete. *Innovative Infrastructure Solutions*, 10(6). <https://doi.org/10.1007/s41062-025-02022-w>
- Cabanillas, G., García, J., Villegas, L., Arriola, G., & Marín, N. (2024). Sustainable use of wood sawdust as a replacement for fine aggregate to improve the properties of concrete: A Peruvian case study. *Innovative Infrastructure Solutions*, 9(7).
<https://doi.org/10.1007/s41062-024-01567-6>

- Calderón, A., Pariona, J., & Eyzaguirre, C. (2026). Sustainable concrete with recycled glass and oyster shell as partial cement replacements: A study on performance and environmental impact. *Materials Science Forum*, 1179, 99-109.
<https://doi.org/10.4028/p-U1kOuG>
- Castañeda, D., Varhen, C., Guerrero, R., & Ruiz, G. (2025). Enhancing pervious concrete performance using industrial waste: A study on crushed scallop seashell waste (CSS) and recycled cellulose fibre (CF). *Construction and Building Materials*, 478.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2025.141458>
- Chaname, J., García, J., & Arriola, G. (2024). Improvement of the mechanical properties of structural concrete using microporous ethylene vinyl acetate. *Revista Politécnica*, 53(2), 17-26. <https://doi.org/10.33333/rp.vol53n2.02>
- Córdova-Rodríguez, K., Flye-Sainte-Marie, J., Fernández, E., Graco, M., Rozas, A., & Aguirre-Velarde, A. (2022). Effect of low pH on growth and shell mechanical properties of the Peruvian scallop *Argopecten purpuratus* (Lamarck, 1819). *Marine Environmental Research*, 177. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2022.105639>
- Del Rosario, I., De Paz, E., Fernández, G., & Rojas, J. (2022). Construction material based on Technical Standard E-070 Masonry considering *Argopecten Purpuratus* to reduce contamination at the Casma landfill, 2021. *Proceedings of the 20th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology: "Education, Research and Leadership in Post-Pandemic Engineering: Resilient, Inclusive and Sustainable Actions"*. 20th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology: "Education, Research and Leadership in Post-pandemic Engineering: Resilient, Inclusive and Sustainable Actions".
<https://doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.131>
- El Mendili, Y., & Benzaama, M.-H. (2022). Investigation of mechanical and thermal performance of concrete with scallop shells as partial cement replacement: Alternative binder and life cycle assessment. *CivilEng*, 3(3), 760-778.
<https://doi.org/10.3390/civileng3030044>

- García, J., Arriola, G., Villena, L., & Muñoz, S. (2023). Strength of concrete using partial addition of residual wood ash with respect to cement. *Revista Politécnica*, 52(1), 45-54. <https://doi.org/10.33333/rp.vol52n1.05>
- Guessoum, M., El Moustapha, B., Khadraoui, F., Chateigner, D., Gascoin, S., & Maherzi, W. (2025). Effect of scallop shell powder addition on fresh and hardened properties of self-compacting concrete (SCC) based on recycled aggregates. *Construction and Building Materials*, 495. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2025.143660>
- Hamada, H., Al-Attar, A., Askar, M., Beddu, S., Majdi, A., & Humada, A. (2025). Recycled seashells as sustainable aggregates in concrete: Advancing waste management and enhancing performance: A comprehensive review. *Journal of Building Engineering*, 110. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2025.113067>
- Kluger, L., Schlüter, A., Garteizgogeoasoa, M., & Damonte, G. (2022). Materialities, discourses and governance: Scallop culture in Sechura, Peru. *Journal of Environmental Policy & Planning*, 24(3), 309-324. <https://doi.org/10.1080/1523908X.2022.2047620>
- Lakhiar, M., Bheel, N., & Kirgiz, M. (2026). Waste seashell powder as a partial cement substitute in concrete. En M. Kirgiz, *Renewable and Cost-Effective Materials and Structural Systems for the Built Environment and Engineering Sciences* (1.^a ed., pp. 214-227). Routledge. <https://doi.org/10.1201/9781003563303-13>
- Levano, A., Salinas, J., & Eyzaguirre, C. (2026). Mechanical and environmental performance of concrete with partial replacement of cement by silica fume and scallop shell powder in coastal areas. *Materials Science Forum*, 1180, 87-99. <https://doi.org/10.4028/p-oHcon8>
- Melendez, J., Huamancusi, J., & Eyzaguirre, C. (2025). Durability and mechanical properties of cement partially replaced by seashells. *Proceedings of the 23rd LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology (LACCEI): «Engineering, Artificial Intelligence, and Sustainable Technologies in Service of Society»*. 23rd LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology (LACCEI): «Engineering, Artificial Intelligence, and

Sustainable Technologies in service of society».

<https://doi.org/10.18687/LACCEI2025.1.1.2241>

- Roña, V., Villegas, L., Marín, N., López, A., Benites, J., Chavez, C., Olaya, W., Alvarez, L., Villavicencio, F., & Arriola, G. (2026). Influence of two types of plastic fibers on the physical and mechanical properties of concrete. *Civil Engineering and Architecture*, 14(3), 2393-2414. <https://doi.org/10.13189/cea.2026.141327>
- Shahidan, N., Yee, H., Mohd, N., Senin, S., Chong, C., & Kim, J. (2024). Mechanical properties of concrete with rubber powder and clamshell powder. *Journal of Advanced Research in Applied Mechanics*, 131(1), 144-157. <https://doi.org/10.37934/aram.131.1.144157>
- Villarrial, R., & Córdova, M. (2021). Structural concrete modified with scallop shell lime. *Revista Ingeniería de Construcción*, 36(3), 380-388.
- Zhu, Y., Chen, D., Yu, X., Liu, R., & Liao, Y. (2024). Properties of cementitious materials utilizing seashells as aggregate or cement: Prospects and challenges. *Materials*, 17(5). <https://doi.org/10.3390/ma17051222>

ARTÍCULO ORIGINAL**Resistencia antimicrobiana en enterobacterias productoras de BLEE aisladas de urocultivos en atención primaria: Un estudio transversal en el Centro de Salud Magllanal, Jaén, 2026**

Antimicrobial Resistance in ESBL-Producing Enterobacteriales Isolated from Urine Cultures in Primary Care: A Cross-Sectional Study at Magllanal Health Center, Jaen, 2026

Yohana Flores¹, Mirian Navarro², Edwin Barco³, Eswin Farsequé⁴ y Christian Rivera⁵

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo determinar la frecuencia de enterobacterias productoras de betalactamasas de espectro extendido (BLEE) aisladas en urocultivos, identificar las especies con mayor prevalencia y caracterizar su perfil de resistencia antimicrobiana en el Centro de Salud Magllanal, Jaén, 2026. Se desarrolló un estudio observacional, descriptivo, transversal y prospectivo. Se incluyeron urocultivos con recuento bacteriano $\geq 10^5$ UFC/mL provenientes de pacientes adultos sin consumo previo de antibióticos (mínimo 3 días antes de la muestra). De 150 urocultivos procesados, se identificó mediante pruebas bioquímicas (TSI, LIA, citrato de Simons, SIM) 86 enterobacterias. Se empleó la prueba de discos combinados (cefotaxima y ceftazidima con ácido clavulánico) para la detección fenotípica de BLEE, según los criterios del CLSI M100. Se identificó una frecuencia de BLEE del 37,2% (32/86), siendo *Escherichia coli* la especie con mayor prevalencia (43,8%), seguida de *Klebsiella spp.* (28,1%). Asimismo, se halló una elevada resistencia frente a trimetoprim/sulfametoxazol (71,9%) y ciprofloxacino (62,5%), mientras que la nitrofurantoína (81,3%) y la gentamicina (75,0%) conservaron una mayor sensibilidad. La frecuencia de enterobacterias productoras de betalactamasas de espectro extendido (BLEE) aisladas en urocultivos de pacientes adultos atendidos en el Centro de Salud Magllanal durante el año 2026 fue del 37,21% (32/86), lo que evidencia una considerable circulación de este mecanismo de resistencia antimicrobiana en el primer nivel de atención.

Palabras clave: β -lactamasas de espectro extendido; enterobacterias; resistencia antimicrobiana; urocultivo; susceptibilidad antimicrobiana.

ABSTRACT

The present study aimed to determine the frequency of extended-spectrum beta-lactamase (ESBL)-producing Enterobacteriaceae isolated from urine cultures, identify the species with the highest prevalence, and characterize their antimicrobial resistance profile at the Magllanal Health Center, Jaén, 2026. An observational, descriptive, cross-sectional, and prospective study was conducted. Urine cultures with a bacterial count $\geq 10^5$ CFU/mL from adult patients without prior antibiotic consumption (at least 3 days before sampling) were included. Out of 150 processed urine cultures, 86 Enterobacteriaceae were identified using biochemical tests (TSI, LIA, Simmons citrate, SIM). The combination disk test (cefotaxime and ceftazidime with clavulanic acid) was used for phenotypic detection of ESBL according to CLSI M100 criteria. An ESBL frequency of 37.2% (32/86) was identified, with *Escherichia coli* being the species with the highest prevalence (43.8%), followed by *Klebsiella spp.* (28.1%). Likewise, high resistance was found against trimethoprim/sulfamethoxazole (71.9%) and ciprofloxacin (62.5%), while nitrofurantoin (81.3%) and gentamicin (75.0%) retained higher susceptibility. The frequency of extended-spectrum beta-lactamase (ESBL)-producing Enterobacteriaceae isolated from urine cultures of adult patients treated at the Magllanal Health Center during 2026 was 37.21% (32/86), demonstrating a considerable circulation of this antimicrobial resistance mechanism in primary health care.

Keywords: extended-spectrum β -lactamases; enterobacteria; antimicrobial resistance; urine culture; antimicrobial susceptibility

* Autor para correspondencia

¹ Universidad Nacional de Jaén, Perú. Email: 2024120023@est.unj.edu.pe, 2024110022@est.unj.edu.pe, 2024110106@est.unj.edu.pe, 2024110118@est.unj.edu.pe, christian.rivera@unj.edu.pe

INTRODUCCIÓN

Las infecciones del tracto urinario (ITU) representan una de las enfermedades bacterianas más comunes a nivel mundial y constituyen una causa frecuente de atención médica y de prescripción de antimicrobianos, tanto en el ámbito hospitalario como en los establecimientos de atención primaria^{1,2}. En este contexto, las enterobacterias son los principales agentes etiológicos, destacando *Escherichia coli* como el microorganismo de mayor prevalencia, seguida de *Klebsiella pneumoniae*, *Proteus mirabilis*, *Citrobacter* spp. y *Enterobacter* spp.^{3,4}. Debido a su importancia clínica, el conocimiento de su comportamiento frente a los antimicrobianos es esencial para contribuir a la vigilancia epidemiológica de la resistencia bacteriana⁵.

Dentro de los mecanismos de resistencia bacteriana con mayor repercusión clínica destaca la síntesis de β -lactamasas de espectro extendido (BLEE), enzimas con capacidad de hidrolizar penicilinas, cefalosporinas de tercera generación y monobactámicos, lo cual reduce la eficacia de estos grupos antibióticos⁶. Cabe agregar que los genes que codifican la producción de BLEE se localizan frecuentemente en plásmidos, característica que facilita su diseminación horizontal entre distintas bacterias y contribuye a la rápida expansión de cepas multirresistentes, tanto en ambientes hospitalarios como comunitarios⁵.

Por tal motivo, la resistencia antimicrobiana vinculada a enterobacterias productoras de BLEE representa actualmente uno de los mayores retos para la salud pública mundial. Según lo señalado por la Organización Mundial de la Salud (OMS), el aumento progresivo en la aparición y propagación de microorganismos resistentes eleva la probabilidad de fracaso terapéutico, extiende los periodos de hospitalización, incrementa los costos asociados a la atención sanitaria y agrava la morbilidad y mortalidad de los pacientes^{7,8}. En este sentido, resulta fundamental mantener una vigilancia microbiológica constante junto con una evaluación periódica del perfil de susceptibilidad antimicrobiana, dado que ambas constituyen herramientas clave para guiar el tratamiento empírico y reforzar las estrategias de optimización en el uso de antimicrobianos. No obstante, la relevancia de esta problemática, en el contexto peruano persiste un vacío de información respecto a la frecuencia de enterobacterias productoras de BLEE y su comportamiento frente a los antimicrobianos, particularmente en establecimientos de primer nivel de atención y en regiones como Cajamarca⁹.

A nivel local, la evidencia sobre enterobacterias productoras de BLEE en Jaén continúa siendo escasa, aunque estudios recientes han comenzado a documentar su circulación en poblaciones específicas de la región. En gestantes atendidas en un laboratorio clínico privado

de la ciudad, se determinó una prevalencia de infección del tracto urinario del 54,55%, con predominio de *Escherichia coli* (63,33%) y una resistencia a ampicilina que alcanzó el 83,33%, identificándose además dos aislamientos con fenotipo BLEE de perfil multidrogorresistente¹⁰. De manera similar, el reporte de dos casos clínicos de gestantes con infección urinaria por *Escherichia coli* y *Klebsiella pneumoniae* productoras de BLEE evidenció resistencia conjunta a aminopenicilinas y cefalosporinas de tercera generación, con sensibilidad conservada frente a nitrofurantoína, constituyéndose como el primer antecedente documentado sobre este mecanismo de resistencia en gestantes de la provincia¹¹. Estos hallazgos, si bien circunscritos a una población obstétrica, sugieren que la circulación de enterobacterias productoras de BLEE en Jaén no se limita al ámbito hospitalario y podría extenderse a distintos grupos atendidos en establecimientos de atención primaria, reforzando la necesidad de ampliar la vigilancia microbiológica a poblaciones generales como la evaluada en el presente estudio.

Por ello, el presente estudio tuvo como finalidad determinar la frecuencia de enterobacterias productoras de BLEE aisladas en urocultivos de adultos atendidos en el Centro de Salud Magllanal, Jaén, 2026.

MATERIALES Y MÉTODOS

Tipo, diseño y método de investigación

El presente estudio correspondió a un diseño observacional, descriptivo y transversal, con enfoque cuantitativo y de tipo prospectivo, debido a que la recolección de las muestras y el procesamiento microbiológico se realizaron de manera directa durante el periodo de estudio, sin intervención ni manipulación de las variables analizadas¹².

Población, muestra y muestreo

Población y muestra

La población y la muestra estuvo constituida por 150 urocultivos, lo cuales cumplieron con los criterios de inclusión y exclusión establecidos, los mismos que fueron procesados en el laboratorio de microbiología clínica de la escuela profesional de Tecnología Médica de la Universidad Nacional de Jaén, durante los meses de mayo y junio de 2026¹².

Criterios de inclusión

Se incluyeron urocultivos con recuento bacteriano $\geq 10^5$ UFC/mL, correspondientes a pacientes adultos atendidos en el Centro de Salud Magllanal durante el periodo de estudio, cuyos aislamientos fueron identificados bioquímicamente como enterobacterias, además, pacientes que no estén consumiendo antibióticos 3 días previos a la toma de muestra.

Criterios de exclusión

Se excluyeron los urocultivos con crecimiento polimicrobiano o contaminado, las muestras duplicadas de un mismo paciente, los aislamientos correspondientes a microorganismos distintos a enterobacterias (como *Pseudomonas spp.* o cocos grampositivos), así como aquellos registros con información incompleta en la ficha de laboratorio.

Muestreo

El muestreo fue de tipo censal, ya que se incluyó la totalidad de los aislamientos de enterobacterias que cumplieron con los criterios de selección durante el periodo evaluado, sin recurrir a técnicas de muestreo probabilístico¹².

Aislamiento, selección e identificación de enterobacterias BLEE

Los urocultivos que evidenciaron crecimiento bacteriano significativo se sembraron en agar MacConkey, medio selectivo y diferencial que posibilita el aislamiento de bacilos gramnegativos junto con su diferenciación preliminar en función de la fermentación de lactosa. La incubación se realizó en condiciones de aerobiosis a 35 ± 2 °C por 24 horas. Aquellas colonias cuya morfología resultaba compatible con la familia Enterobacteriaceae fueron seleccionadas para su posterior caracterización mediante un panel bioquímico convencional, integrado por las pruebas de Triple Sugar Iron (TSI), Lysine Iron Agar (LIA), Sulfide Indole Motility (SIM), citrato de Simons, urea, rojo de metilo y Voges-Proskauer; la interpretación conjunta de estos resultados permitió determinar el género y la especie de cada aislamiento¹³.

Para identificar fenotípicamente a las enterobacterias productoras de BLEE se aplicó la técnica de discos combinados conforme a los lineamientos del CLSI M100. En placas de agar Mueller-Hinton, previamente inoculadas con una suspensión bacteriana equivalente al patrón 0.5 de McFarland, se colocaron discos de cefotaxima (30 µg) y ceftazidima (30 µg) por separado, así como cada uno combinado con ácido clavulánico (30/10 µg). Luego de incubar las placas a 35 ± 2 °C por 24 horas, se procedió a medir el diámetro de los halos de inhibición generados alrededor de cada disco¹⁴.

Se consideró un resultado positivo para BLEE cuando el diámetro del halo de inhibición del disco combinado (cefotaxima/ácido clavulánico o ceftazidima/ácido clavulánico) fue igual o mayor a 5 mm respecto al halo generado por el disco de la cefalosporina sola, lo que evidencia la inhibición enzimática por acción del ácido clavulánico y confirma la presencia del mecanismo de resistencia. Este criterio fue aplicado a la totalidad de los aislamientos identificados como enterobacterias, permitiendo clasificar cada cepa como BLEE positiva o negativa según lo reportado en la Tabla 1¹⁴.

Análisis estadístico de datos

La organización y el procesamiento de los datos se llevaron a cabo en Microsoft Excel, versión 2021, mediante estadística descriptiva basada en frecuencias absolutas y relativas (porcentajes); los resultados se presentaron en tablas para facilitar su lectura e interpretación¹⁵.

Aspectos éticos de la investigación

El presente estudio se desarrolló en estricto cumplimiento de los principios éticos contemplados en la Declaración de Helsinki y la normativa nacional vigente para investigaciones en salud. Dado que se trató de un estudio observacional no intervencionista clasificado como de riesgo mínimo, que empleó exclusivamente aislamientos bacterianos procedentes de urocultivos solicitados por la atención médica de rutina y datos secundarios anonimizados, no se requirió la intervención directa sobre los pacientes ni la aplicación de un consentimiento informado. La ejecución del proyecto fue revisada, aprobada y autorizada formalmente por la Jefatura y la Dirección del Centro de Salud Magllanal para el uso institucional de la información microbiológica. En todo momento se garantizó la confidencialidad, privacidad y el anonimato de los pacientes mediante el uso de códigos numéricos de identificación.

RESULTADOS

En la tabla 1, se muestra que de los 86 aislamientos de enterobacterias obtenidos en urocultivos de adultos atendidos en el Centro de Salud Magllanal, un total de 32 (37, 21%) fueron productoras de BLEE y 54 (62.79%) no presentaron este mecanismo de resistencia. La enterobacteria con más producción BLEE fue *Escherichia coli* con 14 aislamientos, luego esta *Klebsiella spp.* con 9, *Citrobacter spp.* con 5, *Enterobacter spp.*, con 3 y *Proteus spp.* con 1 aislamiento.

Tabla 01

Frecuencia de enterobacterias productoras de BLEE aislados de urocultivos

Especie de bacteria	BLEE (+)	Porcentaje (%)	IC 95% BLEE (+)	BLEE (-)	Porcentaje (%)	IC 95% BLEE(-)
<i>Escherichia coli</i>	14	16.28%	[9,95% - 25,49%]	24	27.91%	[19,53% -38,17%]
<i>Klebsiella spp.</i>	9	10.47%	[5,60% - 18,71%]	9	10.47%	[5,60% - 18,71%]
<i>Citrobacter spp.</i>	5	5.81%	[2,51% - 12,90%]	7	8.14%	[4,00% - 15,86%]
<i>Proteus spp.</i>	1	1.16%	[0,21% - 6,30%]	10	11.63%	[6,44% - 20,10%]
<i>Enterobacter spp.</i>	3	3.49%	[1,19% - 9,76%]	4	4.65%	[1,82% - 11,36%]
Total	32	37.21%	[27,75% - 47,77%]	54	62.79%	[52,23% 72,25%]

Nota: * IC 95%: Intervalo de confianza al 95% calculado mediante el método de Wilson sobre el total de aislamientos de enterobacterias (N = 86)

En la tabla 2, se identificó las especies de enterobacterias productoras de BLEE con mayor prevalencia en los urocultivos, lo que se obtuvo *Escherichia coli*, con 14 aislamientos (43,8%), seguida de *Klebsiella* spp. con 9 aislamientos (28,1%). En menor proporción se identificaron *Citrobacter* spp. con 5 aislamientos (15,6%), *Enterobacter* spp. con 3 aislamientos (9,4%) y *Proteus* spp. con 1 aislamiento (3,1%).

Tabla 02

Especies de enterobacterias productoras de BLEE aisladas en urocultivos

Especie de bacteria	Frecuencia (n)	Porcentaje (%)
<i>Escherichia coli</i>	14	43,8
<i>Klebsiella</i> spp.	9	28,1
<i>Citrobacter</i> spp.	5	15,6
<i>Proteus</i> spp.	1	3,1
<i>Enterobacter</i> spp.	3	9,4

La tabla 3, muestra que la nitrofurantoína (81,3%) y la gentamicina (75,0%) mostraron la mayor sensibilidad, mientras que el trimetoprim/sulfametoxazol (71,9%) y el ciprofloxacino (62,5%) presentaron los mayores porcentajes de resistencia.

Tabla 03

Perfil de susceptibilidad antimicrobiana de las enterobacterias confirmadas como productoras de BLEE frente a antibióticos de uso común en atención primaria

Antibiótico	Sensible	%	Intermedio	%	Resistente	%
Amikacina	15	46,9	9	28,1	8	25,0
Gentamicina	24	75,0	5	15,6	3	9,4
Ciprofloxacino	10	31,3	2	6,3	20	62,5
Nitrofurantoína	26	81,3	1	3,1	5	15,6
Trimetoprim/sulfametoxazol	6	18,8	3	9,4	23	71,9

DISCUSIÓN

La frecuencia de enterobacterias productoras de BLEE hallada en el presente estudio (37,21%; 32/86) resultó considerablemente menor a la reportada por un estudio multicéntrico realizado en dos hospitales de la selva peruana (Madre de Dios y Ucayali), donde el 57,4% de los aislamientos de urocultivo fueron confirmados como productores de este mecanismo de resistencia¹⁷. Esta diferencia de casi 20 puntos porcentuales podría explicarse por el nivel de atención de los establecimientos comparados, ya que dicho estudio se desarrolló en hospitales de referencia regional, mientras que el Centro de Salud Magllanal corresponde a un establecimiento de primer nivel, donde la presión selectiva por el uso hospitalario de antibióticos

de amplio espectro suele ser menor. Aun así, la cifra encontrada continúa siendo clínicamente relevante, pues confirma que más de un tercio de los aislamientos evaluados en atención primaria ya porta este mecanismo de resistencia, lo que limita de manera directa las opciones terapéuticas empíricas disponibles en este nivel de atención.

En cuanto a la distribución por especie, *Escherichia coli* fue la enterobacteria con mayor prevalencia de BLEE (43.8%), seguida de *Klebsiella spp.* (28.1%). Este patrón es consistente en cuanto al orden de predominancia con lo reportado en un estudio de portación fecal comunitaria realizado en el Instituto Nacional de Salud del Niño de Lima, donde *E. coli* representó el 86.1% de los aislamientos BLEE positivos y *K. pneumoniae* el 7.9%¹⁸. Sin embargo, la brecha proporcional entre ambas especies fue mucho más amplia en dicho estudio (78.2 puntos porcentuales de diferencia) que en el presente trabajo (15.7 puntos porcentuales), lo que sugiere una mayor participación relativa de *Klebsiella spp.* en la epidemiología local de Jaén. Esta diferencia podría estar asociada a variaciones en la población de estudio, dado que el antecedente citado se centró en portación intestinal en niños sanos, mientras que la presente investigación evaluó aislamientos clínicos de adultos con infección urinaria activa, contextos que favorecen la colonización y selección de especies distintas dentro de la familia Enterobacteriaceae.

Respecto al perfil de susceptibilidad, la elevada resistencia observada frente a trimetoprim/sulfametoxazol (71.9%) y ciprofloxacino (62.5%) coincide con la tendencia descrita en un estudio retrospectivo realizado en el Hospital Universitario San José de Popayán, Colombia, donde estos mismos antibióticos junto con la ampicilina/sulbactam mostraron los mayores niveles de resistencia entre los uropatógenos evaluados, mientras que la amikacina y la nitrofurantoína se mantuvieron como las opciones con menor resistencia y, por tanto, más adecuadas para el manejo empírico inicial¹⁹. En este sentido, la sensibilidad conservada a nitrofurantoína (81.3%) y gentamicina (75.0%) en el presente estudio refuerza esta tendencia regional, con una diferencia a favor de la nitrofurantoína de aproximadamente 20 puntos porcentuales frente a la resistencia documentada para trimetoprim/sulfametoxazol.

El presente estudio muestra algunas limitaciones que deben considerarse al interpretar los resultados. En primer lugar, el diseño transversal y el reducido tamaño muestral (86 aislamientos) obtenido en un único establecimiento de salud limitan la posibilidad de generalizar los hallazgos a otras poblaciones de la región o a niveles de atención distintos al primario. En segundo lugar, la detección de BLEE se realizó exclusivamente mediante el método fenotípico de discos combinados, sin confirmación molecular de los genes de resistencia (*bla*-CTX-M,

blaTEM, blaSHV), lo que impide precisar el mecanismo genético específico responsable del fenotipo observado en cada aislamiento. Asimismo, no se recolectaron datos clínicos ni epidemiológicos de los pacientes (como antecedentes de hospitalización, uso previo de antibióticos o comorbilidades), variables que podrían haber aportado un análisis más completo sobre los factores asociados a la circulación de estas cepas en la comunidad. Finalmente, al tratarse de un estudio realizado en un único periodo (mayo-junio 2026), los resultados reflejan un panorama puntual de la resistencia antimicrobiana local, por lo que se recomienda su actualización periódica y la ampliación a otros establecimientos de atención primaria de la región para fortalecer la representatividad de los hallazgos.

CONCLUSIONES

La frecuencia de enterobacterias productoras de betalactamasas de espectro extendido (BLEE) aisladas en urocultivos de pacientes adultos atendidos en el Centro de Salud Magllanal durante el año 2026 fue del 37,21% (32/86), lo que evidencia una considerable circulación de este mecanismo de resistencia antimicrobiana en el primer nivel de atención.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Yang X, Chen H, Zheng Y, Qu S, Wang H, Yi F. Burden of disease and long-term trends of urinary tract infections: A global report. *Front Public Health* [Internet]. 2022 [citado 2026 Jul 13];10:888205. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.888205>
- Pothoven R. Management of urinary tract infections in the era of antimicrobial resistance. *Drug Target Insights* [Internet]. 2023 [citado 2026 Jul 13];17:126-137. Disponible en: <https://doi.org/10.33393/dti.2023.2660>
- Zhou Y, Zhou Z, Zheng L, Gong Z, Li Y, Jin Y, et al. Urinary tract infections caused by uropathogenic *Escherichia coli*: mechanisms of infection and treatment options. *Int J Mol Sci* [Internet]. 2023 [citado 2026 Jul 13];24(13):10537. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/ijms241310537>
- Flores-Mireles AL, Walker JN, Caparon M, Hultgren SJ. Urinary tract infections: epidemiology, mechanisms of infection and treatment options. *Nat Rev Microbiol* [Internet]. 2015 [citado 2026 Jul 13];13:269-284. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/nrmicro3432>
- Ozturk R, Murt A. The epidemiology of urological infections: a global burden. *World J Urol* [Internet]. 2020 [citado 2026 Jul 13];38:2669-79. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00345-019-03071-4>

- Morales R. Terapia de bacterias productoras de beta-lactamasas de espectro extendido. *Rev Chil Infectol* [Internet]. 2003 [citado 2026 Jul 13];20(Supl 1):24-27. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0716-10182003020100003>
- World Health Organization. WHO warns of widespread resistance to common antibiotics worldwide [Internet]. 2025 [citado 2026 Jul 13]. Disponible en: https://www.who.int/es/news/item/13-10-2025-who-warns-of-widespread-resistance-to-common-antibiotics-worldwide?utm_source=
- Pérez Cubas G, Carrasco Sosa JA, De la Cruz Pérez A, Vásquez Mena N, Ortiz Herrera CA. 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. *Rev Cient Pakamuros* [Internet]. 2026 [citado 2026 Jul 13];13(4):84-93. Disponible en: <https://doi.org/10.37787/4pwccm22>
- Husna A, Rahman MM, Badruzzaman ATM, Sikder MH, Islam MR, Rahman MT, et al. Extended-spectrum β -lactamases (ESBL): challenges and opportunities. *Biomedicines* [Internet]. 2023 [citado 2026 Jul 13];11(11):2937. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/biomedicines11112937>
- Pérez Cubas G, Carrasco Sosa JA, Oblitas Barboza AS, Monsalve Fuentes K, Orihuela Aranda DY, Rodríguez Pintado GU, et al. Perfil microbiológico y resistencia antibiótica en infecciones urinarias de gestantes: un estudio transversal en un laboratorio clínico privado de Jaén, Perú. *Rev Cient Pakamuros* [Internet]. 2026 [citado 2026 Jul 13];14(1):81-103. Disponible en: <https://doi.org/10.37787/sht4x824>
- Pérez-Cubas G, Carrasco-Sosa JA, Monsalve-Fuentes K. Infecciones urinarias por enterobacterias productoras de beta-lactamasas de espectro extendido en gestantes: reporte de dos casos en Jaén, Perú. *Rev Peru Cienc Salud* [Internet]. 2026 [citado 2026 Jul 13];8(2). Disponible en: <https://doi.org/10.37711/rpcs.2026.8.2.5>
- Supo JA. Niveles de investigación: una clasificación emergente fundamentada en el análisis de datos para la investigación científica. 1.^a ed. Lima: BIOESTADISTICO; 2025.

- Procop GW, Church DL, Hall GS, Janda WM, Koneman EW, Schreckenberger PC, et al. Koneman. Diagnóstico microbiológico: texto y atlas. 7.^a ed. Barcelona: Wolters Kluwer; 2017.
- Clinical and Laboratory Standards Institute. Performance standards for antimicrobial susceptibility testing. CLSI supplement M100. 36th ed. Wayne (PA): Clinical and Laboratory Standards Institute; 2026.
- Madrid R, Buttner JA, Shilling M, Thiagarajan S, Hanson RS, Ehsanian R, et al. Statistics for the clinician I: categorical variables. *Semin Cardiothorac Vasc Anesth* [Internet]. 2025 [citado 2026 Jul 13];29(4):240-245. Disponible en: <https://doi.org/10.1177/10892532251389293>
- World Medical Association. World Medical Association Declaration of Helsinki: ethical principles for medical research involving human participants. Adopted October 2024 by the World Medical Association (75th General Assembly) [Internet]. Ferney-Voltaire (France): World Medical Association; 2024 [citado 2026 Jul 13]. Disponible en: <https://www.wma.net/policies-post/wma-declaration-of-helsinki/>
- León-Luna D, Fajardo-Loyola A, Yareta-Yareta J, Burgos-Espejo A, Peralta-Siesquen C, Galarza-Pérez M. Caracterización molecular de enterobacterias multirresistentes en dos departamentos de la selva peruana. *Biomédica* [Internet]. 2021 [citado 2026 Jul 13];41(Supl.2):180-97. Disponible en: <https://doi.org/10.7705/biomedica.5720>
- Colquechagua Aliaga F, Sevilla Andrade C, Gonzales Escalante E. Enterobacterias productoras de betalactamasas de espectro extendido en muestras fecales en el Instituto Nacional de Salud del Niño, Perú. *Rev Peru Med Exp Salud Publica* [Internet]. 2015 [citado 2026 Jul 13];32(1):26-32. Disponible en: <https://doi.org/10.17843/rpmesp.2015.321.1571>
- Muñoz Ramírez C, López Mósquera V, Mera L, Meneses D, Rodríguez L, Illera D, et al. Perfil de resistencia bacteriana en infección del tracto urinario; hospital Universitario San José, Popayán, 2017-2018. *Salud UIS* [Internet]. 2022 [citado 2026 Jul 13];54:e22055. Disponible en: <https://doi.org/10.18273/saluduis.54.e:22055>

ARTÍCULO ORIGINAL**Efecto del hidróxido de calcio y nanosílice en propiedades físicas y mecánicas de los suelos arcillosos**

The effect of calcium hydroxide and nanosilica on the physical and mechanical properties of clay soils

Jorge Trigoso 

RESUMEN

Los suelos arcillosos presentan baja capacidad portante, alta sensibilidad al agua y limitada resistencia mecánica, condiciones que restringen su uso en infraestructura vial. En este contexto, el hidróxido de calcio y la nanosílice representan alternativas de estabilización química por su capacidad de modificar la matriz arcillosa y favorecer la formación de compuestos cementantes. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto del hidróxido de calcio y la nanosílice en las propiedades físicas y mecánicas de suelos arcillosos de Lambayeque. Se realizaron tres calicatas en el sector Pampa El Toro, distrito de Tumán, provincia de Chiclayo, seleccionándose el suelo más desfavorable para los ensayos. Se elaboraron mezclas con 3.00%, 5.00% y 9.00% de hidróxido de calcio, así como combinaciones de 9.00% de hidróxido de calcio con 2.00%, 5.00% y 7.00% de nanosílice. Las muestras fueron evaluadas mediante Proctor modificado, CBR y compresión no confinada. La mezcla 9CH:5NS presentó el mejor desempeño, con CBR de 17.70% y 21.50% al 95% y 100% de compactación, respectivamente, y una resistencia de 13.50 kg/cm² a 28 días. El análisis estadístico confirmó mejoras significativas, evidenciando su viabilidad como alternativa para estabilización de subrasantes en condiciones arcillosas locales con potencial aplicación en proyectos viales regionales sostenibles.

Palabras clave: Estabilización, hidróxido de calcio, nanosílice, suelos arcillosos

ABSTRACT

Clay soils have low bearing capacity, high sensitivity to water and limited mechanical strength, conditions which restrict their use in road infrastructure. In this context, calcium hydroxide and nanosilica represent alternatives for chemical stabilisation due to their ability to modify the clay matrix and promote the formation of cementitious compounds. The aim of this study was to evaluate the effect of calcium hydroxide and nanosilica on the physical and mechanical properties of clay soils from Lambayeque. Three test pits were excavated in the Pampa El Toro area, Tumán district, Chiclayo province, and the least favourable soil was selected for the tests. Mixtures were prepared containing 3.00%, 5.00% and 9.00% calcium hydroxide, as well as combinations of 9.00% calcium hydroxide with 2.00%, 5.00% and 7.00% nanosilica. The samples were evaluated using the modified Proctor test, CBR and unconfined compression tests. The 9CH:5NS mixture performed best, with CBR values of 17.70% and 21.50% at 95% and 100% compaction, respectively, and a strength of 13.50 kg/cm² at 28 days. The statistical analysis confirmed significant improvements, demonstrating its viability as an alternative for sub-base stabilisation in local clayey conditions, with potential application in sustainable regional road projects.

Keywords: Stabilisation, calcium hydroxide, nanosilica, clay soils

* Autor para correspondencia

¹ Universidad Cesar Vallejo de Chiclayo, Perú. Email: jtrigosoec@ucvvirtual.edu.pe

INTRODUCCIÓN

La ingeniería geotécnica continuó avanzando en respuesta a las crecientes demandas de la infraestructura moderna, debido a que los proyectos aumentaron en escala y complejidad; por ello, la mejora de los suelos naturales se volvió esencial para garantizar estabilidad estructural, durabilidad y capacidad de carga (Diab et al., 2026). Asimismo, la arcilla presentó dificultades por su capacidad de retener agua, su comportamiento cohesivo y sus limitaciones en resistencia mecánica, permeabilidad, compresibilidad, tenacidad y plasticidad (Safi & Singh, 2022). En infraestructura vial, el tratamiento adecuado del suelo permitió prevenir erosión, asentamiento e inestabilidad; además, prolongó la vida útil de las carreteras y redujo los costos de mantenimiento (Khajeh et al., 2023). Por ello, la mejora del suelo buscó incrementar la resistencia al corte y la capacidad de soporte; asimismo, permitió minimizar la compresibilidad, los asentamientos y la susceptibilidad al lavado de partículas finas (Roshan et al., 2022).

La estabilización de suelos se presentó como una respuesta técnica orientada a mejorar el comportamiento de los materiales arcillosos. Los aditivos como el hidróxido de calcio (CH) o también llamado cal, por sus efectos puzolánicos, reaccionaron con los minerales arcillosos y produjeron mejoras en la resistencia del suelo y en la estabilidad volumétrica (Poyraz, 2026). En esa línea, el CH se consideró como un material relevante para mejorar el comportamiento del suelo, debido a sus características que lo hacen favorable como estabilizante (Utkarsh & Jain, 2024). Ahora bien, Babanas y Courcelles (2025), detallaron que, el ambiente alcalino ($\text{pH} \geq 12,4$), mantenido por la CH, disuelve la sílice y la alúmina de los bordes de las partículas de arcilla, lo que desencadena reacciones puzolánicas que producen compuestos cementantes como el silicato de calcio hidratado y el aluminato de calcio hidratado. Por otro lado, Diniz et al. (2024), informaron que, el CH presentó un 0.70% de humedad y una masa específica de 0.40 g/cm^3 , lo que mostró un producto ligero y de reactividad importante. En el análisis granulométrico, no retuvo material en el tamiz N.º 28 y solo retuvo 0.21% en el tamiz N.º 200, confirmando una fineza muy alta; en conjunto, estos resultados describieron un CH de buena pureza y adecuada calidad para su uso en aplicaciones de estabilización.

Asimismo, la nanosílice (NS) adquirió relevancia dentro del mejoramiento de suelos porque su composición química estuvo conformada principalmente por SiO_2 en un 99,35 %, lo que explicó su interés en procesos asociados a materiales cálcicos (Praveen Kumar & Dey, 2023). Cao et al. (2023), indicaron que este material presentó un diámetro medio de grano de 20 nm, pureza igual o superior a 99.8%, área específica de $200 \text{ m}^2/\text{g}$, densidad aparente de 0.05 gr/cm^3 , color blanco y forma de polvo granular esférico. De manera complementaria, Farjad et

al. (2025), reportaron una composición con 99.90% de SiO_2 , además de proporciones menores de Al_2O_3 , CaO , Fe_2O_3 , MgO , Na_2O y K_2O . Estas características permitieron comprender que su elevada pureza, finura y composición rica en sílice pudieron favorecer su interacción dentro de matrices estabilizadas. En este contexto, el desarrollo de materiales alternativos se ha convertido en una prioridad para responder a las exigencias de la economía circular y a los Objetivos de Desarrollo Sostenible relacionados con producción responsable e innovación en infraestructura (Bonilla Bances et al., 2026).

Diversos estudios han mostrado que el uso del CH y NS mejora las propiedades físicas y mecánicas del suelo, tal como lo muestran, Novianto y Rochman (2023), quienes evaluaron el uso de cal en proporciones de 5.00%, 10.00%, 15.00% y 20.00% respecto al peso seco del suelo, determinando que la adición de 5.00% incrementó la máxima densidad seca (MDS) de 1.697 g/cm^3 a 1.775 g/cm^3 , lo que evidenció una mejora en el comportamiento de compactación. Asimismo, Sudjianto et al. (2025), analizaron el efecto del CH en proporciones de 0.00%, 5.00%, 10.00%, 15.00% y 20.00%, reportando que el suelo natural presentó una MDS de 1.180 g/cm^3 y un óptimo contenido de humedad (OCH) de 26.50%, mientras que con 20.00% de cal alcanzó una MDS de 1.315 g/cm^3 y un OCH de 25.67%.

Por otro lado, Tang et al. (2023), evaluaron contenidos de cal hidratada de 3.00%, 6.00% y 9.00%, observando que con 9.00% de cal el OCH aumentó de 9.20% a 10.90%, mientras que la MDS disminuyó de 2.13 g/cm^3 a 2.07 g/cm^3 . Además, el índice de capacidad portante (CBR) presentó un incremento de 215.00%, confirmando la eficiencia del CH para mejorar la capacidad portante del suelo. Del mismo modo, Waleed y Alshawmar (2025), evaluaron el efecto de la sílice en proporciones entre 3.00% y 12.00%, evidenciando que los estabilizadores disminuyeron la MDS, aumentaron el OCH y mejoraron la resistencia a la compresión no confinada (UCS) en 77.00% con 12.00% de sílice después de 28 días de curado.

En el contexto peruano, Chicaña (2022), analizó el comportamiento de un suelo arcilloso estabilizado con 1.00% y 2.00% de NS, demostrando que la adición de 2.00% incrementó ocho veces la UCS y quince veces el CBR al 95.00% de la MDS, en comparación con el suelo natural. Estos hallazgos confirman la viabilidad técnica del CH y la NS como estabilizantes para mejorar las propiedades físicas y mecánicas de suelos arcillosos.

En ese sentido, la presente investigación propone evaluar el efecto del hidróxido de calcio y la nanosílice en las propiedades físicas y mecánicas de los suelos arcillosos de Lambayeque, con el objetivo de determinar su influencia en la máxima densidad seca, el óptimo contenido de humedad, el índice de capacidad portante y la resistencia a la compresión no

confinada. De esta manera, se busca aportar evidencia científica que respalde el uso de estos estabilizantes como alternativa técnica para mejorar el comportamiento geotécnico de suelos arcillosos, contribuyendo al desarrollo de soluciones sostenibles y eficientes en obras de infraestructura vial y geotecnia aplicada.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

Suelo

Se excavaron tres calicatas a cielo abierto en el sector Pampa El Toro, distrito de Tuman, provincia de Chiclayo, región Lambayeque, Perú, ubicadas geográficamente en las coordenadas 6°44'25.5"S y 79°41'48.0"W. Las muestras alteradas se extrajeron a una profundidad constante de 1.50 m. Tras la caracterización geotécnica completa en el laboratorio, se aplicó un criterio de selección riguroso enfocado en identificar el perfil de suelo más crítico y desfavorable para fines de pavimentación. La muestra de la Calicata C-02 fue seleccionada como el suelo patrón para la fase experimental debido a que registró el mayor Índice de Plasticidad ($IP=20\%$), el mayor contenido de finos que pasan el tamiz N° 200 (76.4%), la menor Densidad Máxima Seca ($MDS=1.856\text{g/cm}^3$) y las propiedades de soporte más deficientes ($CBR=3.0\%$ al 95% de la MDS). Las propiedades iniciales de las tres calicatas se detallan en la Tabla 1

Tabla 1
Características físicas y mecánicas del suelo natural

Prueba	Características	Normativa	Resultados		
			C-1	C-2	C-3
Profundidad (m)	1.50 m				
Distribución del tamaño de grano	Grava mayor a 4.75 mm (%)	ASTM D422 [40]	0.9	0.2	0.2
	Arena 0.075–4.75 mm (%)	ASTM D422 [40]	49.3	23.3	32.1
	Fino menor 0.075 mm (%)	ASTM D422 [40]	49.8	76.4	67.6
Tipo de suelo	Clasificación (SUCS)	ASTM D2487 [41]	SM	CL	CL
	Clasificación (AASHTO)		A-4	A-6	A-6
Límites de Atterberg	Límite líquido (%)	ASTM D4318 [42]	32	40	38
	Límite plástico (%)		24	20	24
Pruebas de compactación	Densidad máxima seca (gr/cm^3)	ASTM D1557 [43]	1.941	1.856	1.891
	Contenido de humedad óptimo (%)	ASTM D1557 [43]	12.74	13.39	13.44

Prueba de resistencia				
Índice de soporte de California al 95% MDS (%)		11.5	3.0	5.2
	ASTM D1883 [44]			
Índice de soporte de California al 100% MDS (%)		13.5	4.8	6.3
UCS a los 7 días		-	7.80	-
UCS a los 14 días	ASTM D2166 [45]	-	8.90	-
UCS a los 28 días		-	9.74	-

Nota. Datos obtenidos de ensayos de laboratorio

Nanosílice

La nanosílice utilizada fue el producto GAIA Nanosílice, tal como se muestra en la Figura 1, suministrado por la empresa ULMEN S.A. – Aditivos para Concreto, ubicada en Villa El Salvador, Lima, Perú. Este aditivo se presentó como suspensión coloidal y fue seleccionado por su potencial reactivo en presencia de materiales cálcicos. El producto fue almacenado en recipientes herméticos, a temperatura controlada y protegido de la luz directa. Además, la nanosílice fue sometida a análisis químico de caracterización, de acuerdo con la norma ASTM E1621-16, con el fin de identificar su composición elemental y validar su adecuación técnica en el proceso de estabilización.

Figura 1
Nanosílice utilizado en la investigación



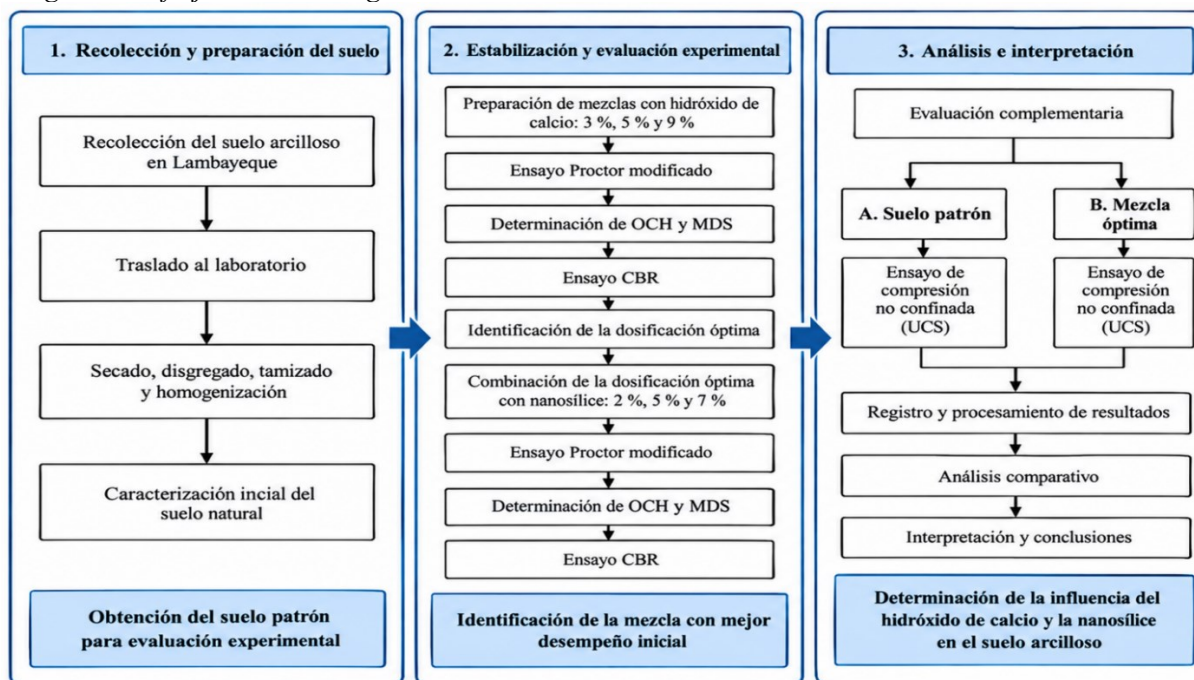
Hidróxido de calcio

El hidróxido de calcio utilizado fue adquirido de un proveedor comercial certificado y empleado como estabilizante químico del suelo arcilloso. Su incorporación se consideró debido a su capacidad para generar un medio alcalino favorable para las reacciones de estabilización, especialmente en presencia de materiales silíceos.

EL hidróxido de Calcio (CH): Suministrado en forma de polvo fino blanco e inodoro, con una densidad de 2.24g/mL y una finura donde el 98% de las partículas son menores a 90 micras. Su carácter fuertemente alcalino ($pH=12.4$) asegura la disolución de los compuestos silíceos del suelo arcilloso.

Métodos

La metodología empleada en esta investigación se desarrolló en tres fases, tal como se muestra en la Figura 2. La primera fase correspondió a la recolección y preparación del suelo arcilloso, la cual incluyó la extracción del material en Lambayeque, su traslado al laboratorio, secado, disgregado, tamizado y homogenización, con la finalidad de obtener el suelo patrón para la evaluación experimental. En la segunda fase se realizó la estabilización y evaluación experimental del suelo. Para ello, se prepararon mezclas con hidróxido de calcio en proporciones de 3.00%, 5.00% y 9.00% respecto al peso seco del suelo. Posteriormente, se ejecutaron los ensayos físicos y mecánicos, y a partir de estos resultados, se identificó la dosificación con mejor desempeño inicial, la cual fue combinada con nanosílice en proporciones de 2.00%, 5.00% y 7.00%.

Figura 2*Diagrama de flujo de la investigación*

Diseño Experimental y Distribución de la Muestra

La investigación adoptó un diseño experimental y enfoque cuantitativo. Para asegurar la validez de las tendencias físicas y mecánicas evaluadas, se preparó un total de 46 unidades experimentales (especímenes). Estas muestras se dividieron en 7 grupos de tratamiento específicos, elaborando 3 réplicas exactas para cada ensayo de propiedades mecánicas y durabilidad, tal como se describe en la nomenclatura de la Tabla 2.

Tabla 2*Nomenclatura, descripción de las mezclas y distribución de las unidades experimentales*

Grupo	Nomenclatura	Descripción del Tratamiento	Proctor Modif. (Ensayos)	Réplicas CBR (Especímenes)	Réplicas UCS (Especímenes)	Durabilidad Humedad-Secado
G0	US	Suelo Arcilloso Natural (Control)	1	3	3	6
G1	3CH	Suelo + 3.00% Hidróxido de Calcio	1	3	-	-
G2	5CH	Suelo + 5.00% Hidróxido de Calcio	1	3	-	-
G3	9CH	Suelo + 9.00% Hidróxido de Calcio (Dosis Óptima)	1	3	-	-

G4	9CH:2NS	Suelo + 9% Cal + 2.00% Nanosilice Líquida	1	3	-	-
G5	9CH:5NS	Suelo + 9% Cal + 5.00% Nanosilice (Mezcla Óptima)	1	3	3	6
G6	9CH:7NS	Suelo + 9% Cal + 7.00% Nanosilice Líquida	1	3	-	-
SUBTOTAL			7	21	6	12
TOTAL			46 unidades Experimentales			

Finalmente, en la tercera fase se efectuó el análisis e interpretación de resultados. Esta etapa incluyó una evaluación complementaria mediante el ensayo de UCS, considerando el suelo patrón y la mezcla óptima. Los resultados fueron registrados, procesados y comparados, con la finalidad de determinar la influencia del hidróxido de calcio y la nanosílice en las propiedades físicas y mecánicas del suelo arcilloso.

Ensayo Proctor modificado

Según ASTM D1557 [43], el ensayo Proctor modificado se realizó con la finalidad de determinar la MDS y el OCH del suelo natural y de las mezclas estabilizadas. Estos parámetros permitieron evaluar la influencia del cemento, hidróxido de calcio y nanosílice en el comportamiento de compactación del suelo arcilloso.

Ensayo CBR

Según la Norma ASTM D1883 [44], el CBR se determinó en muestras compactadas al 95% y 100% de la máxima densidad seca. Este ensayo permitió evaluar la resistencia del suelo natural y estabilizado frente a esfuerzos de penetración, considerando su posible aplicación como material de subrasante en obras de infraestructura vial.

Ensayo de compresión no confinada

Según la Norma ASTM D2166 [45], la UCS se evaluó en el suelo natural y en la mezcla estabilizada de mejor desempeño. Las probetas fueron ensayadas a diferentes edades de curado, con el objetivo de analizar la evolución de la resistencia mecánica generada por la acción de los estabilizantes en la matriz arcillosa.

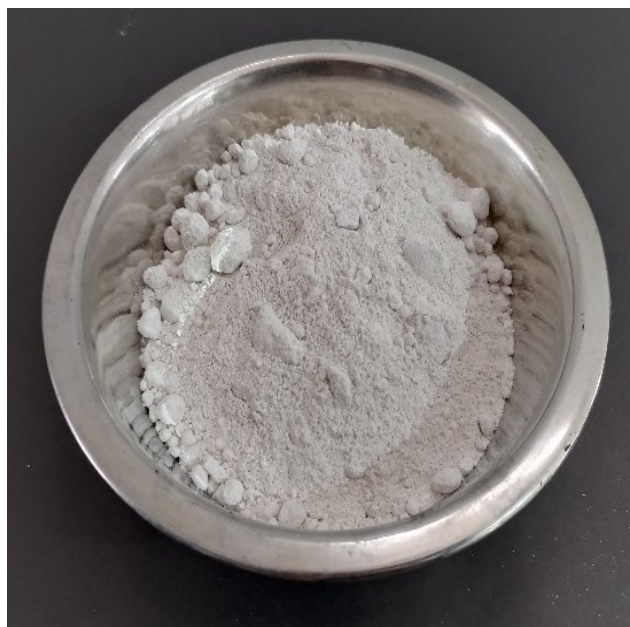
RESULTADOS

Propiedades físicas del hidróxido de calcio

El hidróxido de calcio empleado en este estudio como se muestra en la Figura 3 se caracterizó por presentar un aspecto de polvo blanco, seco e inodoro, con una alta finura, ya que el 98% de las partículas fueron menores a 90 micras, lo que favorece su dispersión en la matriz del suelo. Su densidad fue de 2.24 g/mL y la densidad a granel de 340 kg/m³, valores que indican una baja compactación del material en estado suelto. Asimismo, mostró una solubilidad de 1.6 g/L a 10 °C, comportamiento típico de este compuesto. En cuanto a su estabilidad térmica, la temperatura de descomposición fue de 580 °C, proceso en el cual se forma óxido de calcio y agua. Además, el pH de su solución saturada a 25 °C fue de 12.4, confirmando su carácter altamente alcalino.

Figura 3

Hidróxido de calcio utilizado en la investigación



Propiedades físicas y químicas del nanosílice

La nanosílice utilizada en la investigación como se muestra en la Figura 4 presentó una apariencia líquida, de color café claro, con una densidad de 1.03 ± 0.02 g/mL, características que evidencian su presentación como aditivo disperso y de fácil incorporación en la mezcla suelo-estabilizante. Esta condición favorece su distribución homogénea dentro de la matriz arcillosa, permitiendo una mejor interacción con las partículas del suelo y con los demás componentes empleados en el proceso de estabilización.

Figura 4

Nanosilice líquida (GAIA) en suspensión coloidal utilizada en la experimentación.

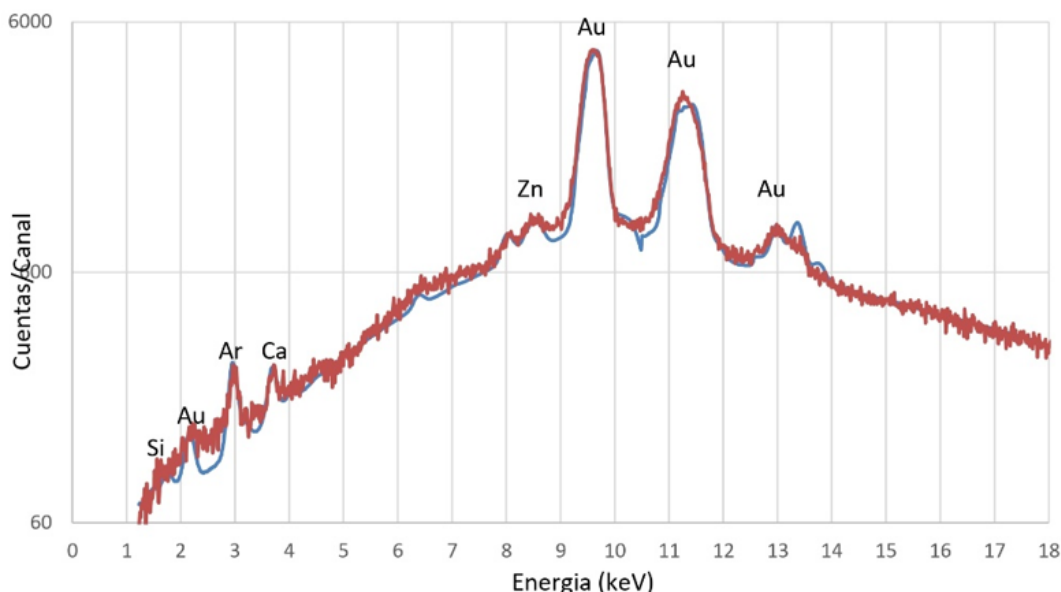


Nota: La imagen del aditivo líquido de consistencia coloidal y color café claro corresponde a la Nanosilice empleada para interactuar homogéneamente con la matriz del suelo.

El espectro de la Figura 4 evidenció la presencia predominante de silicio (Si), elemento característico de la nanosílice. Asimismo, se identificaron señales asociadas a calcio (Ca), zinc (Zn), argón (Ar) y oro (Au). La presencia de Au se atribuye al recubrimiento metálico utilizado durante la preparación de la muestra para el análisis instrumental, mientras que las señales adicionales pueden estar relacionadas con trazas del material analizado o con el procedimiento de medición. En conjunto, estos resultados confirman la naturaleza sílicea del aditivo empleado y respaldan su incorporación como material estabilizante en suelos arcillosos.

Figura 5

Espectro de FRXDE de una muestra de nanosílice en escala semilogarítmica. Incluye el pico de Ar del aire y los picos de rayos-X de Au primarios dispersados por la muestra. La curva en azul muestra el espectro simulado



Propiedades físicas y mecánicas del suelo natural y estabilizado

En la tabla 3 se muestra la variación de la máxima densidad seca (MDS) y del óptimo contenido de humedad (OCH) de los diseños de muestra. El suelo natural presentó una MDS de 1.856 g/cm³ y un OCH de 13.40%. Con la incorporación de hidróxido de calcio, la MDS disminuyó hasta 1.773 g/cm³ en la mezcla 9CH, equivalente a una reducción de 4.47% respecto al suelo natural; mientras que el OCH aumentó hasta 19.40%, representando un incremento de 44.78% respecto al suelo natural. Sin embargo, con la incorporación de nanosílice, la MDS aumentó hasta 1.896 g/cm³ en la mezcla 9CH:2NS, equivalente a un incremento de 2.16% respecto al suelo natural. Asimismo, las mezclas 9CH:5NS y 9CH:7NS alcanzaron valores de 1.889 g/cm³ y 1.872 g/cm³, representando incrementos de 1.78% y 0.86% respecto al suelo natural. En cuanto al OCH, las mezclas con nanosílice presentaron valores entre 14.60% y 16.20%, equivalentes a incrementos entre 8.96% y 20.90% respecto al suelo natural.

Tabla 3

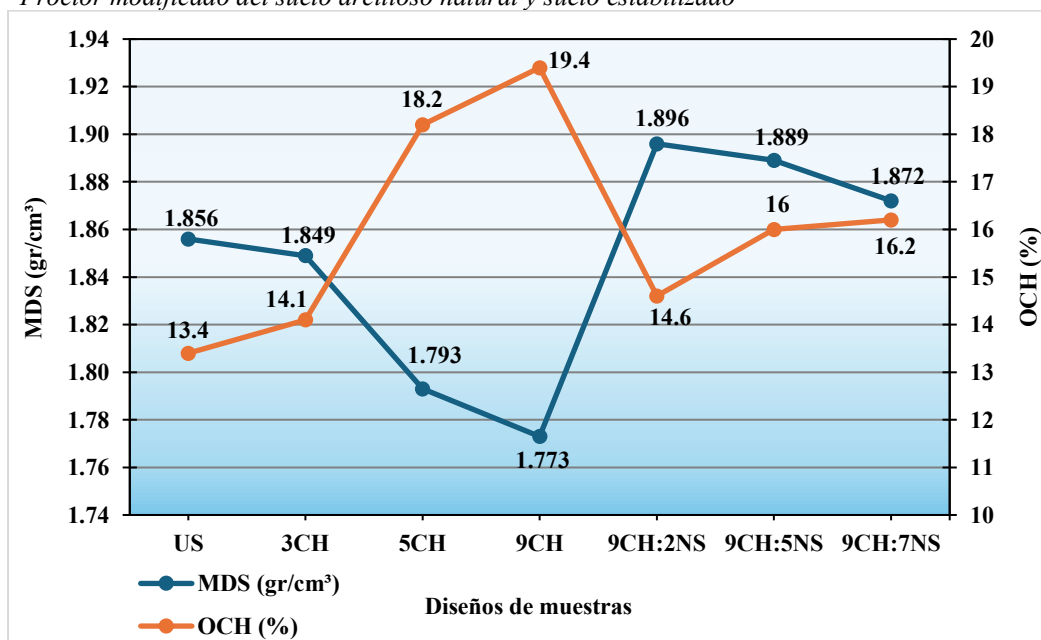
Resumen de propiedades mecánicas y ensayos normativos de la muestra estabilizada (Calicata C-02)

Tratamiento	MDS (g/cm ³)	OCH (%)	CBR al 95% MDS (%)	CBR al 100% MDS (%)	Expansión Máxima CBR (%)
US (Natural)	1.856	13.40	3.00	4.80	2.37
3CH	1.849	14.10	4.60	6.80	-
5CH	1.793	18.20	8.60	12.00	-
9CH	1.773	19.40	15.30	19.00	1.43
9CH:2NS	1.896	14.60	16.00	20.00	1.59
9CH:5NS (Óptimo)	1.889	16.00	17.70	21.50	1.38
9CH:7NS	1.872	16.20	14.40	17.00	1.60

Asimismo, se realizó un análisis estadístico ANOVA con la finalidad de establecer la existencia de diferencias significativas entre los valores de MDS y OCH. Para la MDS, se determinó que no existen diferencias significativas entre los diseños evaluados ($p=0.0621$; $F=2.6534$), mientras que para el OCH sí se evidenciaron diferencias significativas ($p=0.0021$; $F=6.3930$). La prueba de comparación de medias mostró que las mezclas 5CH y 9CH presentaron diferencias significativas respecto al suelo natural, mientras que las mezclas combinadas con nanosílice no presentaron diferencias significativas frente al US.

Figura 6

Proctor modificado del suelo arcilloso natural y suelo estabilizado

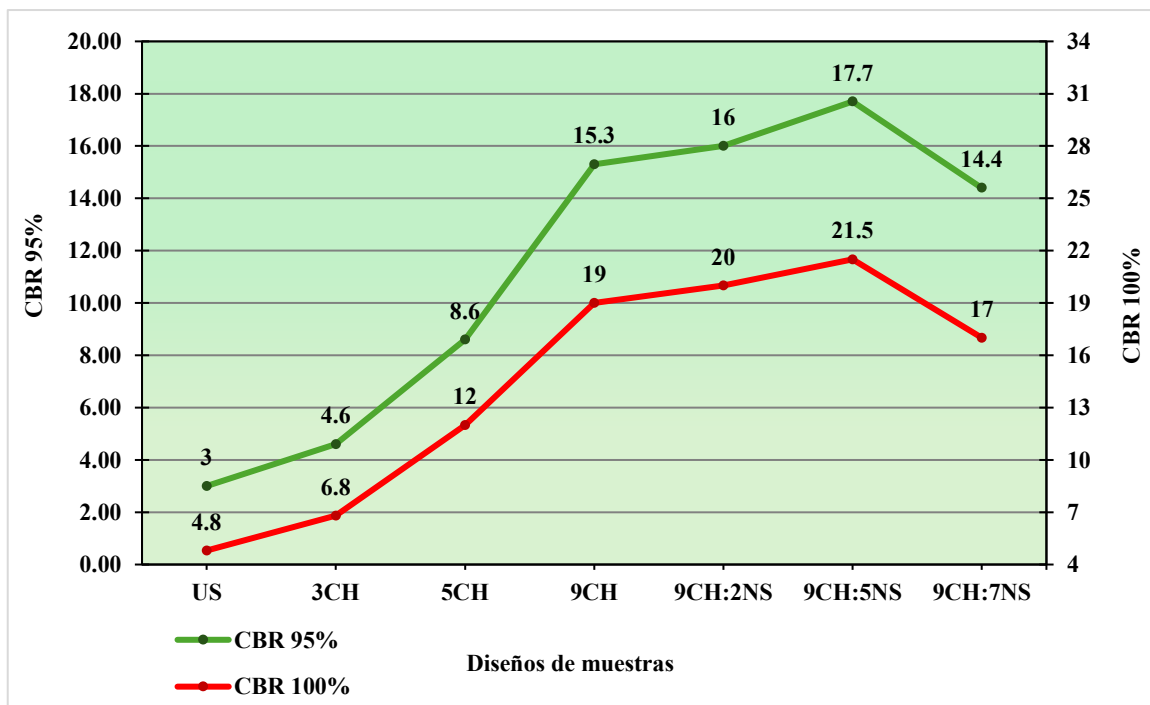


La Figura 6 muestra los valores de CBR al 95% y 100% de compactación de los diseños demuestra. El suelo natural presentó valores de 3.00% y 4.80%, respectivamente. Con la incorporación de 3CH, los valores aumentaron a 4.60% y 6.80%, equivalentes a incrementos de 53.33% y 41.67% respecto al suelo natural. Para la mezcla 5CH, el CBR alcanzó 8.60% al 95% y 12.00% al 100%, con incrementos de 186.67% y 150.00% respecto al suelo natural. Asimismo, la mezcla 9CH presentó valores de 15.30% y 19.00%, lo que representa incrementos de 410.00% y 295.83% respecto al suelo natural.

Con la incorporación de nanosílice, los mayores valores se obtuvieron en la mezcla 9CH:5NS, con 17.70% de CBR al 95% y 21.50% de CBR al 100%, equivalentes a incrementos de 490.00% y 347.92% respecto al suelo natural. Sin embargo, al aumentar la nanosílice a 7NS, los valores disminuyeron a 14.40% y 17.00%; no obstante, estos aún representaron incrementos de 380.00% y 254.17% respecto al suelo natural. El análisis ANOVA determinó diferencias significativas tanto para el CBR al 95% ($p=8.03E-11$; $F=104.8471$) como para el CBR al 100% ($p=3.89E-09$; $F=58.9683$). La comparación de medias evidenció que no hubo diferencias significativas entre US y 3CH, pero sí desde 5CH hasta las mezclas combinadas con nanosílice.

Figura 7

Índice de capacidad portante del suelo arcilloso natural y suelo estabilizado

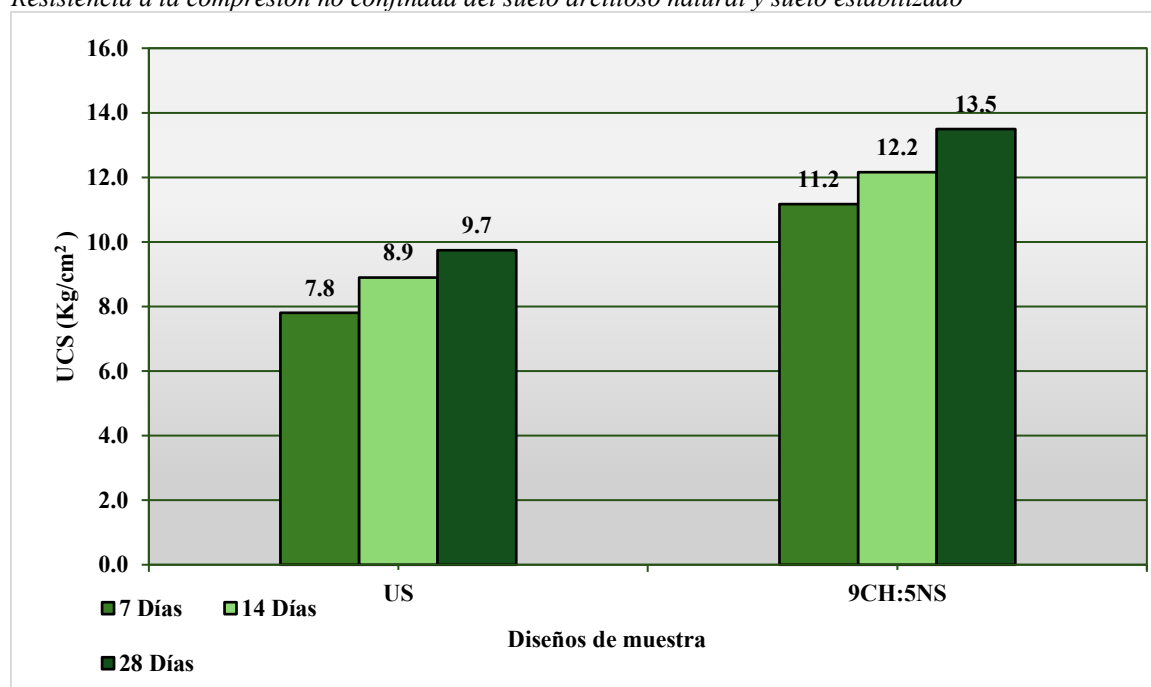


La Figura 7 muestra la resistencia a la compresión no confinada (UCS) del suelo natural y de la mezcla con mejor desempeño, correspondiente a 9CH:5NS. El suelo natural presentó valores de 7.80 kg/cm², 8.90 kg/cm² y 9.70 kg/cm² a los 7, 14 y 28 días, respectivamente. Por su parte, la mezcla 9CH:5NS alcanzó valores de 11.20 kg/cm², 12.20 kg/cm² y 13.50 kg/cm² para las mismas edades de curado. Estos resultados representan incrementos de 43.59%, 37.08% y 39.18% respecto al suelo natural, evidenciando una mejora progresiva de la resistencia mecánica del suelo arcilloso estabilizado.

Asimismo, se realizó un análisis estadístico ANOVA para determinar la existencia de diferencias significativas entre el suelo natural y la mezcla 9CH:5NS, determinándose que sí existen diferencias significativas en los valores de UCS ($p=8.15E-06$; $F=197.1071$). Estos resultados confirman que la combinación de hidróxido de calcio y nanosílice mejora significativamente la resistencia a la compresión no confinada, siendo la mezcla 9CH:5NS la de mejor desempeño mecánico entre los diseños evaluados.

Figura 8

Resistencia a la compresión no confinada del suelo arcilloso natural y suelo estabilizado



La Figura 8 muestra la resistencia a la compresión no confinada (UCS) del suelo natural y de la mezcla con mejor desempeño, correspondiente a 9CH:5NS. El suelo natural presentó valores de 7.80 kg/cm², 8.90 kg/cm² y 9.70 kg/cm² a los 7, 14 y 28 días, respectivamente. Por su parte, la mezcla 9CH:5NS alcanzó valores de 11.20 kg/cm², 12.20 kg/cm² y 13.50 kg/cm² para las mismas edades de curado. Estos resultados representan incrementos de 43.59%, 37.08% y 39.18% respecto al suelo natural, evidenciando una mejora progresiva de la resistencia mecánica del suelo arcilloso estabilizado.

y 39.18% respecto al suelo natural, evidenciando una mejora progresiva de la resistencia mecánica del suelo arcilloso estabilizado.

Asimismo, se realizó un análisis estadístico ANOVA para determinar la existencia de diferencias significativas entre el suelo natural y la mezcla 9CH:5NS, determinándose que sí existen diferencias significativas en los valores de UCS ($p=8.15E-06$; $F=197.1071$). Estos resultados confirman que la combinación de hidróxido de calcio y nanosílice mejora significativamente la resistencia a la compresión no confinada, siendo la mezcla 9CH:5NS la de mejor desempeño mecánico entre los diseños evaluados.

Ensayos de Resistencia Axial y Durabilidad Ambiental

El comportamiento mecánico a la rotura por compresión simple (UCS) y la durabilidad a largo plazo después de 5 ciclos severos de humedecimiento y secado evidenciaron un incremento sustancial en el desempeño de la mezcla óptima 9CH:5NS en comparación con el suelo natural patrón, tal como se tabula a continuación en la Tabla 4.

Tabla 4

Evolución de la resistencia mecánica UCS y durabilidad por ciclos ambientales

Condición de la Muestra	UCS - 7 días (kg/cm ²)	UCS - 14 días (kg/cm ²)	UCS - 28 días (kg/cm ²)	Resistencia Media Post-Ciclos (kg/cm ²)	Expansión Final Colapso (%)
Suelo Natural (US)	7.80	8.90	9.74	3.90	24.31
Mezcla Óptima (9CH:5NS)	11.17	12.17	13.50	7.37	16.79
Variación Porcentual (%)	+43.2%	+36.7%	+38.6%	+89.7%	-30.9%

DISCUSIÓN

Los resultados experimentales demuestran que la adición combinada de hidróxido de calcio y nanosílice coloidal modifica sustancialmente el comportamiento plástico, portante y estructural del suelo arcilloso crítico de Lambayeque (Calicata C-02). Al evaluar la variación plástica, se determinó que la dosificación de 9% de CH reduce el Índice de Plasticidad de 20% a 4%, lo cual representa una caída del 80% de la susceptibilidad plástica inicial. Este fenómeno se asocia directamente con la teoría de Babanas y Courcelles (2025), quienes argumentan que un medio fuertemente alcalino ($pH \geq 12.4$), provisto por el hidróxido de calcio, promueve la disolución inmediata de la sílice y la alúmina en las partículas de arcilla, activando reacciones de cementación a largo plazo.

En lo que respecta a las características de compactación, la reducción de la MDS inicial experimentada en las fases puras de cal (1.773 g/cm³ con 9CH) concuerda con lo reportado por

Tang et al. (2023) y Chavez et al. (2024), donde el intercambio catiónico genera aglomeraciones granulares que demandan mayor contenido de agua (incremento del OCH de 13.40% a 19.40%). No obstante, la adición posterior de un 5.00% de nanosílice (9CH:5NS) produce una ganancia de densificación seca hasta los 1.889g/cm³.

Esta tendencia favorable se atribuye al tamaño nanométrico y elevada superficie específica del aditivo líquido (coloidal), el cual actúa físicamente como un material de relleno en los vacíos intersticiales, optimizando la reorganización de la matriz compactada, en concordancia con los hallazgos mecánicos de Cao et al. (2023).

La capacidad de soporte en términos de CBR evidenció una respuesta óptima y equilibrada en la subrasante estabilizada con la mezcla 9CH:5NS, alcanzando valores de **17.70% y 21.50%** al 95% y 100% de compactación, superando con creces los rangos mínimos exigidos para infraestructuras viales regionales. El incremento de la capacidad portante en más de 490% en comparación con el suelo natural patrón valida la hipótesis de Chicaña (2022), quien demostró la alta eficiencia de las partículas nanométricas de sílice para acelerar de forma puzolánica la formación de geles estables de silicato de calcio hidratado (C-S-H).

Finalmente, las pruebas complementarias de compresión axial simple (UCS) y durabilidad corroboraron el desempeño estructural superior de la mezcla óptima frente a ciclos severos de humedecimiento-secado, logrando una retención de resistencia media de 7.37 kg/cm² (un incremento del 89.74% frente al control degradado de 3.90 kg/cm²) y limitando la expansión final por colapso unidimensional a un 16.79 % en comparación con el estructivo 24.31% del suelo arcilloso natural. Este comportamiento estable ante factores climáticos cíclicos es respaldado por las teorías microestructurales de Karimiazar et al. (2023) y Dhakal et al. (2024), validando el uso de este compuesto químico como una solución de ingeniería civil sostenible y duradera en la región.

CONCLUSIONES

El hidróxido de calcio presentó características físicas favorables para su empleo como estabilizante de suelos arcillosos, debido a su alta finura, adecuada dispersión y carácter altamente alcalino. Estas condiciones permiten generar un medio químico apropiado para el desarrollo de reacciones de estabilización dentro de la matriz del suelo.

La nanosílice evidenció condiciones adecuadas para su incorporación en mezclas suelo-estabilizante, principalmente por su presentación líquida, facilidad de dispersión y naturaleza silícea. Estas características respaldan su uso como aditivo complementario en presencia de

materiales cálcicos, favoreciendo su interacción con el hidróxido de calcio y las partículas arcillosas.

En cuanto al comportamiento de compactación, la combinación de hidróxido de calcio y nanosílice permitió mejorar la respuesta física del suelo estabilizado. La mezcla 9CH:5NS alcanzó una máxima densidad seca de 1.889 g/cm³ y un óptimo contenido de humedad de 16.00%, evidenciando una adecuada condición de compactación para el suelo tratado.

El índice de capacidad portante mostró una mejora significativa con la incorporación conjunta de ambos estabilizantes. La mezcla 9CH:5NS presentó el mejor desempeño, alcanzando valores de CBR de 17.70% al 95% de compactación y 21.50% al 100% de compactación, lo que confirma su eficiencia para incrementar la capacidad portante del suelo arcilloso.

La resistencia a la compresión no confinada confirmó la mejora mecánica del suelo estabilizado. La mezcla 9CH:5NS alcanzó una resistencia de 13.50 kg/cm² a los 28 días de curado, evidenciando el efecto favorable de la combinación de hidróxido de calcio y nanosílice en el desarrollo progresivo de resistencia.

Finalmente, se concluye que la dosificación 9CH:5NS constituye la alternativa de mejor desempeño para la estabilización del suelo arcilloso evaluado, debido a que mejoró las propiedades físicas y mecánicas del material. Su aplicación representa una opción técnica viable para el mejoramiento de suelos de subrasante en obras de infraestructura vial en Lambayeque.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTM D1557-12. (2021). *Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft³ (2,700 kN-m/m³))*.

<https://doi.org/10.1520/D1557-12R21>

ASTM D1883-14. (2022). *Método De Prueba Estándar Para La Relación De Carga De California (CBR) De Suelos Compactados En Laboratorio*. Normativa, . Retrieved from <https://webstore.ansi.org/standards/astm/astmd188314>

ASTM D2166-06. (2010). *Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil*. Informe Técnico. <https://doi.org/10.1520/D2166-06>

ASTM D2487-17. (2020). *Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)*. <https://doi.org/10.1520/D2487-17>

- ASTM D422-63. (2022). *Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils*. West Conshohocken: ASTM International.
- ASTM D4318. (2010). *Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils*. West Conshohocken: PA:ASTM International.
- ASTM E1621-94(1999). (2017). *Standard Guide for X-Ray Emission Spectrometric Analysis*. Informe Técnico. <https://doi.org/10.1520/E1621-94R99>
- Babanas, H., & Courcelles, B. (2025). Enhancing Lime Dosage Determination for Lean Clay Soil Improvement: Significance of Plasticity Limit and Interpretation Approach. *Geotechnics*, 5(1), 9. <https://doi.org/10.3390/geotechnics5010009>
- Bonilla Bances, K., Chávez Cotrina, C., Chávez Álvarez, S., Martínez Garay, G., & Arriola Carrasco, G. (2026). Propuesta de un nuevo material a base de fibra de coco para la utilización en la industria de la construcción. *Revista Científica Pakamuros*, 14(1), 4-18. <https://doi.org/10.37787/0qfkfv66>
- Cao, P., Ma, Q., Zha, M., Zhang, J., & Huo, Z. (2023). Study on the Modification of Silty Soil Sites Using Nanosilica and Methylsilicate. *Materials*, 16(16), 5646. <https://doi.org/10.3390/ma16165646>
- Chicaña, M. (2022). *Efectos de nanopartículas de sílice y hierro sobre la resistencia mecánica (relación de soporte californiana y resistencia a la compresión no confinada) de un suelo arcilloso estabilizado con hidróxido de calcio a nivel subrasante*. S.l.: Universidad Nacional de San Agustín.
- Diab, A., Allam, A., Rudayni, H., Abdelfadil, K., Arman, H., Al Zoubi, W., & Abukhadra, M. (2026). Clay nanostructures in geotechnical engineering: A critical review of mechanisms, performance, and sustainable soil stabilization. *Materials Today Sustainability*, 33, 101284. <https://doi.org/10.1016/j.mtsust.2025.101284>
- Diniz, B., Fedrigo, W., Kleinert, T., Batista, G., Núñez, W., Correa, B., & Brito, L. (2024). Lime Stabilization of Tropical Soil for Resilient Pavements: Mechanical, Microscopic, and Mineralogical Characteristics. *Materials*, 17(19), 4720. <https://doi.org/10.3390/ma17194720>

- Farjad, P., Mehairi, A., Meshkani, F., Mowlaei, R., Khoshnazar, R., & Nassar, N. (2025). Compressive strength and microstructural development of cement paste incorporating nanosilica with different particle sizes. *CEMENT*, 19, 100128. <https://doi.org/10.1016/j.cement.2025.100128>
- Khajeh, A., Jamshidi Chenari, R., Payan, M., & Molaabasi, H. (2023). Assessing the effect of lime-zeolite on geotechnical properties and microstructure of reconstituted clay used as a subgrade soil. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 132, 103501. <https://doi.org/10.1016/J.PCE.2023.103501>
- Novianto, D., & Rochman, T. (2023). The experimental procedures of sand and lime as base soil stabilization materials on the modified proctor values for flexible pavement construction. *MethodsX*, 11, 102473. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2023.102473>
- Poyraz, S. (2026). Mechanical properties of stabilized clay with lime, silica fume, and basalt fiber: A RSM approach. *Applied Clay Science*, 288, 108227. <https://doi.org/10.1016/J.CLAY.2026.108227>
- Praveen Kumar, V., & Dey, S. (2023). Study on strength and durability characteristics of nano-silica based blended concrete. *Hybrid Advances*, 2, 100011. <https://doi.org/10.1016/j.hybadv.2022.100011>
- Roshan, M., Rashid, A., Abdul Wahab, N., Tamassoki, S., Jusoh, S., Hezmi, M., . . . Azmi, M. (2022). Improved methods to prevent railway embankment failure and subgrade degradation: A review. *Transportation Geotechnics*, 37, 100834. <https://doi.org/10.1016/J.TRGEO.2022.100834>
- Safi, W., & Singh, S. (2022). Efficient & effective improvement and stabilization of clay soil with waste materials. *Materials Today: Proceedings*, 51, 947-955. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2021.06.333>
- Sudjianto, A., Vili, A., Suraji, A., Riman, R., & Susilo, S. (2025). The effect of adding quicklime on stabilization of expansive soils. *Technology audit and production reserves*, 2(3(82)), 12-17. <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2025.326784>

- Tang, K., Zeng, F., Shi, L., Zhu, L., Chen, Z., & Zhang, F. (2023). Mechanical Behavior of Hydrated-Lime–Liquid-Stabilizer-Treated Granular Lateritic Soils. *Sustainability*, *15*(6), 5601. <https://doi.org/10.3390/su15065601>
- Utkarsh, & Jain, P. (2024). Enhancing the properties of swelling soils with lime, fly ash, and expanded polystyrene -A review. *Heliyon*, *10*(12), e32908. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e32908>
- Waleed, M., & Alshawmar, F. (2025). Enhancing mechanical properties of low plasticity soil through coal and silica fume stabilization. *Scientific Reports*, *15*(1), 9990. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-94149-0>

ARTÍCULO ORIGINAL

Comportamiento físico y mecánico de mezclas asfálticas en caliente modificadas con fibras de bambú

Physical and mechanical behavior of hot mix asphalt modified with bamboo fibers

David Manayay ¹, Erick Rodríguez ², Luis Villegas ³ y Guillermo Arriola ⁴

RESUMEN

El desarrollo de pavimentos flexibles más eficientes y sostenibles con el medio ambiente ha impulsado la necesidad de investigar materiales alternativos de origen natural que sean capaces de mejorar el comportamiento de las mezclas asfálticas en caliente, destacando la fibra de bambú, debido a sus propiedades mecánicas y carácter renovable. La investigación tuvo por objetivo evaluar el comportamiento físico y mecánico de mezclas asfálticas en caliente modificadas con fibras de bambú, usando adiciones de 0.20%, 0.25%, 0.30%, 0.35% y 0.40%. La metodología fue del tipo aplicada y diseño experimental, para lo cual fue necesario elaborar 72 muestras cilíndricas, correspondientes a la muestra control y a los diferentes tratamientos con fibras, para establecer con los ensayos de laboratorio, las propiedades fisicomecánicas de la mezcla asfáltica. Los resultados evidenciaron variaciones en las propiedades volumétricas de las mezclas, con comportamientos diferenciados del peso específico, porcentaje de vacíos, porcentaje de vacíos en el agregado mineral y porcentaje de vacíos llenos con cemento asfáltico, según la dosificación de fibra empleada. En cuanto a las propiedades mecánicas, aumentaron hasta 0.30% de fibra, lográndose optimizar el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica estándar, pues el flujo, estabilidad y rigidez aumentaron en 5.96%, 11.92% y 5.46%, respectivamente. Por lo expuesto, la incorporación de fibras de bambú constituye una alternativa técnicamente viable, contribuyendo al Objetivo de Desarrollo Sostenible 12, relacionado con la producción y consumo responsable.

Palabras clave: Estabilidad, fibras de bambú, flujo, mezcla asfáltica

ABSTRACT

The development of more efficient and environmentally sustainable flexible pavements has driven the need to investigate alternative materials of natural origin that can improve the performance of hot mix asphalt, with bamboo fiber standing out due to its mechanical properties and renewable nature. This research aimed to evaluate the physical and mechanical behavior of hot mix asphalt modified with bamboo fibers, using additions of 0.20%, 0.25%, 0.30%, 0.35%, and 0.40%. The methodology was applied type and experimental design, requiring the preparation of 72 cylindrical samples, corresponding to the control sample and the different fiber treatments, to establish the physical and mechanical properties of the asphalt mixture through laboratory testing. The results showed variations in the volumetric properties of the mixtures, with differentiated behaviors in specific gravity, percentage of voids, percentage of voids in the mineral aggregate, and percentage of voids filled with asphalt cement, depending on the fiber dosage used. Regarding mechanical properties, these increased up to 0.30% fiber, optimizing the mechanical behavior of the standard asphalt mixture, as flow, stability, and stiffness increased by 5.96%, 11.92%, and 5.46%, respectively. Therefore, the incorporation of bamboo fibers constitutes a technically viable alternative, contributing to Sustainable Development Goal 12, related to responsible production and consumption.

Keywords: Stability, bamboo fiber, flow, asphalt mix

* Autor para correspondencia

¹ Universidad César Vallejo, Perú. Email: mmanayayca@ucvvirtual.edu.pe, erodriguezta11@ucvvirtual.edu.pe, vgranadoslm@ucvvirtual.edu.pe

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

INTRODUCCIÓN

Las mezclas asfálticas en caliente (HMA) siguen siendo el material más utilizado para la construcción de pavimentos flexibles debido a su adecuada capacidad estructural, facilidad constructiva y comportamiento frente a las cargas repetidas del tránsito (Naveed et al., 2022). Sin embargo, el incremento del volumen vehicular, las mayores cargas por eje y las variaciones climáticas han acelerado la aparición de patologías como ahuellamiento, fisuración por fatiga, fisuración térmica y daño por humedad, reduciendo la vida útil de los pavimentos y aumentando los costos de conservación (Yasir et al., 2025). En consecuencia, durante los últimos años las investigaciones se han orientado hacia el desarrollo de HMA modificadas, capaces de mejorar el comportamiento mecánico, manteniendo simultáneamente criterios de diseño a nivel técnico y sostenibilidad ambiental (Milad et al., 2022). Entre la diversidad de alternativas, destaca la incorporación de las fibras dentro de la matriz asfáltica, ya que estas actúan como elementos de soporte tridimensional, favoreciendo la distribución de esfuerzos, incrementando la cohesión interna de la mezcla y mejorando la adhesión entre el asfalto y los agregados minerales (Kou et al., 2025); asimismo, contribuyen a reducir el drenado del ligante durante la fabricación, limitando de esta manera, la propagación de microfisuras y aumentando la resistencia frente a deformaciones permanentes y procesos de fatiga (Guo et al., 2023).

Actualmente diferentes estudios están demostrando que el efecto reforzante que se genera, depende no sólo del tipo de fibra utilizada, sino también de sus propiedades físicas, longitud, proporción y método de incorporación durante el proceso de mezclado de la HMA (Hui et al., 2022). En este contexto, las fibras naturales han despertado un importante interés debido a que constituyen una alternativa renovable, biodegradable y de menor impacto ambiental respecto a las fibras sintéticas tradicionales (Wu et al., 2024). Entre la diversidad de fibras orgánicas destacan las provenientes de sisal, coco, yute, bagazo de caña y bambú, pues presentan una elevada disponibilidad en numerosos países tropicales, permitiendo aprovechar residuos agroforestales mediante estrategias de economía circular (Alnadish et al., 2023); además, estas fibras pueden incrementar las propiedades mecánicas, siendo su comportamiento comparable con una HMA tradicional. Dentro de este grupo, la fibra de bambú ha adquirido especial relevancia por su adecuada resistencia, alto contenido de celulosa, buena estabilidad térmica durante el proceso de mezclado y considerable capacidad de absorción del ligante (Jia et al., 2026). Así mismo, su superficie rugosa favorece la adherencia con el asfalto, generando una red interna que mejora la cohesión de la HMA y restringe el desplazamiento relativo de los

agregados, pues estudios recientes indican que la incorporación de fibra de bambú puede incrementar la estabilidad Marshall, mejorar la resistencia al daño por humedad y aumentar la resistencia al agrietamiento a bajas temperaturas (Xia et al., 2024); aunque un contenido excesivo superior al 1.00%, puede afectar negativamente la trabajabilidad, compactación y algunas propiedades volumétricas (Li et al., 2024).

A pesar de estos avances, la literatura científica evidencia que aún existen discrepancias respecto al contenido óptimo de fibra de bambú. Mientras algunos investigadores reportan mejoras significativas con contenidos cercanos a 0.30% respecto al peso total de la mezcla (Xie et al., 2023). Otros investigadores indican que incrementos superiores al 0.50% pueden ocasionar aglomeración de fibras, aumento del contenido de vacíos y disminución de la estabilidad estructural (Zheng et al., 2023). Estas diferencias están relacionadas con factores como la procedencia del bambú, el método de extracción de la fibra, sus dimensiones, el tipo de ligante asfáltico, la granulometría de los agregados y las condiciones de fabricación de la HMA (Li et al., 2023). En consecuencia, resulta necesario continuar evaluando experimentalmente el comportamiento físico y mecánico de las mezclas asfálticas modificadas bajo diferentes porcentajes de incorporación de fibra. Desde el punto de vista del diseño Marshall, el análisis conjunto de propiedades físicas, como el peso específico, porcentaje de vacíos, porcentaje de vacíos en el agregado mineral y porcentaje de vacíos llenos con cemento asfáltico, junto con los parámetros mecánicos, tales como el flujo, la estabilidad y la rigidez, constituyen una herramienta ampliamente aceptada para evaluar la calidad de una mezcla asfáltica, lo que garantizará un desempeño adecuado del pavimento flexible (Alnadish et al., 2023). Así mismo, la modificación mediante fibras naturales puede alterar favorablemente estas propiedades, aunque su efecto depende de la dosificación utilizada y de la interacción entre la fibra, asfalto y agregado, por ello se hace necesario evaluar el comportamiento de las fibras de bambú en una HMA (Jia et al., 2022).

En países con abundantes recursos de bambú y similares fibras, como Perú y América Latina, el aprovechamiento de este tipo de fibra representa una oportunidad para desarrollar pavimentos asfálticos más sostenibles, lo que permite reducir el uso de modificadores sintéticos y generar valor agregado a los recursos naturales de amplia disponibilidad (Castro et al., 2020). No obstante, todavía existe una limitada evidencia experimental que relacione directamente diferentes contenidos de fibra de bambú con las propiedades físicas y mecánicas de HMA

elaboradas mediante el método Marshall, particularmente bajo condiciones de materiales locales y condiciones climáticas específicas (Adrianzen et al., 2022).

Por lo expuesto, la presente investigación tiene como objetivo evaluar el comportamiento físico y mecánico de mezclas asfálticas en caliente modificadas con diferentes contenidos de fibra de bambú de 0.20%, 0.25%, 0.30%, 0.35% y 0.40%, comparándolas con una mezcla convencional, mediante el análisis de sus propiedades volumétricas y sus parámetros mecánicos. Los resultados permitirán identificar el contenido de fibra que proporciona el mejor equilibrio entre desempeño estructural y características volumétricas, aportando evidencia científica para promover el uso de materiales naturales renovables en la ingeniería de pavimentos.

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología fue del tipo aplicada y diseño experimental, para lo cual fue necesario elaborar 72 muestras cilíndricas, correspondientes a la muestra control y a los diferentes tratamientos con fibras de bambú, distribuidas en 12 especímenes por tratamiento, para establecer con los ensayos de laboratorio, las propiedades fisicomecánicas de la HMA. Así mismo, el diseño experimental contempló una mezcla patrón (TM-1) elaborada sin adición de fibra y cinco mezclas modificadas con contenidos de fibra de bambú de 0.20% (TM-2), 0.25% (TM-3), 0.30% (TM-4), 0.35% (TM-5) y 0.40% (TM-6), expresados como porcentaje respecto al peso total de la mezcla. Todas las probetas fueron sometidas al mismo procedimiento de preparación, acondicionamiento y compactación mediante el método Marshall en concordancia a las especificaciones de la norma ASTM D6926-20 y se mantuvieron constantes la composición granulométrica de los agregados y el contenido óptimo de cemento asfáltico. La Figura 1, sintetiza los procedimientos aplicados en la presente investigación.

Los materiales empleados estuvieron constituidos por agregados pétreos, cemento asfáltico y fibra natural de bambú, los cuales fueron obtenidos de la ciudad de Chiclayo, Región Lambayeque, Perú. Los agregados fueron seleccionados de canteras de la Región Lambayeque, conforme a los requisitos establecidos para una HMA. El ligante asfáltico utilizado correspondió al grado de penetración PEN 60/70, mientras que la fibra de bambú fue previamente acondicionada para asegurar una adecuada dispersión durante el proceso de mezclado y favorecer su interacción con la matriz asfáltica. Las normas empleadas para el control de calidad de los materiales en esta investigación se muestran en la Tabla 1.

El diseño de las mezclas se realizó mediante el método Marshall conforme a la norma ASTM D6926-20, ampliamente utilizado para la dosificación de mezclas, debido a su confiabilidad para evaluar las propiedades de la HMA. Es por ello que la mezcla asfáltica convencional fue empleada como referencia para comparar el comportamiento de las mezclas modificadas con fibra de bambú. Posteriormente, se elaboraron las diferentes dosificaciones incorporando progresivamente la fibra de bambú en los porcentajes indicados anteriormente, pero manteniendo constantes la granulometría de los agregados y el contenido óptimo de asfalto de 5.50%, que fue determinado en el diseño de referencia estándar. Cabe agregar que el contenido óptimo de cemento asfáltico de la mezcla patrón del 5.50%, determinado mediante el procedimiento de diseño Marshall, se mantuvo constante en todas las mezclas modificadas, con la finalidad de evaluar específicamente el efecto de la incorporación progresiva de fibra de bambú sobre el comportamiento de cada HMA. Así mismo, esta condición experimental permitió mantener constante la cantidad del ligante y la distribución de la granulometría, de modo que las variaciones observadas en las propiedades volumétricas y mecánicas pudieran asociarse principalmente a la incorporación y dosificación de la fibra.

En cuanto a la preparación de las diferentes mezclas asfálticas, este desarrollo consistió en el calentamiento independiente de los agregados y del cemento asfáltico hasta alcanzar la temperatura de mezclado correspondiente, cercana a los 155.00°C. Posteriormente, la fibra de bambú fue incorporada mediante mezcla en seco con los agregados calientes para favorecer su distribución homogénea, seguida de la adición del ligante asfáltico hasta obtener una mezcla uniforme. Finalmente, el material fue compactado utilizando el procedimiento Marshall, obteniéndose especímenes cilíndricos para la evaluación experimental.

Figura 1
Diagrama de flujo de procesos de la investigación



Tabla 1
Principales normas usadas para el control de calidad de los materiales usados en la investigación

Material	Ensayo	Norma	Especificación	Resultado
Agregado fino	Equivalente de arena	ASTM D2419-22	45% Min.	74.00%
	Angularidad	ASTM C1252-23	30% Min.	51.20%
	Valor de azul de metileno	AASHTO TP 330-22	8% Max.	7.35%
	Índice de plasticidad	ASTM D4318-17e1	NP	NP
	Índice de durabilidad	ASTM D3744/D3744M-18	35% Min.	56.30
	Adhesividad (Riedel Weber)	MTC E220	4% Min.	5.00%
	Sales solubles totales	ASTM D1888	0.50 Max.	0.09%
	Determinación de terrones de arcilla y partículas friables en agregados	ASTM C142/C142M-17(2023)	1% Max.	0.02%
	Durabilidad al magnesio	ASTM C88-99a	máximo 18%	8.10%
	Abrasión en la máquina de Los Ángeles	ASTM C131/C131M-20	máximo 35%	19.00%
Agregado grueso	Adherencia	AASHTO T 182-84	> 95	> 95
	Índice de durabilidad	ASTM D3744/D3744M-18	mínimo 35%	55.00%
	Partículas chatas y alargadas	ASTM D4791-19	máximo 10%	8.10%
	Caras fracturadas (1 cara)	ASTM D 5821-13	mínimo 85%	100%
	Caras fracturadas (2 caras)	ASTM D 5821-13	mínimo 75%	100%
	Sales solubles totales	ASTM D1888	máximo 0.50	0.06%
	Absorción	ASTM C127-24	máximo 1%	0.82%
	Penetración	ASTM D5/D5M-20	60 a 70	69.00

Asfalto PEN 60/70	Ductilidad	ASTM D113/D113M- 17(2023)	mínimo 100	>150
	Fluencia	ASTM D2170/D2170M-24	mínimo 200	540.00
	Solubilidad	ASTM D2042-22	mínimo 99	101.00
	Volatilidad	ASTM D92-18	mínimo 232	285.00
	Densidad	ASTM D70/D70M- 21	-	6.95
	Susceptibilidad térmica	ASTM D36/D36M- 14(2020)	máximo 54	52.00
		ASTM D2872-22	máximo 0.80	0.45
		ASTM D5/D5M-20	mínimo 52	65.00
		ASTM D113-17	mínimo 50	71.00

Las propiedades físicas analizadas, que en conformidad a la norma ASTM D6927-22, comprendieron el peso específico (PE), el porcentaje de vacíos de aire (%V), el porcentaje de vacíos en el agregado mineral (%VMA) y el porcentaje de vacíos llenos con cemento asfáltico (%VLLCA). Estas variables permitieron analizar la densificación de la mezcla, el equilibrio volumétrico y la capacidad del asfalto para ocupar los espacios internos de la composición granular, aspectos fundamentales para el comportamiento físico y mecánico del pavimento flexible.

En cuanto a las propiedades mecánicas, que en concordancia a lo señalado por la norma ASTM D6927-22, se determinaron el flujo (F), la estabilidad Marshall (E) y la relación estabilidad/flujo, conocida como la rigidez (R). El flujo representa la deformación experimentada por la mezcla antes de alcanzar la carga máxima, mientras que la estabilidad Marshall corresponde a la carga máxima soportada por la probeta durante el ensayo. La rigidez fue empleada como un indicador complementario del desempeño estructural y de la resistencia de la mezcla frente a deformaciones permanentes.

Posteriormente, los resultados obtenidos fueron organizados mediante una tabla y también representados gráficamente para facilitar el análisis comparativo entre las diferentes dosificaciones. Finalmente, se evaluó el efecto del contenido de fibra de bambú sobre cada uno de los parámetros de las propiedades físicas y mecánicas, identificando la dosificación que proporcionó el mejor equilibrio entre estabilidad, deformabilidad y comportamiento volumétrico de la mezcla asfáltica.

RESULTADOS

Los resultados del diseño de la HMA permitieron determinar las principales propiedades de este tipo de mezcla, cuyos parámetros representativos se muestran en la Tabla 2, tanto para la HMA estándar y para la HMA con los diferentes contenidos de fibras de bambú.

Respecto al peso específico, indicado en la Tabla 2, muestra que la incorporación de fibras de bambú generó ligeras variaciones en la densidad de la HMA, pues las mezclas con adiciones de 0.20%, 0.25% y 0.30% presentaron valores similares a la mezcla patrón (TM-1), revelando una influencia limitada de estas dosificaciones. En contraste, la mezcla con 0.40% de fibra (TM-6) alcanzó el mayor peso específico, posiblemente debido a una mejor distribución de agregados y ligante, además de una menor movilidad del asfalto durante la compactación. Por otro lado, la dosificación de 0.35% (TM-5) mostró menor densidad, asociada a una estructura más abierta.

En relación al %V la incorporación de fibras de bambú mostró un comportamiento variable en la HMA (Tabla 2). Las dosificaciones de 0.20% (TM-2) y 0.25% (TM-3) incrementaron moderadamente los vacíos, mientras que el tratamiento con 0.30% (TM-4) presentó el menor contenido, evidenciando una mejor compactación y distribución interna de los agregados. No obstante, al aumentar la fibra a 0.35% y 0.40%, los vacíos incrementaron nuevamente, alcanzando el mayor valor en el tratamiento TM-6. Este comportamiento podría atribuirse a que concentraciones elevadas de fibra dificultan la compactación y generan espacios adicionales en la estructura de la mezcla.

Tabla 2

Parámetros de las propiedades de las diferentes HMA

Parámetro de HMA	Unidad	Muestra					
		TM-1	TM-2	TM-3	TM-4	TM-5	TM-6
PE	gr/cm ³	2.344	2.327	2.332	2.337	2.306	2.365
%V	%	3.88	4.35	4.14	3.37	4.39	4.82
%VMA	%	8.87	8.41	8.26	6.80	9.38	7.55
%VLLCA	%	56.23	48.35	49.94	50.49	53.23	36.18
F	mm	3.69	3.72	3.84	3.91	3.44	3.09
E	Kg	1092.72	1114.57	1182.34	1222.96	1022.60	842.42
R	Kg/cm	2964.43	2993.49	3083.00	3126.39	2970.65	2726.27

Los resultados del %VMA, evidenciaron que la fibra de bambú modificó la estructura interna de la HMA, tal y como se indica en la Tabla 2, ya que las adiciones de 0.20% (TM-2) y 0.25% (TM-3) generaron ligeras reducciones respecto a la mezcla patrón (TM-1), mientras que el rango de 0.30% (TM-4) la HMA presentó la mayor disminución, asociada a una mejor interacción entre agregados y eficiencia granular. En contraste a estos hallazgos, el valor de 0.35% (TM-5) incrementó el %VMA debido a una mayor presencia de espacios internos. Finalmente, la dosis de 0.40% (TM-6) redujo nuevamente este parámetro, demostrando que el efecto de las fibras depende de su dosificación.

En relación al %VLLCA, la incorporación de fibras de bambú modificó el comportamiento físico de la HMA (Tabla 2), ya que las dosificaciones de 0.20% (TM-2), 0.25% (TM-3) y 0.30% (TM-4) redujeron ligeramente este parámetro. En contraste a ello, el tratamiento de 0.35% (TM-5) mostró una recuperación cercana a la mezcla patrón, evidenciando mayor retención del asfalto. Finalmente, la adición de 0.40% (TM-6) redujo nuevamente el %VLLCA debido al incremento de vacíos internos generado por el exceso de fibras.

En cuanto al flujo (Tabla 2), se evidencia que la fibra de bambú modificó la capacidad de deformación de las mezclas, pues en relación con la mezcla patrón (TM-1), los tratamientos de 0.20% (TM-2), 0.25% (TM-3) aumentaron y especialmente con la muestra de 0.30% (TM-4), se produjo un incremento de 5.96%. Este resultado indica que la mezcla adquirió una mayor capacidad de deformación antes de la falla, posiblemente generada por la capacidad de las fibras para distribuir los esfuerzos. Sin embargo, cuando el contenido de fibra aumentó a 0.35% (TM-5) y 0.40% (TM-6), el flujo disminuyó, siendo este último tratamiento el que presentó el menor valor. Esto sugiere que cantidades excesivas de fibra pueden generar una estructura más rígida y menos deformable.

Respecto a la estabilidad (Tabla 2), la incorporación de fibras de bambú mejoró la resistencia de la HMA hasta una dosificación óptima de 0.30%, alcanzando un aumento de 11.92%. Por otro lado, las mezclas con 0.20% (TM-2) y 0.25% (TM-3), también incrementaron progresivamente la estabilidad, debido al efecto de refuerzo de las fibras frente a cargas externas. Sin embargo, al aumentar la fibra a 0.35% (TM-5) y 0.40% (TM-6), la estabilidad disminuyó, posiblemente por una distribución inadecuada y la formación de zonas de concentración que reducen la cohesión de la mezcla.

La rigidez, presentó un comportamiento acorde con los resultados del ensayo Marshall (Tabla 2). Las dosificaciones de 0.20% (TM-2) y 0.25% (TM-3) generaron incrementos moderados, mientras que con la incorporación de 0.30% (TM-4) alcanzó el mayor valor, superando a la muestra estándar (TM-1) en 5.46%, evidenciando un equilibrio óptimo entre resistencia y deformación. Sin embargo, las mezclas con 0.35% (TM-5) y 0.40% (TM-6) mostraron reducciones, siendo esta última la de menor desempeño, por lo expuesto, este tipo de comportamiento sugiere que los contenidos elevados de fibra disminuyen la eficiencia mecánica de la HMA.

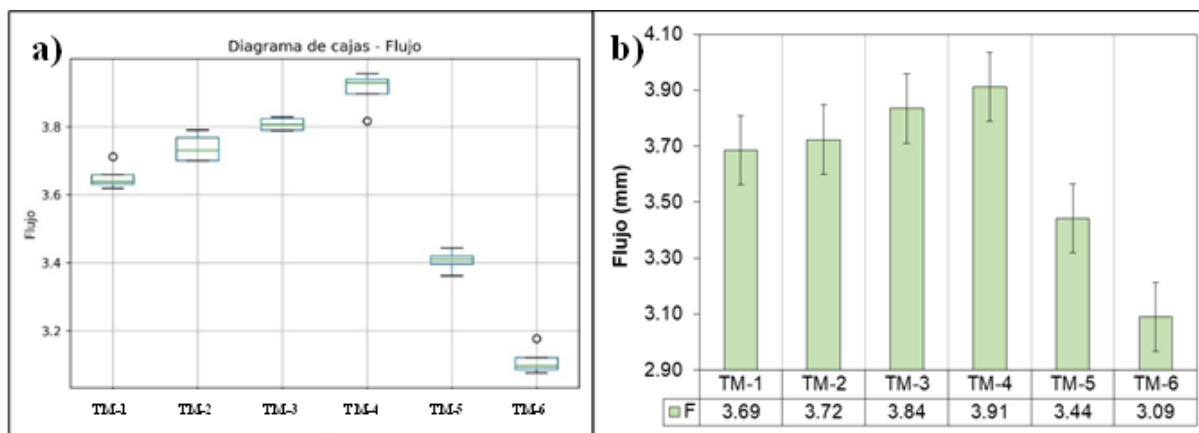
Análisis estadístico e interpretación

Complementarios a estos hallazgos, se realizó el análisis estadístico para los parámetros mecánicos, que permitió validar los hallazgos mediante un análisis de varianzas (ANOVA) y prueba de medias de Tukey.

En cuanto al parámetro flujo, el análisis ANOVA mostró diferencias significativas ($p = 7.36E-15 < 0.05$) entre las diferentes HMA estudiadas, tal y como se muestra en la Figura 2a y Figura 2b. Además, la prueba de medias de Tukey ubicó a las muestras TM-3 y la TM-4 dentro del grupo de mayores valores, con 3.84 mm y 3.91 mm, respectivamente. Mientras que el tratamiento TM-6 presentó el menor valor con 3.09 mm. Por tanto, la prueba de Tukey complementa los resultados del ANOVA al demostrar que determinadas dosificaciones de fibras de bambú generan mejoras significativas en el comportamiento de la mezcla asfáltica, asociada en este caso a la deformación de la HMA.

Figura 2

Parámetro flujo: (a) diagrama de cajas y (b) variación según el tipo de muestra

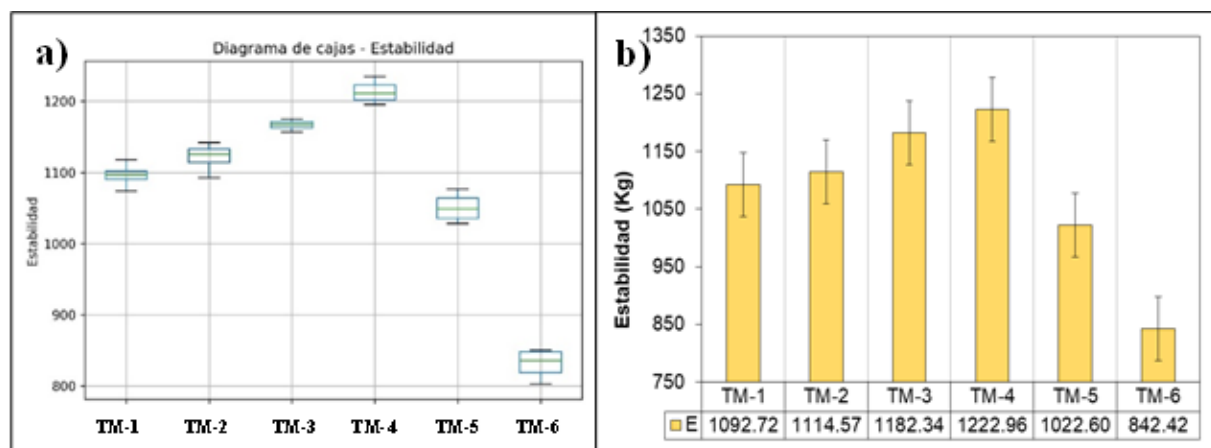


La estabilidad Marshall (Figura 3a y Figura 3b) fue uno de los parámetros mecánicos que presentó las diferencias más marcadas entre los diferentes tratamientos. El ANOVA evidenció una significancia estadística elevada ($p = 2.99E-15 < 0.05$), mientras que la prueba de Tukey identificó a TM-3 y TM-4 como los grupos de mayor desempeño mecánico, con valores promedio de 1182.34 Kg y 1222.96 Kg, respectivamente. En contraste, el tratamiento TM-6 registró la menor estabilidad con 842.42 Kg, diferenciándose claramente del resto de HMA. Desde el punto de vista estructural, la estabilidad Marshall constituye uno de los indicadores más importantes de la capacidad resistente de una mezcla asfáltica frente a las cargas de tránsito. Los resultados obtenidos indican que la dosis TM-4 presenta la mejor capacidad para soportar esfuerzos externos, pero sin experimentar deformaciones excesivas. La superioridad estadística observada mediante la prueba de medias de Tukey confirma que las diferencias registradas son

muy significativas, ya que destaca la TM-4 como la de mejor comportamiento mecánico para este parámetro evaluado.

Figura 3

Parámetro estabilidad: (a) diagrama de cajas y (b) variación según el tipo de muestra



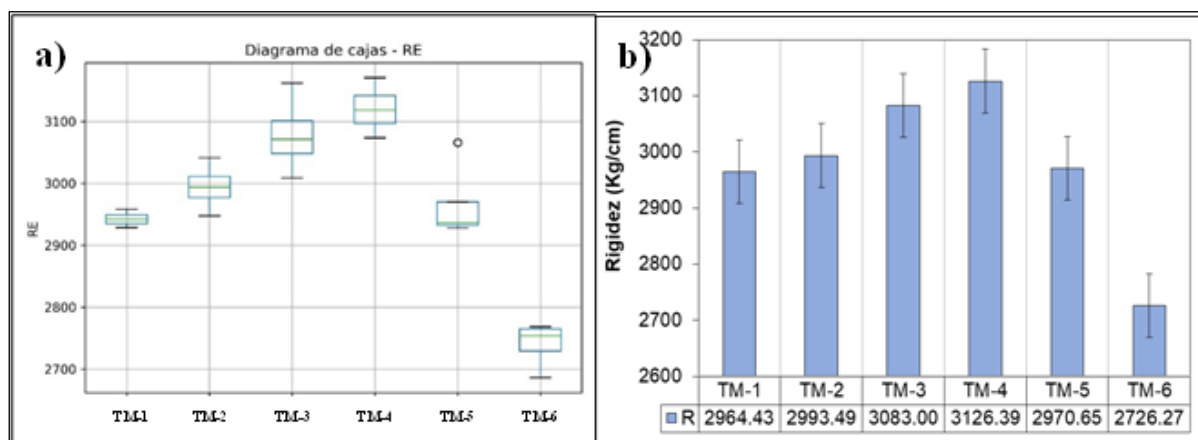
El análisis ANOVA de la rigidez (Figura 4a y Figura 4b) evidenció diferencias significativas entre las mezclas ($p = 2.40E-08 < 0.05$), por otro lado, la prueba de Tukey identificó a los tratamientos TM-3 y TM-4, como los rangos superiores, con valores de 3083.00 Kg/cm y 3126.39 Kg/cm, respectivamente; mientras que la muestra TM-6 presentó el menor valor, pues fue 2726.27 Kg/cm. Así mismo, estos hallazgos demuestran que las dosificaciones intermedias de fibra de bambú favorecieron una mayor rigidez, ubicándose en grupos estadísticos superiores. En contraste, contenidos elevados de fibra redujeron el desempeño. Esto confirma que una dosificación adecuada mejora la resistencia y deformación controlada de la mezcla asfáltica.

Considerando conjuntamente los hallazgos experimentales y los derivados del análisis ANOVA, junto con la prueba de Tukey, puede deducirse que las modificaciones generadas por la fibra de bambú en las diferentes HMA, produjeron cambios estadísticamente significativos en el comportamiento mecánico. En consecuencia, desde una perspectiva estadística y de desempeño, el tratamiento TM-4, puede considerarse la HMA más favorable dentro del conjunto de muestras analizadas. Así mismo, los resultados del ensayo Marshall evidencian que las dosificaciones intermedias de fibra favorecen los parámetros de estabilidad y rigidez bajo las condiciones específicas del ensayo. Sin embargo, estos hallazgos no permiten establecer directamente un incremento de la durabilidad frente a cargas repetidas, debido a que no se realizaron ensayos específicos de fatiga, ahuellamiento o desempeño dinámico. Por ello, los resultados deben interpretarse como evidencia del efecto de la fibra sobre la respuesta Marshall

de la mezcla, mientras que su influencia sobre el desempeño a largo plazo requiere ser validada mediante ensayos complementarios.

Figura 4

Parámetro rigidez: (a) diagrama de cajas y (b) variación según el tipo de muestra



DISCUSIÓN

Los resultados asociados a las propiedades volumétricas (PE, %V, %VMA y %VLLCA) demostraron que la incorporación de fibras de bambú, generó modificaciones en la estructura interna de las HMA. Se evidenció además que el %V presentó variaciones según la dosificación de fibra empleada, mientras que el %VMA y %VLLCA reflejaron cambios relacionados con la interacción entre las fibras, los agregados y la distribución del asfalto en cada tipo de HMA. Estos resultados presentan similitud con lo reportado por Shahnewaz et al. (2023), quienes señalaron que las fibras de origen natural, modifican la estructura de vacíos y favorecen la retención del asfalto, optimizando la estabilidad volumétrica de la mezcla asfáltica. Asimismo, Alnadish et al. (2023), indican que la fibra de bambú incrementa la capacidad de absorción y retención del asfalto, generando variaciones significativas en los parámetros volumétricos. De igual manera Xia et al. (2024), demostraron que estas fibras mejoran la interacción de los componentes de las HMA, mediante una mejor interacción entre los agregados y el asfalto. En consecuencia, las diferencias observadas en las propiedades volumétricas evidencian el efecto directo de la fibra de bambú sobre la configuración interna de la mezcla contribuyendo al desempeño y durabilidad potencial del pavimento flexible.

Respecto a las propiedades mecánicas, los resultados evidenciaron que la incorporación de fibra de bambú, modificó significativamente la resistencia y capacidad de deformación de las HMA, lo cual fue confirmado mediante el análisis ANOVA y la prueba de comparación múltiple de Tukey. Las mezclas con contenidos intermedios de fibra presentaron los mayores

valores de estabilidad y rigidez, ubicándose en los grupos estadísticamente superiores, mientras que las dosificaciones extremas mostraron menor desempeño. Este comportamiento indica que existe una proporción óptima de fibra capaz de mejorar la transferencia de esfuerzos dentro de la matriz asfáltica sin comprometer su uniformidad. Estos resultados coinciden con Xia et al. (2024), quienes señalaron que las fibras de bambú incrementan la resistencia a la fatiga mediante mecanismos de refuerzo interno. Asimismo Zhang et al. (2024), demostraron que las fibras de bambú mejoran la cohesión y resistencia del mortero asfáltico frente a deformaciones permanentes. De manera complementaria, Li et al. (2024), concluyeron que estas fibras favorecen el comportamiento frente al ahuellamiento, fatiga y envejecimiento de las mezclas asfálticas. Además Shahnewaz et al. (2023), reportaron incrementos en la estabilidad Marshall al incorporar fibras naturales en mezclas asfálticas.

Por lo expuesto, las diferencias observadas respecto de investigaciones previas pueden estar relacionadas con las características propias de la fibra de bambú empleada, particularmente su geometría, acondicionamiento y contenido de incorporación, así como con las características del asfalto y de los agregados utilizados. Adicionalmente, las condiciones de mezclado, compactación y distribución de la fibra pueden modificar su interacción con la matriz asfáltica y, por tanto, generar respuestas diferentes aun cuando se empleen porcentajes de fibra similares. En este sentido, los resultados obtenidos deben interpretarse considerando las condiciones específicas de los materiales y procedimientos empleados en la presente investigación. No obstante, los hallazgos del presente estudio y la evidencia científica internacional, respaldan que una adecuada dosificación de fibras de bambú contribuye a mejorar la resistencia mecánica de los pavimentos flexibles.

CONCLUSIONES

Se concluye que la incorporación de fibras de bambú en la HMA modificó el comportamiento físico de manera diferenciada, ya que los hallazgos evidenciaron variaciones en las propiedades volumétricas de las mezclas, con comportamientos diferenciados del peso específico, porcentaje de vacíos, porcentaje de vacíos en el agregado mineral y porcentaje de vacíos llenos con cemento asfáltico, según la dosificación de fibra empleada, lo que sugiere que la fibra de bambú al absorber parte del asfalto, logra alterar la distribución interna de la mezcla, viéndose afectada la estructura volumétrica de la HMA, pero sin comprometer el desempeño global de la misma.

Se concluye que la incorporación de fibra de bambú mejoró las propiedades mecánicas de la HMA hasta una dosificación óptima de 0.30%, logrando incrementos en el flujo, estabilidad y rigidez de 5.96%, 11.92% y 5.46%, respectivamente, respecto a la mezcla estándar, los cuales fueron validados mediante la prueba ANOVA y la prueba de medias de Tukey, evidenciando diferencias significativas entre los diferentes tratamientos y demostrando el efecto positivo de la fibra sobre el comportamiento mecánico de la HMA, a pesar de ello, contenidos superiores al 0.30% redujeron la eficiencia mecánica de la mezcla, a pesar de mantener el mismo contenido óptimo de asfalto.

Se concluye que el 0.30% de fibra de bambú permitió maximizar simultáneamente la estabilidad, el flujo y la rigidez de la HMA, por lo que esta proporción se recomienda como referencia para futuros diseños de mezclas y estudios de validación en campo a mayor escala, pues el uso de la fibra de bambú constituye una alternativa con potencial para el aprovechamiento de recursos naturales renovables dentro de la modificación de HMA. No obstante, debido a que la presente investigación no incluyó un análisis económico ni una evaluación ambiental cuantitativa, los posibles beneficios asociados con la reducción de costos, consumo de recursos, impacto ambiental o ciclo de vida, deben considerarse como aspectos potenciales que requieren ser demostrados mediante estudios específicos. En este sentido, el aprovechamiento de la fibra de bambú puede vincularse con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 12, particularmente desde la perspectiva del uso y valorización responsable de recursos.

Entre las principales limitaciones del estudio se encuentra la evaluación del comportamiento de las mezclas exclusivamente mediante parámetros Marshall y propiedades volumétricas, sin incorporar ensayos específicos de fatiga, ahuellamiento, susceptibilidad al daño por humedad o envejecimiento. Asimismo, los especímenes fueron elaborados y evaluados bajo condiciones controladas de laboratorio, por lo que los resultados no pueden extrapolarse directamente al comportamiento de un pavimento a escala real. En consecuencia, futuras investigaciones deberían complementar estos resultados mediante ensayos de desempeño y validaciones a escala piloto o de campo, además de evaluar la influencia del envejecimiento y de diferentes condiciones ambientales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Adrianzen, O., Azula, J., Pacherrres, C., Rodriguez, E., & Muñoz, S. (2022). Uso de distintos tipos de fibras para mejorar las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica: Una

- revisión literaria. *Infraestructura Vial*, 24(43), 1-16.
<https://doi.org/10.15517/iv.v24i43.47931>
- Alnadish, A., Singh, N., & Alawag, A. (2023). Applications of synthetic, natural, and waste fibers in asphalt mixtures: A citation-based review. *Polymers*, 15(4).
<https://doi.org/10.3390/polym15041004>
- Castro, H., Romero, B., Vásquez, C., & Arriola, G. (2020). Influencia de la cáscara y fibra de coco en mezclas asfálticas en caliente. *Revista Ingeniería: Ciencia, Tecnología e Innovación*, 7(2), 176-190. <https://doi.org/10.26495/icti.v7i2.1506>
- Guo, Y., Tataranni, P., & Sangiorgi, C. (2023). The use of fibres in asphalt mixtures: A state of the art review. *Construction and Building Materials*, 390.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131754>
- Hui, Y., Men, G., Xiao, P., Tang, Q., Han, F., Kang, A., & Wu, Z. (2022). Recent advances in basalt fiber reinforced asphalt mixture for pavement applications. *Materials*, 15(19).
<https://doi.org/10.3390/ma15196826>
- Jia, H., Chen, H., Sheng, Y., Meng, J., Cui, S., Kim, Y. R., Huang, S., & Qin, H. (2022). Effect of laboratory aging on the stiffness and fatigue cracking of asphalt mixture containing bamboo fiber. *Journal of Cleaner Production*, 333.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130120>
- Jia, H., Gao, X., Zhang, Y., Meng, X., Huang, X., Wang, K., Chen, L., Hu, P., & Sheng, Y. (2026). A State of the art review on the use of natural fibers in asphalt mixtures. *Materials*, 19(4). <https://doi.org/10.3390/ma19040756>
- Kou, C., Xu, S., Sun, J., Wang, D., Chen, Z., & Kang, A. (2025). Pavement performance and mechanism of asphalt mixtures reinforced with different diameters of basalt fibers for the surface layer. *Coatings*, 15(10). <https://doi.org/10.3390/coatings15101153>
- Li, H., Liu, S., Yang, F., He, S., Jing, H., Zou, X., Li, Z., & Sheng, Y. (2024). Review of utilization of bamboo fiber in asphalt modification: Insights into preparation, performance, reinforcement, and challenges. *Journal of Cleaner Production*, 468.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.143010>

- Li, J., Yang, L., He, L., Guo, R., Li, X., Chen, Y., Muhammad, Y., & Liu, Y. (2023). Research progresses of fibers in asphalt and cement materials: A review. *Journal of Road Engineering*, 3(1), 35-70. <https://doi.org/10.1016/j.jreng.2022.09.002>
- Milad, A., Babalghaith, A., Al-Sabaei, A., Dulaimi, A., Ali, A., Reddy, S., Bilema, M., & Yusoff, N. (2022). A comparative review of hot and warm mix asphalt technologies from environmental and economic perspectives: Towards a sustainable asphalt pavement. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(22). <https://doi.org/10.3390/ijerph192214863>
- Naveed, M., Raza, M., & Mehmood, R. (2022). Performance analyses of conventional hot mix asphalt with waste additives. *Case Studies in Construction Materials*, 16. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00850>
- Shahnewaz, S., Masri, K., Ahmad, N., Putra, R., Siew, C., Giannakopoulou, P., Rogkala, A., Lampropoulou, P., & Petrounias, P. (2023). Porous asphalt mixtures enriched with bamboo fibers as a new approach for future sustainable construction. *Construction and Building Materials*, 407. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.133456>
- Wu, J., Zhao, Z., Jiang, C., Yang, Y., Sun, Z., Yuang, J., & Xiao, F. (2024). Recent development and application of natural fiber in asphalt pavement. *Journal of Cleaner Production*, 449. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141832>
- Xia, C., Xu, M., Li, Q., Liu, K., & Jiang, K. (2024). Study on the freeze–thaw cycle durability of bamboo fiber asphalt mixture. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 17(3), 535-548. <https://doi.org/10.1007/s42947-022-00254-y>
- Xie, T., Ren, W., Chen, Y., Sheng, J., & Wang, L. (2023). Enhancing the performance of asphalt mastic with natural fiber reinforcement: Basalt and bamboo fibers. *Applied Sciences*, 13(13). <https://doi.org/10.3390/app13137946>
- Yasir, M., Khattak, N., Khan, I., & Hoy, M. (2025). Performance evaluation of HDPE-Bakelite Dual-Modified asphalt mixtures for sustainable pavements. *Polymers*, 17(22). <https://doi.org/10.3390/polym17223065>

Zhang, N., Wang, X., Sun, P., Zheng, N., & Sun, A. (2024). Performance of bamboo bark fiber asphalt mortar modified with Surface-Grafted Nano-SiO₂. *Polymers*, 16(19). <https://doi.org/10.3390/polym16192850>

Zheng, X., Liu, Z., Fu, T., Easa, S., Liu, W., & Qiu, R. (2023). Performance enhancement of asphalt mixtures enabled by bamboo fibers and acrylated epoxidized soybean oil. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 11(15), 5867-5875. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.2c06764>

ARTÍCULO DE REVISIÓN
**Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones mediante métodos
 experimentales, computacionales y teóricos: Una revisión sistemática**

Evaluation of the seismic vulnerability of buildings using experimental, computational and
 theoretical methods: A systematic review

Jean Diaz ¹, Segundo Cruz ², Doris Nuñez ³ y José Piedra ⁴

RESUMEN

La vulnerabilidad sísmica de las edificaciones es un factor crítico en la gestión del riesgo de desastres, especialmente en zonas de alta sismicidad como la provincia de Jaén (Perú). Esta revisión sistemática tuvo como objetivo determinar el nivel de vulnerabilidad (bajo, medio, alto) reportado por métodos experimentales, computacionales y teóricos en 31 estudios publicados entre 2021 y 2026. Los métodos experimentales reportaron vulnerabilidad muy alta en mampostería no reforzada, alta en hormigón armado deficiente y muros de corte con falla fuera del plano. Los computacionales clasificaron vulnerabilidad alta para edificios pre-código (anteriores a 1985) y media para los de código moderno, con precisiones superiores al 99% usando redes neuronales. Los teóricos cuantificaron PGA de colapso entre 0.15g y 0.86g, con vulnerabilidad alta para puentes de pilas altas y mampostería no reforzada, y media para hormigón armado bien diseñado. Los tres enfoques convergen en que edificaciones antiguas, hormigón armado deficiente y mampostería no reforzada presentan vulnerabilidad media a alta. Se concluye que la mayoría de las tipologías evaluadas tienen vulnerabilidad media-alta, destacando la mampostería no reforzada como la más crítica. Los métodos híbridos se perfilan como la vía más prometedora para evaluaciones precisas y contextualizadas en Jaén.

Palabras clave: Evaluación de vulnerabilidad; mampostería; métodos experimentales; métodos computacionales; métodos teóricos.

ABSTRACT

The seismic vulnerability of buildings is a critical factor in disaster risk management, especially in highly seismic areas such as the province of Jaén (Peru). This systematic review aimed to determine the level of vulnerability (low, medium, high) reported by experimental, computational, and theoretical methods in 31 studies published between 2021 and 2026. Experimental methods reported very high vulnerability in unreinforced masonry, high vulnerability in substandard reinforced concrete, and high vulnerability in shear walls with out-of-plane failure. Computational methods classified vulnerability as high for pre-code buildings (built before 1985) and medium for those built to modern codes, with accuracies exceeding 99% using neural networks. Theoretical analyses quantified the peak ground acceleration (PGA) at collapse between 0.15g and 0.86g, with high vulnerability for bridges with high piers and unreinforced masonry, and medium vulnerability for well-designed reinforced concrete. The three approaches agree that older buildings, substandard reinforced concrete, and unreinforced masonry exhibit medium to high vulnerability. It is concluded that most of the building types evaluated have medium-to-high vulnerability, with unreinforced masonry standing out as the most critical. Hybrid methods are emerging as the most promising approach for accurate and context-specific assessments in Jaén.

Keywords: vulnerability assessment; masonry; experimental methods; computational methods; theoretical methods.

* Autor para correspondencia

¹ Universidad Nacional de Jaén, Perú. Email: jean.diaz@est.unj.edu.pe, segundo.cruz@est.unj.edu.pe, doris.nunez@est.unj.edu.pe, jpiedrat@unj.edu.pe

INTRODUCCIÓN

Los terremotos representan una de las amenazas naturales más devastadoras a nivel global. El 6 de febrero de 2023, dos sismos de magnitud 7.8 y 7.5 sacudieron Turquía y Siria, causando más de 50,000 muertes y pérdidas superiores a 100 mil millones de dólares (Akar et al., 2024). Lo más alarmante fue el patrón de colapsos: edificios construidos bajo normativa sísmica moderna colapsaron, mientras que algunas estructuras antiguas se mantuvieron en pie. Este escenario evidencia que el riesgo sísmico no depende exclusivamente de la amenaza natural, sino fundamentalmente de la vulnerabilidad del parque edificado, definida como la propensión de una estructura a sufrir daños ante una sollicitación sísmica (Rajkumari et al., 2022).

La vulnerabilidad sísmica está determinada por múltiples factores: tipología estructural, calidad de los materiales, antigüedad —y por tanto, el código sísmico bajo el cual fue diseñada—, así como su estado de conservación (Skalomenos et al., 2025; Akar et al., 2024). En regiones de alta sismicidad como el norte de Perú, donde la provincia de Jaén (Cajamarca) se encuentra en zona de interacción de placas tectónicas, la evaluación precisa de esta vulnerabilidad es una necesidad imperiosa para la gestión del riesgo de desastres y la planificación urbana.

Para abordar esta tarea, la comunidad científica ha desarrollado tres grandes familias de métodos. Los experimentales (ensayos in situ y laboratorio) proporcionan evidencia directa del comportamiento real. Los computacionales (inteligencia artificial, redes neuronales, Random Forest, XGBoost) permiten procesar grandes volúmenes de datos y generar predicciones a escala urbana (Aloisio et al., 2024; Harirchian & Novelli, 2025). Los teóricos (modelos mecánicos, curvas de fragilidad) cuantifican la probabilidad de daño ante diferentes sollicitaciones sísmicas (Chen et al., 2022; Liguori et al., 2023). Sin embargo, la heterogeneidad de estos enfoques genera un desafío: cada método reporta la vulnerabilidad de manera diferente (cualitativa o cuantitativamente), dificultando la comparación directa de resultados.

La literatura reciente ha reportado avances significativos. Akar et al. (2024) y Cheng et al. (2023) documentaron experimentalmente el comportamiento de mampostería y muros de corte. Aloisio et al. (2024) y Harirchian y Novelli (2025) aplicaron métodos computacionales con precisiones >99%. Chen et al. (2022) y Skalomenos et al. (2025) desarrollaron modelos teóricos y el simulador YouSimulator. A nivel nacional, Sulca Huamán y Delgadillo (2022) en

Ayacucho, Jahuin Bonifacio (2024) y Miura et al. (2023) en Lima han abordado la vulnerabilidad, pero existen vacíos en el norte del país, como Jaén.

Esta revisión sistemática se justifica por la necesidad de sintetizar y comparar críticamente los hallazgos de los tres enfoques. El alcance abarca publicaciones indexadas entre 2021 y 2026, con aplicación a casos reales o validación numérica/experimental, incluyendo hormigón armado, mampostería, adobe y puentes. Las limitaciones incluyen el tamaño muestral de 31 artículos y la heterogeneidad metodológica.

El objetivo fue responder: ¿qué nivel de vulnerabilidad sísmica (bajo, medio, alto) reportan los métodos experimentales, computacionales y teóricos en los estudios publicados entre 2021 y 2026? Adicionalmente, se buscó identificar convergencias, tendencias actuales y fortalezas/limitaciones de cada método, con especial énfasis en la aplicabilidad a la provincia de Jaén (Perú).

MATERIALES Y MÉTODOS

A) Diseño de la revisión

Se realizó una revisión sistemática cualitativa, permitiendo sintetizar la evidencia disponible sobre vulnerabilidad sísmica mediante un análisis narrativo e interpretativo.

B) Estrategia de búsqueda

La búsqueda bibliográfica se realizó entre enero y marzo de 2026, considerando publicaciones indexadas entre enero de 2021 y marzo de 2026 en Scopus, Web of Science, Google Scholar y repositorios peruanos (ALICIA, Cybertesis).

C) Criterios de selección

Se incluyeron estudios que cumplieran: (a) aplicación a casos reales o validación numérica/experimental, (b) variedad tipológica (hormigón armado, mampostería, adobe, puentes), (c) uso de al menos un método de evaluación (experimental, computacional o teórico), (d) reporte explícito de vulnerabilidad (cualitativa o cuantitativa) y (e) publicados en inglés o español. Se excluyeron estudios puramente teóricos sin validación, artículos de conferencia sin arbitraje riguroso y publicaciones anteriores a 2021.

La selección se realizó en tres fases: (1) identificación de registros, (2) tamizado por título/resumen, y (3) evaluación de texto completo. Cada fase fue realizada por dos autores independientes, resolviendo discrepancias por consenso con un tercer autor.

D) Clasificación de los estudios

Los 31 estudios seleccionados se clasificaron en tres grupos:

Métodos experimentales: ensayos in situ (MASW, microtemores, refracción sísmica), ensayos de laboratorio (carga cíclica) e inspecciones post-sismo.

Métodos computacionales: redes neuronales (ANN), Random Forest, XGBoost, LSTM, SVM, k-NN, Naive Bayes, Decision Trees, Ensemble, Gaussian Process, CNNs, ConvCNP, SOM y clustering.

Métodos teóricos: modelos mecánicos, curvas de fragilidad, superficies de fragilidad vectoriales, funciones de vulnerabilidad y modelos híbridos (YouSimulator).

E) Extracción y estandarización de datos

De cada estudio se extrajo: tipo de edificación, método utilizado, país y nivel de vulnerabilidad reportado. Para garantizar comparabilidad, se estandarizó la variable "vulnerabilidad" mediante umbrales: $PGA < 0.2g$ = baja; $0.2g \leq PGA \leq 0.5g$ = media; $PGA > 0.5g$ = alta. Este proceso fue realizado por dos autores independientes.

F) Análisis de la información

Se empleó un enfoque de síntesis narrativa con cuatro etapas: (1) codificación inicial de datos clave, (2) análisis temático por tipo de método y tipología estructural, (3) comparación constante para identificar convergencias y divergencias, e (4) interpretación integradora de los patrones identificados.

G) Síntesis de resultados

Los resultados se sintetizaron en una tabla única que permite comparar directamente el nivel de vulnerabilidad obtenido por cada método, complementada con una figura de barras

RESULTADOS

La Tabla 1 presenta el nivel de vulnerabilidad reportado por cada uno de los 30 estudios, ordenados por tipo de método.

Tabla 1

Nivel de vulnerabilidad sísmica reportado por 30 estudios (2021-2026), según tipo de método

Nº	Autor	Método	Tipología estructural	Vulnerabilidad reportada
Métodos experimentales				
1	Akar et al. (2024)	Empírico post sismo	Mampostería no reforzada	Muy alta
			HA con columnas cortas/pisos blandos	Alta
			Muros de corte HA	Alta
2	Cheng et al. (2023)	Experimental (carga cíclica)	Uniones HA autocentrantes	Baja
3	Wu et al. (2023)	Experimental (cíclico)		

4	Díaz García & Farfán Córdova (2025)	Experimental (MASW, microtremores)	Periodos vibración suelo	Media-alta
5	Yadim et al. (2026)	Empírico + teórico	HA deficiente (Turquía)	Alta
Métodos computacionales				
6	Aloisio et al. (2024)	Computacional (ANN)	HA pre-código (Italia) HA código moderno (Italia)	Alta Media
7	Ramírez Eudave et al. (2023)	Computacional (SIG, Python)	Mampostería histórica (México)	Media-alta
8	Harirchian & Novelli (2025)	Computacional (Transformer, XGBoost, LSTM, KNN, DT)	Mampostería no ingenieril (646 muros, Malawi)	Alta
9	Ferranti et al. (2024)	Computacional (Random Forest, ANN)	Variada (mampostería, HA, etc. - L'Aquila, Italia)	Media-Alta
10	Bingjian et al. (2025)	Computacional (LSTM, XGBoost, LightGBM, CatBoost, AdaBoost, ARIMA)	Pilas de HA inclinadas (puentes de montaña)	Alta (incrementos de inclinación $\geq 1.2^\circ$ generan transición abrupta a estados vulnerables)
11	Jahuin Bonifacio (2024)	Computacional (redes neuronales)	Pórticos CA (Ayacucho, Perú)	Media
12	Shekhar et al. (2024)	Computacional	Pórticos HA baja ductilidad (EE. UU.)	Alta
13	Suhaiza Sauti et al. (2021)	Computacional (redes híbridas)	Mapeo vulnerabilidad (Irán)	Media-alta
14	Fornasari (2024)	Computacional (CNNs, ConvCNP)	Mapas agitación suelo (Italia)	Media
15	Mori et al. (2022)	Computacional (Gaussian Process)	Mapas movimiento suelo (Italia)	Media
16	Doğan et al. (2025)	Computacional (SVM, k-NN, Naive Bayes, DT, Ensemble) + GIS	Zonas urbanas (28 zonas, Izmir, Turquía)	Alta (identificación de áreas de alto riesgo para planificación urbana y mitigación)
17	Muksin et al. (2023)	Computacional (SOM, clustering)	Clasificación rocas y suelo (Java)	Media-alta
18	Wang et al. (2023)	Computacional (RF, XGBoost)	Amplificación suelo (Japón)	Media
19	Qadri & Malik (2021)	Computacional (clustering)	Microzonificación (Pakistán)	Media-alta
20	Zhang et al. (2022)	Computacional (ML)	Propiedades del suelo	Media
Métodos teóricos				
21	Skalomenos et al. (2025)	Teórico (MDOF) + computacional	HA pre-código (Grecia, 96.3%)	Alta
22	Ferretti et al. (2024)	Teórico (mecánico simplificado)	HA (escolares Italia) Mampostería (escolares Italia)	Media Media-alta

2	Chen et al.	Teórico (superficies	Puentes HA pilas	Alta (PGA 0.15-0.6g)
3	(2022)	fragilidad)	altas	
2	Liguori et al.	Teórico (mecánico)	Mampostería no	Alta
4	(2023)		reforzada (Italia)	
2	Sánchez		Adobe muros	Baja (PGA 0.86g)
5	Calvillo et al.	Teórico (SAVVAS)	gruesos (Ario de	
	(2025)		Rosales)	
			Adobe tipología	Media-alta (PGA 0.4g)
			común	
2	Sulca Huaman	Teórico (funciones	Edificaciones	Alta (61% daño fuerte/severo)
6	& Delgadillo	vulnerabilidad)	(Ayacucho, Perú)	
2	Ayala (2022)			
2	Durán Sánchez	Teórico (capacidad-demanda)	Municipal	Media
7	& Durán		(Ecuador)	
	Sánchez (2024)			
2	Rajkumari et al.	Revisión	Estructuras no	Alta
8	(2022)		dúctiles	
2	Marín Millán	Teórico / Experimental	Pórticos HA	Media
9	(2024)		regulares (Bogotá)	
3	Miura et al.	Teórico/Experimental	Factores de	Media-alta
0	(2023)		amplificación de	
			sitio (Lima, Perú)	
3	Ghaseminia	Teórico / Computacional	Muros	Media-alta
1	et al. (2025)		mampostería	
			reforzada	

Nota: HA = hormigón armado; RM = mampostería reforzada; PGA = aceleración pico del suelo.

Análisis de convergencias y patrones

El análisis de la Tabla 1 permite extraer las siguientes conclusiones importantes:

Las edificaciones antiguas o pre-código presentan sistemáticamente vulnerabilidad alta, con porcentajes que van del 61% en Ayacucho (Perú) al 96.3% en Grecia, confirmado por métodos experimentales, computacionales y teóricos.

El hormigón armado deficiente reporta vulnerabilidad alta en todos los estudios, mientras que el hormigón armado bien diseñado y de código moderno reporta vulnerabilidad media, evidenciando que la calidad constructiva y el cumplimiento normativo son predictores clave.

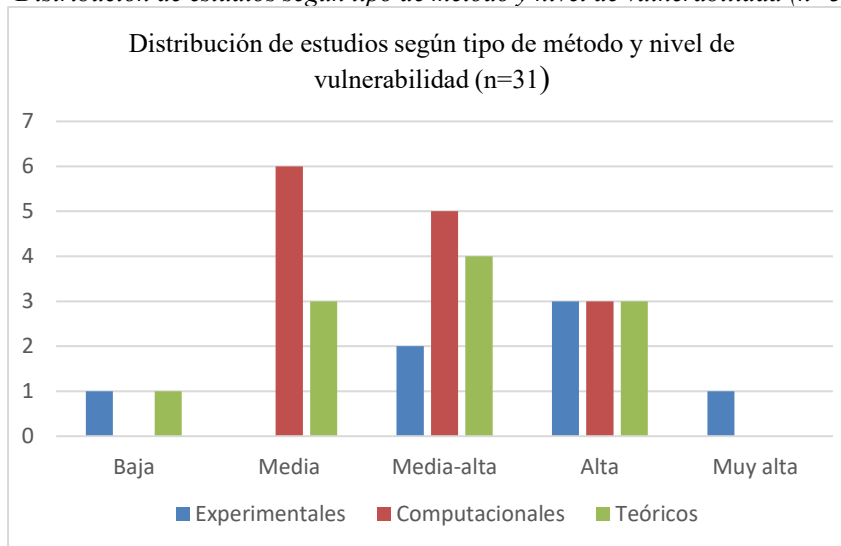
La mampostería no reforzada es consistentemente la tipología más vulnerable, con reportes desde muy alta (experimental post-sismo) hasta media-alta (teórico), convergiendo en la necesidad de intervención prioritaria.

Solo dos excepciones reportan vulnerabilidad baja: (a) uniones autocentrantes híbridas (Wu et al., 2023), que demuestran que la innovación tecnológica puede mitigar el daño residual; y (b) adobe con muros muy gruesos con PGA de colapso de 0.86g (Sánchez-Calvillo et al., 2025), que desafía la noción de que las construcciones vernáculas son siempre vulnerables.

Los métodos computacionales alcanzan precisiones superiores al 99% y son los que mejor diferencian entre edificios de código moderno y pre-código, posicionándose como herramientas eficientes para diagnósticos a escala urbana.

Figura 1

Distribución de estudios según tipo de método y nivel de vulnerabilidad (n=31)



DISCUSIÓN

Los métodos experimentales reportaron vulnerabilidad muy alta para mampostería no reforzada, documentando colapsos totales tras el terremoto de Turquía-Siria de magnitud 7.8 y 7.5 (Akar et al., 2024). Para hormigón armado deficiente con columnas cortas y pisos blandos reportaron vulnerabilidad alta, con colapsos masivos (Akar et al., 2024). Cheng et al. (2023) demostraron experimentalmente que la capacidad fuera del plano de muros de corte es solo 1/20-1/15 de la capacidad en el plano, clasificando esta tipología como vulnerabilidad alta. Díaz García y Farfán Córdova (2025) reportaron vulnerabilidad media-alta mediante ensayos de MASW y microtemores, vinculada a los periodos de vibración del suelo. Yadim et al. (2026) confirmaron vulnerabilidad alta para hormigón armado deficiente en Turquía. La única excepción fue Wu et al. (2023), quien demostró vulnerabilidad baja mediante uniones híbridas autocentrantes.

Los métodos computacionales alcanzaron precisiones superiores al 99% con redes neuronales (Aloisio et al., 2024), clasificando edificios pre-código (anteriores a 1985) como vulnerabilidad alta y de código moderno como media. Skalomenos et al. (2025) confirmaron que el 96.3% de los edificios pre-código en Grecia son altamente vulnerables. Ramírez Eudave et al. (2023) reportaron vulnerabilidad media-alta para mampostería histórica en México, mientras que Harirchian y Novelli (2025) reportaron vulnerabilidad alta para mampostería no

ingenieril en Malawi (646 muros evaluados). Ferranti et al. (2024), utilizando LSTM, XGBoost, LightGBM, CatBoost, AdaBoost y ARIMA, reportaron vulnerabilidad media en zonas urbanas de Italia. Doğan et al. (2025) aplicaron SVM, k-NN, Naive Bayes, DT y Ensemble en 28 zonas urbanas de Izmir (Turquía), identificando áreas de alto riesgo para planificación urbana. Muksin et al. (2023), mediante SOM y clustering, clasificaron rocas y suelos en Java con vulnerabilidad media-alta. Mori et al. (2022) y Fornasari (2024) reportaron vulnerabilidad media en mapas de movimiento de suelo en Italia utilizando Gaussian Process y CNNs respectivamente. Wang et al. (2023) reportaron vulnerabilidad media para amplificación de suelo en Japón mediante RF y XGBoost. Qadri y Malik (2021) reportaron vulnerabilidad media-alta en microzonificación de Pakistán, y Zhang et al. (2022) reportaron vulnerabilidad media en propiedades del suelo. Bingjian et al. (2025) clasificaron pilas de hormigón armado inclinadas en puentes como vulnerabilidad media (en condiciones de servicio) y alta (ante daños). Jahuin Bonifacio (2024) reportó vulnerabilidad media en un pabellón universitario de Ayacucho (Perú) con confiabilidad del 82%.

Los métodos teóricos cuantificaron PGA de colapso entre 0.15g y 0.86g. Chen et al. (2022) reportaron vulnerabilidad alta para puentes de pilas altas con PGA de colapso entre 0.15g y 0.6g, y demostraron que ignorar las réplicas subestima la vulnerabilidad hasta en un 289%. Liguori et al. (2023) reportaron vulnerabilidad alta para mampostería no reforzada en Cosenza (Italia) mediante un enfoque mecánico. Skalomenos et al. (2025), mediante el modelo YouSimulator, evaluaron 1,252 edificios y confirmaron vulnerabilidad alta para estructuras pre-código. Sánchez-Calvillo et al. (2025) encontraron que el adobe con muros muy gruesos (Ario de Rosales) alcanza PGA de colapso de 0.86g (vulnerabilidad baja), mientras que el adobe estándar presenta PGA de 0.4g (vulnerabilidad media-alta). Ferretti et al. (2024) evaluaron 140 edificios escolares italianos, reportando vulnerabilidad media-alta para mampostería y vulnerabilidad media para hormigón armado bien diseñado. Marín Millán (2024) evaluó pórticos regulares de hormigón armado en Bogotá y concluyó vulnerabilidad media. Durán Sánchez y Durán Sánchez (2024) reportaron vulnerabilidad media para un edificio municipal en Ecuador. Ghaseminia et al. (2025) reportaron vulnerabilidad media-alta para muros de mampostería reforzada con espacios reducidos. Sulca Huamán y Delgadillo (2022) reportaron que el 61% de las edificaciones en Ayacucho (Perú) sufriría daño fuerte o severo ante un sismo raro.

Al comparar los tres enfoques, existe una convergencia sólida: Los tres enfoques coinciden en tres hallazgos principales: (1) las edificaciones antiguas o pre-código presentan sistemáticamente vulnerabilidad alta, con porcentajes que van del 61% en Ayacucho al 96.3%

en Grecia; (2) el hormigón armado deficiente reporta vulnerabilidad alta, mientras que el bien diseñado y de código moderno reporta vulnerabilidad media; (3) la mampostería no reforzada es consistentemente la tipología más vulnerable, con reportes desde muy alta hasta media-alta. Solo dos excepciones reportan vulnerabilidad baja: las uniones autocentrantes híbridas (Wu et al., 2023) y el adobe con muros muy gruesos con PGA de colapso de 0.86g (Sánchez-Calvillo et al., 2025). La tendencia actual apunta a metodologías híbridas como YouSimulator (Skalomenos et al., 2025) y superficies de fragilidad vectoriales (Chen et al., 2022).

Los estudios que evaluaron hormigón armado deficiente vs. bien diseñado: Akar et al. (2024), Cheng et al. (2023) y Yadim et al. (2026) coinciden en vulnerabilidad alta para hormigón armado deficiente, con deficiencias como baja resistencia del concreto (50% de vigas <210 kg/cm²), columnas cortas y pisos blandos. En contraste, Aloisio et al. (2024), Ferretti et al. (2024) y Marín Millán (2024) coinciden en vulnerabilidad media para hormigón armado bien diseñado y de código moderno. Esta diferencia confirma que el año de construcción, la calidad del concreto y el cumplimiento de códigos sísmicos son predictores clave.

En lo que respecta a mampostería no reforzada: Akar et al. (2024) reportaron vulnerabilidad muy alta tras el terremoto de Turquía-Siria. Liguori et al. (2023), mediante enfoque mecánico en Italia, reportaron vulnerabilidad alta. Ferretti et al. (2024) reportaron vulnerabilidad media-alta en edificios escolares italianos. Sánchez-Calvillo et al. (2025) confirmaron vulnerabilidad media-alta para adobe estándar. La convergencia entre tres métodos distintos (empírico post sismo, mecánico teórico y metodología simplificada) y múltiples países (Turquía, Italia, México, Perú) valida que la mampostería no reforzada es la tipología más vulnerable y requiere intervención prioritaria.

En los estudios evaluados sobre edificios pre-código: Skalomenos et al. (2025) evaluaron 1,252 edificios en Grecia y encontraron que el 96.3% de los construidos antes de 1985 presentan vulnerabilidad alta. Aloisio et al. (2024) clasificaron los pre-código italianos como vulnerabilidad alta y los de código moderno como media. Shekhar et al. (2024) reportaron vulnerabilidad alta para pórticos de baja ductilidad en EE.UU. Sulca Huamán y Delgadillo (2022) reportaron que el 61% de las edificaciones en Ayacucho sufriría daño fuerte o severo ante un sismo raro. Esta convergencia entre cuatro países (Grecia, Italia, EE.UU. y Perú) y múltiples métodos confirma que la antigüedad es el predictor más universal de vulnerabilidad sísmica alta.

También, hay excepciones notables: Solo dos casos reportan vulnerabilidad baja: (1) uniones autocentrantes híbridas (Wu et al., 2023), que demostraron que es posible alcanzar baja

vulnerabilidad mediante tecnologías innovadoras que mitigan el daño residual; (2) adobe con muros muy gruesos con PGA de colapso de 0.86g (Sánchez-Calvillo et al., 2025), que desafía la noción de que las construcciones vernáculas son siempre vulnerables, demostrando que el espesor de muros es más determinante que el material mismo.

Al comparar la totalidad de los 31 estudios analizados, existe una convergencia sólida en tres hallazgos principales. Primero, las edificaciones antiguas o pre-código presentan sistemáticamente vulnerabilidad alta, con porcentajes que van desde cifras significativas en Ayacucho hasta el 96.3% en Grecia. Segundo, el hormigón armado deficiente reporta vulnerabilidad alta en todos los estudios, mientras que el hormigón armado bien diseñado reporta vulnerabilidad media. Tercero, la mampostería no reforzada es consistentemente la tipología más vulnerable, con reportes que van desde muy alta hasta media-alta. Solo dos excepciones reportan vulnerabilidad baja: las uniones autocentrantes híbridas (Wu et al., 2023) y el adobe con muros muy gruesos (Sánchez-Calvillo et al., 2025).

CONCLUSIONES

Los métodos experimentales reportaron vulnerabilidad muy alta para mampostería no reforzada (Akar et al., 2024), alta para hormigón armado deficiente y muros de corte con deficiencia fuera del plano (Cheng et al., 2023; Akar et al., 2024), media-alta para edificios con baja resistencia del concreto (Díaz García & Farfán Córdova, 2025) y baja solo para uniones autocentrantes híbridas (Wu et al., 2023).

Los métodos computacionales reportaron vulnerabilidad alta para edificios pre-código (anteriores a 1985) y vulnerabilidad media para edificios de código moderno, con precisiones superiores al 99% usando redes neuronales (Aloisio et al., 2024). En Perú, reportaron vulnerabilidad media en Jaén (confiabilidad 82%) y Ayacucho, y media-alta en Lima y Pasco.

Los métodos teóricos reportaron vulnerabilidad alta para puentes de pilas altas (PGA colapso 0.15g-0.6g, Chen et al., 2022), mampostería no reforzada (Liguori et al., 2023) y edificios pre-código (Skalomenos et al., 2025). Reportaron vulnerabilidad media para hormigón armado bien diseñado (Ferretti et al., 2024; Marín Millán, 2024) y vulnerabilidad baja solo para adobe con muros muy gruesos (PGA colapso 0.86g, Sánchez-Calvillo et al., 2025).

Existe convergencia entre los tres tipos de métodos en tres hallazgos principales: (a) las edificaciones antiguas o pre-código presentan sistemáticamente vulnerabilidad alta, con porcentajes del 61% en Ayacucho al 96.3% en Grecia; (b) el hormigón armado deficiente reporta vulnerabilidad alta, mientras que el bien diseñado reporta vulnerabilidad media; (c) la

mampostería no reforzada es consistentemente la tipología más vulnerable, con reportes desde muy alta hasta media-alta.

Se identificaron dos divergencias notables: (a) el adobe fue clasificado como vulnerabilidad alta por unos (Sulca Huamán & Delgadillo, 2022) y baja por otros (Sánchez-Calvillo et al., 2025), divergencia explicada por el espesor de muros; (b) los métodos experimentales son los únicos que reportan vulnerabilidad muy alta, mientras que los computacionales y teóricos tienden a reportar alta o media-alta, reflejando diferencias en la sensibilidad y el nivel de detalle de cada enfoque.

Los métodos experimentales son los más confiables para casos específicos por proporcionar datos reales, pero su limitación es la escasez, el alto costo y la dificultad de extrapolación. Los métodos teóricos tienen confiabilidad media-alta, dependiendo de la complejidad del modelo, con limitación en simplificaciones excesivas. Los métodos computacionales tienen confiabilidad alta si se entrenan con buenos datos, pero su limitación es la dependencia de la calidad de los datos de entrada y su naturaleza de "caja negra".

Combinación de métodos híbridos —donde la eficiencia de los métodos computacionales se combina con la solidez física de los modelos teóricos y la validación experimental— es la vía más prometedora para la provincia de Jaén (Perú), ubicada en zona de alta sismicidad, tal como evidencian trabajos como YouSimulator (Skalomenos et al., 2025) y las superficies de fragilidad vectoriales (Chen et al., 2022).

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Akar, F., Işık, E., Avcil, F., Büyüksaraç, A., Arkan, E., & İzol, R. (2024). Geotechnical and Structural Damages Caused by the 2023 Kahramanmaraş Earthquakes in Gölbaşı (Adıyaman). *Applied Sciences*, 14(5), 2165. <https://doi.org/10.3390/app14052165>

Aloisio, A., Santis, Y. D., Irti, F., Pasca, D. P., Scimia, L., & Fragiaco, M. (2024). Machine learning predictions of code-based seismic vulnerability for reinforced concrete and masonry buildings: Insights from a 300-building database. *Engineering Structures*, 301, 117295. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2023.117295>

Bingjian, W., Tianyun, L., & Shizhi, C. (2025). Multilevel Seismic Damage Quantification for Inclined RC Piers: Integrating Fiber-Based Simulation and Machine Learning

- Prediction. *Advances in Civil Engineering*, 2025(1), 5565794.
<https://doi.org/10.1155/adce/5565794>
- Chen, X., Xiang, N., Guan, Z., & Li, J. (2022). Seismic vulnerability assessment of tall pier bridges under mainshock-aftershock-like earthquake sequences using vector-valued intensity measure. *Engineering Structures*, 253, 113732.
<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.113732>
- Cheng, Y., He, H., Sun, H., & Cheng, S. (2023). Experimental study and mechanism analysis of out-of-plane seismic performance of reinforced concrete shear walls. *Journal of Building Engineering*, 80, 108058. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.108058>
- Díaz García, G., & Farfán Córdova, M. (2025). Application of MASW, Microtremor, and Seismic Refraction Tests for Buildings in Vulnerable Communities. *Buildings*, 15(7), 1079. <https://doi.org/10.3390/buildings15071079>
- Doğan, A., Başığmez, M., & Aydın, C. C. (2025). Assessment of the seismic vulnerability in an urban area with the integration of machine learning methods and GIS. *Natural Hazards*, 121(8), 9613-9652. <https://doi.org/10.1007/s11069-025-07185-4>
- Durán Sánchez, F. A., & Durán Sánchez, C. A. (2024). Evaluación de vulnerabilidad sísmica en edificio municipal de Shushufindi según normativa y parámetros oficiales: Seismic vulnerability assessment of Shushufindi municipal building according to regulations and official parameters. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 5(2). <https://doi.org/10.56712/latam.v5i2.1976>
- Ferranti, G., Greco, A., Pluchino, A., Rapisarda, A., & Scibilia, A. (2024). Seismic vulnerability assessment at an urban scale: A machine learning approach. *Buildings*, 14(2), 309. <https://doi.org/10.3390/buildings14020309>
- Ferretti, F., Mazzotti, C., & Savoia, M. (2024). Seismic Vulnerability Assessment of Masonry and RC Building Stocks: A Simplified Methodology. *Buildings*, 14(9), 2890. <https://doi.org/10.3390/buildings14092890>

- Fornasari, S. F. (2024). *Development of machine learning approaches for real-time ground-shaking maps reconstruction* [Tesis de doctorado, Università degli Studi di Trieste]. ArTS - Archivio della ricerca di Trieste. <https://hdl.handle.net/11368/3071820>
- Ghaseminia, S. M., Zahra, T., Eslamnia, H., Thamboo, J., Derakhshan, H., & Thambiratnam, D. P. (2025). Development of seismic fragility functions for close-spaced reinforced masonry shear walls. *Journal of Building Engineering*, 103, 112107. <https://doi.org/10.1016/j.job.2025.112107>
- Harirchian, E., & Novelli, V. I. (2025). Leveraging Transformer Models for Seismic Fragility Assessment of Non-Engineered Masonry Structures in Malawi. *Infrastructures*, 10(11), 279. <https://doi.org/10.3390/infrastructures10110279>
- Jahuin Bonifacio, D. (2024). *Estimación de la vulnerabilidad sísmica en un pabellón universitario con sistema aporticado aplicando el método de redes neuronales artificiales, Ayacucho 2024* [Tesis de maestría, Universidad Privada de Tacna]. Repositorio Institucional de la UPT. <https://hdl.handle.net/20.500.12969/3972>
- Liguori, F. S., Fiore, S., Perelli, F. L., De Gregorio, D., Zuccaro, G., & Madeo, A. (2023). A mechanical-based seismic vulnerability assessment method with an application to masonry structures in Cosenza (Italy). *Bulletin of Earthquake Engineering*, 21(12), 5655-5681. <https://doi.org/10.1007/s10518-023-01752-5>
- Marín Millán, H. R. (2024). *Análisis de vulnerabilidad sísmica de edificaciones residenciales de pórticos regulares, construidas en zonas de piedemonte en la ciudad de Bogotá de acuerdo con la NSR-10* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Ingeniería, Managua, Nicaragua]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ingeniería. <http://ribuni.uni.edu.ni/id/eprint/6537>
- Miura, H., Gonzales, C., Diaz, M., Estrada, M., Lazares, F., Aguilar, Z., Pan, D., & Matsuoka, M. (2023). Assessment of Site Amplification Factors in Southern Lima, Peru Based on Microtremor H/V Spectral Ratios and Deep Neural Network. *Journal of Disaster Research*, 18(4), 298-307. <https://doi.org/10.20965/jdr.2023.p0298>
- Mori, F., Mendicelli, A., Falcone, G., Acunzo, G., Spacagna, R. L., Naso, G., & Moscatelli, M. (2022). Ground motion prediction maps using seismic-microzonation data and

- machine learning. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 22(3), 947-966.
<https://doi.org/10.5194/nhess-22-947-2022>
- Muksin, U., Riana, E., Rudiyanto, A., Bauer, K., Simanjuntak, A. V. H., & Weber, M. (2023). Neural network based classification of rock properties and seismic vulnerability. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 9(1).
<https://doi.org/10.22034/gjesm.2023.01.02>
- Qadri, S. M. T., & Malik, O. A. (2021). Establishing site response-based micro-zonation by applying machine learning techniques on ambient noise data: A case study from Northern Potwar Region, Pakistan. *Environmental Earth Sciences*, 80(2), 53.
<https://doi.org/10.1007/s12665-020-09322-7>
- Rajkumari, S., Thakkar, K., & Goyal, H. (2022). Fragility analysis of structures subjected to seismic excitation: A state-of-the-art review. *Structures*, 40, 303-316.
<https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.04.023>
- Ramírez Eudave, R., Rodrigues, D., Ferreira, T. M., & Vicente, R. (2023). Implementing Open-Source Information Systems for Assessing and Managing the Seismic Vulnerability of Historical Constructions. *Buildings*, 13(2), 540.
<https://doi.org/10.3390/buildings13020540>
- Sánchez Calvillo, A., Ortega Heras, J., & Alonso Guzman, E. M. (2025). Seismic Vulnerability Assessment of Mexican Vernacular Adobe Buildings: Application and Comparison of Different Methods. *International Journal of Architectural Heritage*, 19(11), 2897-2918. <https://doi.org/10.1080/15583058.2025.2471407>
- Shekhar, S., Freddi, F., Ghosh, J., Lad, D., & Chelapramkandy, R. (2024). *Corrosion-induced failure mode alterations and implications on seismic fragility of RC frames*. 24(3), 947-966. <https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/10195579>
- Skalomenos, K., Chen, D., Lin, X., & Morfidis, K. (2025). Physics-based seismic vulnerability assessment of aging building stocks at city scale. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 23(11), 4391-4428. <https://doi.org/10.1007/s10518-025-02210-0>

- Suhaiza Sauti, N., Effendi Daud, M., Kaamin, M., & Sahat, S. (2021). GIS spatial modelling for seismic risk assessment based on exposure, resilience, and capacity indicators to seismic hazard: A case study of Pahang, Malaysia. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 12(1), 1948-1972. <https://doi.org/10.1080/19475705.2021.1947903>
- Sulca Huaman, J., & Delgadillo Ayala, R. M. (2022). Evaluación del riesgo sísmico de edificaciones mediante funciones de vulnerabilidad en la ciudad de Ayacucho – Perú. *TECNIA*, 32(2), 21-35. <https://doi.org/10.21754/tecnia.v32i2.1377>
- Wang, X., Wang, Z., Wang, J., Miao, P., Dang, H., & Li, Z. (2023). Machine learning based ground motion site amplification prediction. *Frontiers in Earth Science*, 11, 1053085. <https://doi.org/10.3389/feart.2023.1053085>
- Wu, Z., Lu, X., Li, L., Bao, H., Lu, Z., & Yu, K. (2023). Seismic performance of full-scale self-centering reinforced concrete beam-column joints: Experimental, numerical and theoretical analysis. *Journal of Building Engineering*, 78, 107683. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.107683>
- Yadim, Y., Yılmaz, S., Kaplan, H., Corradi, M., & Castori, G. (2026). Seismic vulnerability of deficient RC buildings: Insights from the February 6, 2023, turkey earthquake. *Procedia Structural Integrity*, 78, 1895-1902. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2025.12.241>
- Zhang, P., Yin, Z.-Y., & Jin, Y.-F. (2022). Machine Learning-Based Modelling of Soil Properties for Geotechnical Design: Review, Tool Development and Comparison. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 29(2), 1229-1245. <https://doi.org/10.1007/s11831-021-09615-5>



**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. Mecánica y Eléctrica – 3° piso