

Evaluación de microorganismos nativos degradadores de fármacos antiinflamatorios no esteroideos y psicotrópicos aislados de aguas residuales

Evaluation of native microorganisms degrading non-steroidal anti-inflammatory and psychotropic drugs isolated from wastewater

Roger Alberto Palomino Huarcaya ^{1,a}, Juan Odar Saez Huaman ^{1,b}, Carlos Alberto Luque Levano ^{1,b}, Rocío Duran Ordoñez ^{1,b}, Brysen Sinche Jesus ^{1,b}, Jose Soto Rojas ^{1,b}.

RESUMEN

Objetivo: Seleccionar microorganismos nativos con capacidad degradativa de fármacos antiinflamatorios no esteroideos (Naproxeno, Paracetamol, Ibuprofeno y Diclofenaco) y fármacos psicotrópicos (Carbamazepina, Alprazolam y Clonazepam) a partir de aguas residuales. **Material y Métodos:** Este estudio examina la degradación de microorganismos en aguas residuales frente a fármacos antiinflamatorios y psicotrópicos en Lima. Se recolectaron muestras, se realizaron diluciones y se sembraron en placas. Tras verificar colonias, se evaluó la capacidad degradativa midiendo la turbidez y absorbancia a 600 nm en un espectrofotómetro. **Resultados:** Se analizaron colonias bacterianas destacando características como color blanco, forma circular, borde entero, textura lisa, tamaño mediano y predominio de bacterias grampositivas. Se evaluaron fármacos antiinflamatorios y psicotrópicos, observándose respuestas específicas de microorganismos. La turbidez en los tubos indicó crecimiento bacteriano, con turbidez mediana (++) para AINEs y mayor turbidez (+++) para psicotrópicos. Cepas bacterianas mostraron capacidad variable para degradar fármacos, destacando aquellas con absorbancia mayor a 1, evidenciando crecimiento por fármacos como fuentes de carbono. **Conclusiones:** Se hallaron microorganismos con gran potencial para degradar fármacos en aguas residuales.

Palabras clave: Psicotrópicos, antiinflamatorios, biodegradación ambiental, aguas residuales, microorganismos acuáticos.

1 Universidad Privada de Huancayo Franklin Roosevelt. Huancayo, Perú.
a Docente, Magister. ORCID: 0000-0003-0333-7269
b Estudiante.

INVESTIGACIÓN ORIGINAL / ORIGINAL RESEARCH

SUMMARY

Objective: To select native microorganisms with the ability to degrade non-steroidal anti-inflammatory drugs (Naproxen, Paracetamol, Ibuprofen and Diclofenac) and psychotropic drugs (Carbamazepine, Alprazolam and Clonazepam) from wastewater. **Material and Methods:** This study examines the degradation of microorganisms in wastewater against anti-inflammatory and psychotropic drugs in Lima. Samples were collected, diluted and plated. After colony verification, degradation capacity was assessed by measuring turbidity and absorbance at 600 nm in a spectrophotometer. **Results:** Bacterial colonies were analyzed, highlighting characteristics such as white color, circular shape, entire edge, smooth texture, medium size and predominance of gram-positive bacteria. Anti-inflammatory and psychotropic drugs were evaluated, and specific responses of microorganisms were observed. Turbidity in the tubes indicated bacterial growth, with medium turbidity (++) for AINEs and higher turbidity (+++) for psychotropic drugs. Bacterial strains showed variable capacity to degrade drugs, highlighting those with absorbance greater than 1, evidencing growth by drugs as carbon sources. **Conclusions:** Microorganisms with great potential to degrade drugs found in wastewater

Keywords: Psychotropic drugs, anti-inflammatory agents, biodegradation, environmental, wastewater, aquatic microorganisms.

INTRODUCCIÓN

Desde los inicios de las civilizaciones, la farmacología ha desempeñado un papel crucial en la supervivencia y evolución humana, inicialmente guiada por enfoques empíricos. No obstante, a partir del siglo XIX, se iniciaron técnicas químicas para obtener compuestos activos, como el alcaloide quinina, extraído por el químico francés Joseph Pelletier en 1820 (1). Este hito marcó el crecimiento inevitable de la industria farmacéutica, especialmente con los avances tecnológicos, incluido el logro de T.H. Smith Ltd, una de las primeras empresas en extraer alcaloides puros a escala comercial.

El desarrollo de la microbiología y la identificación de nuevas bacterias conlleva a una demanda de compuestos químicos más allá de los alcaloides. Los antiinflamatorios no esteroideos (AINEs) y los fármacos psicotrópicos se volvieron esenciales para abordar enfermedades emergentes. Los AINEs, el grupo farmacológico más consumido globalmente, presentan una heterogeneidad química que comparte la capacidad de inhibir la producción de prostaglandinas proinflamatorias, brindando alivio para diversos síntomas y propiedades farmacocinéticas variables (2, 3).

En contraste, los fármacos psicotrópicos, utilizados en el tratamiento de problemas de salud mental, afectan el sistema nervioso y los neurotransmisores para modular el estado de ánimo (4). Sin embargo, su uso indebido, especialmente al obtenerlos ilegalmente, puede generar dependencia y riesgos significativos para la salud (4). A pesar de estos desafíos, el mercado farmacéutico sigue una dinámica predecible, similar a un organismo Darwiniano, experimentando crecimiento, declive, fortalecimiento y evolución para asegurar su supervivencia en un contexto de oferta y demanda. La contaminación por productos farmacéuticos, objeto de estudio desde 1970, ha ganado relevancia tras hallazgos en 1997 sobre la contaminación de un río con ácido clofibrato, un profármaco de los clofibratos (5, 6). Pues se conoce que existen tres rutas principales de contaminación incluyen la generación de residuos por la industria farmacéutica, el uso irracional de medicamentos por la población y el uso de fármacos en animales, generando lixiviados que contaminan aguas superficiales (7, 8, 9). A nivel global, la contaminación del agua, incluso en la Antártida, plantea riesgos para la salud humana a través de la ingesta de productos alimenticios contaminados, con problemas de bioacumulación y biomagnificación en la cadena trófica (9, 10).

INVESTIGACIÓN ORIGINAL / ORIGINAL RESEARCH

En cuanto a la degradación de fármacos, diversos microorganismos, como bacterias, hongos y algas, han demostrado capacidad para degradar estos compuestos utilizando mecanismos enzimáticos (11). Ejemplos notables incluyen *Bacillus thuringiensis* B1(2015b), *Rhizorhabdus wittichii*, cepas de *Pseudomonas*, *Bjerkandera* sp. y *Phanerochaete chrysosporium*, que han mostrado eficacia en degradar fármacos como ibuprofeno, naproxeno, diclofenaco y carbamazepina (12).

La contaminación emergente por productos farmacéuticos ha cobrado importancia debido a estudios toxicológicos (13). El aumento del consumo de antidepresivos, impulsado por la pandemia de COVID-19, ha contribuido a la contaminación de aguas, ya que los residuos de estos medicamentos ingresan a los desagües (14). A pesar de la ineficacia de los métodos convencionales en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), se ha observado que microorganismos, como hongos y bacterias, pueden degradar estos compuestos de manera natural, ofreciendo una alternativa basada en biorremediación y procedimientos limpios (15).

Entre los géneros de bacterias comúnmente encontrados en aguas contaminadas se destacan *Bacillus* y *Pseudomonas*, y se han identificado casos “inusuales”, como *Sphingomonas*, evaluada por su capacidad para degradar ibuprofeno, con potencial uso en tratamientos de aguas residuales (16). Como profesionales de la salud, los químicos farmacéuticos proponen investigar y caracterizar microorganismos con capacidades degradativas, contribuyendo al tratamiento efectivo de aguas residuales y cumpliendo con su compromiso innato con la sostenibilidad ambiental.

Por ello el propósito de esta investigación fue seleccionar microorganismos nativos con capacidad degradativa de fármacos antiinflamatorios no esteroideos (Naproxeno, Paracetamol, Ibuprofeno y Diclofenaco) y fármacos psicotrópicos (Carbamazepina, Alprazolam y Clonazepam) a partir del aislamiento y caracterización de microorganismos provenientes de aguas residuales.

MATERIAL Y MÉTODOS

Este estudio, aprobado por el Comité Institucional de Ética en Investigación de la Universidad Privada de Huancayo Franklin Roosevelt con el código 0539-EST-CIEI, se enmarca como una investigación de tipo básica. Las variables analizadas se centran en la degradación de microorganismos nativos aislados de aguas residuales ante fármacos antiinflamatorios no esteroideos (Naproxeno, Paracetamol, Ibuprofeno y Diclofenaco) y fármacos psicotrópicos (Carbamazepina, Alprazolam y Clonazepam).

La obtención de microorganismos se realizó mediante la toma de muestras en cuatro ubicaciones distintas de la ciudad de Lima y áreas circundantes, como el Río Rímac (Lima), Río Lunahuaná, Laguna de oxidación de Lurín y Playa Pucusana. Las muestras se recolectaron en frascos debidamente etiquetados con el nombre del lugar, siguiendo las medidas de seguridad y protocolos establecidos (figura 1).

El aislamiento de microorganismos degradadores se llevó a cabo utilizando la metodología propuesta por Romero y Marchlewicz (17,18), con adaptaciones. Se realizaron diluciones seriadas de 10^{-1} , 10^{-2} y 10^{-3} en NaCl al 0.85%. Cada dilución se sembró en placas de agar, estas placas se incubaron a 30°C durante 24 horas. Las colonias resultantes se sembraron en agar nutritivo para verificar su pureza, incubados a 30°C por otras 24 horas. Se realizó una tinción gram para determinar su clasificación (figura 2).

De las colonias identificadas parcialmente, se inoculó una porción en caldo TSB a 30°C durante 24 horas. Posteriormente, se trasladaron a tubos de ensayo con Medio Mineral suplementado con 6 mg/L⁻¹ de fármacos antiinflamatorios y psicotrópicos, y se incubaron a 37°C por 30 días para evaluar la actividad degradativa. La evaluación de la capacidad degradativa se basó en la turbidez de los tubos, determinando la absorbancia de la luz a una longitud de onda de 600 nm en un espectrofotómetro (figura 3).

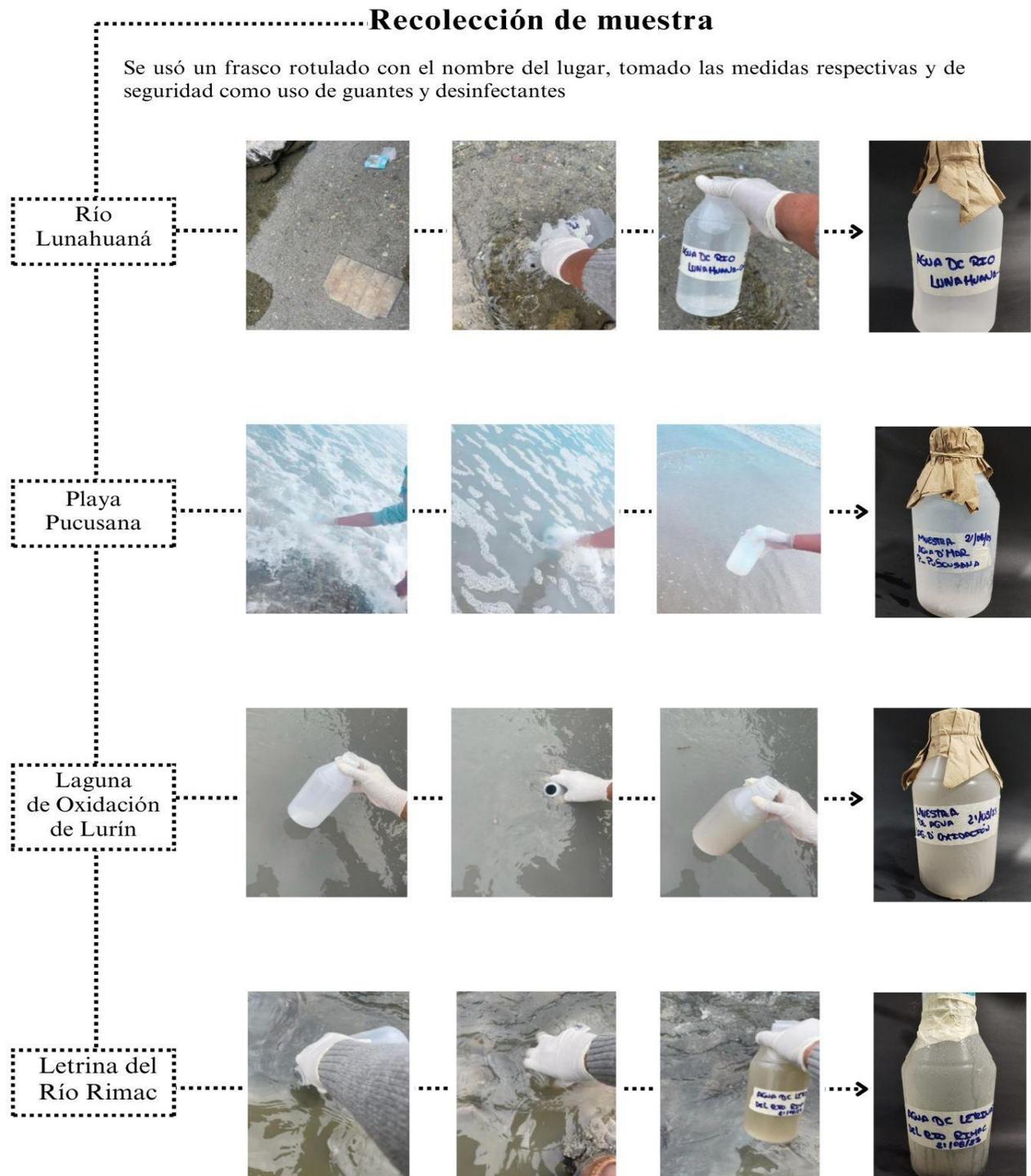


Figura 1. Flujoograma de los puntos de muestreo

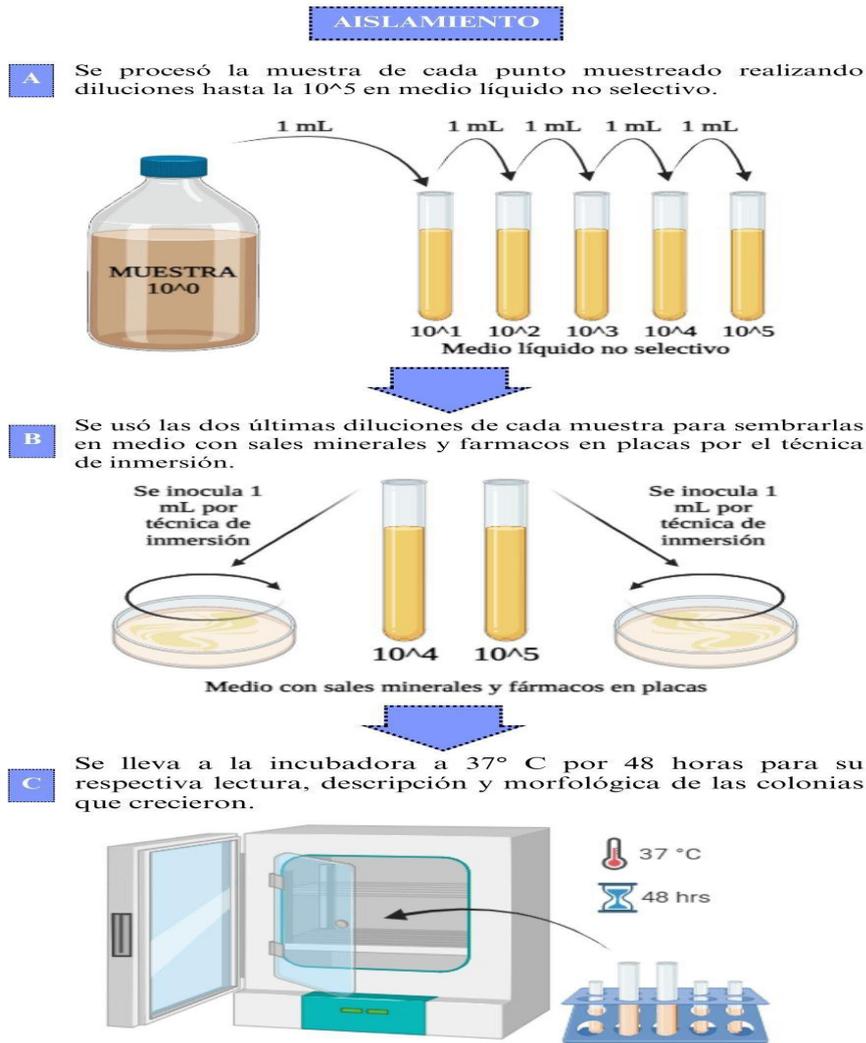


Figura 2. Flujograma de la metodología

RESULTADOS

Se recopilaron los resultados de la caracterización morfológica en base a los aspectos culturales vistos, muchas de estas colonias presentan color blanco, forma circular, borde entero, textura lisa, superficie cremosa, tamaño mediano, predominan las bacterias grampositivas de forma bacilar (tabla 1).

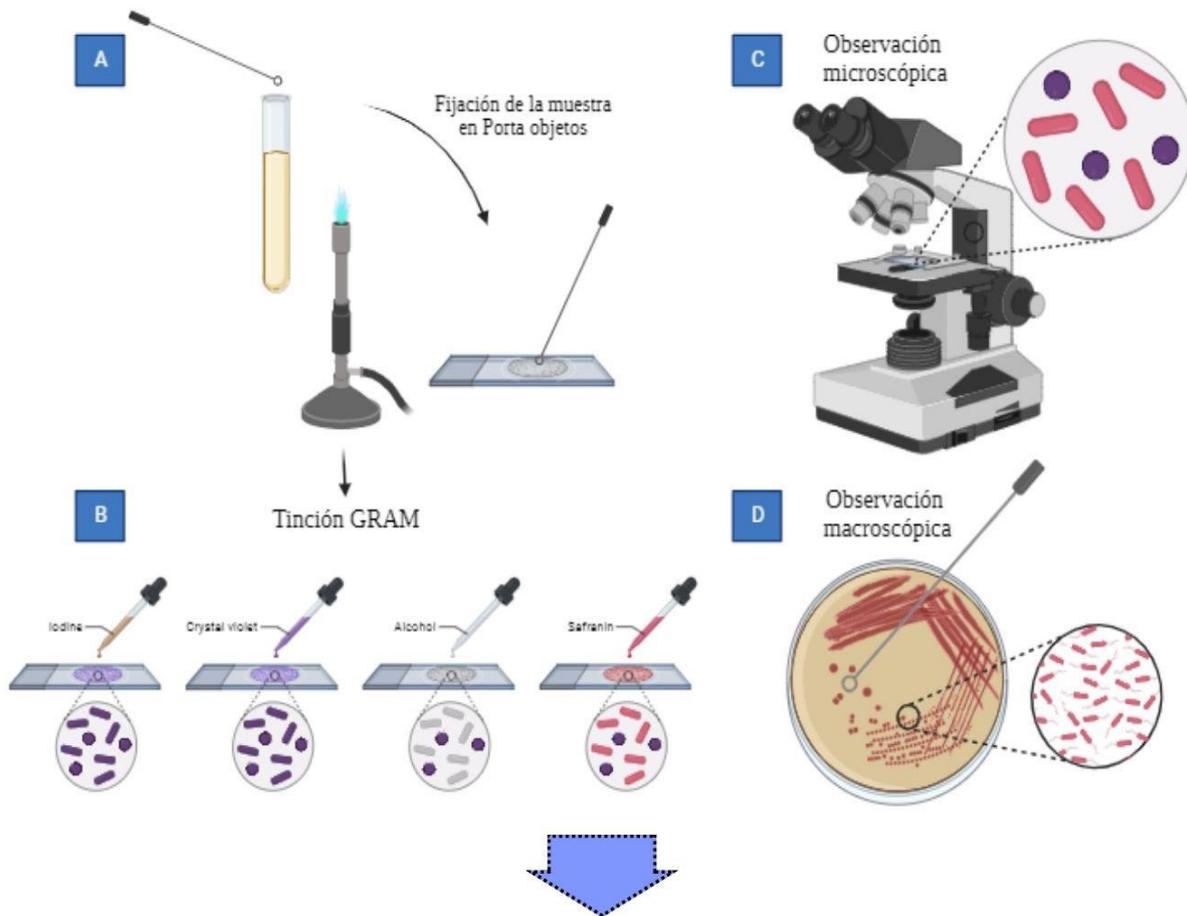
La tabla 2 presenta una serie de evaluaciones de actividad degradativa farmacológica para diferentes fármacos antiinflamatorios no esteroideos (AINEs) y psicotrópicos en base a un código específico. La interpretación de la tabla sugiere el

predominio de ciertas respuestas farmacológicas en relación con los microorganismos bajo condiciones evaluadas. La turbidez en los tubos representa el crecimiento bacteriano que existe en el medio mineral suplementado con los fármacos, dichos fármacos sirven como fuente de carbono por lo predomina mediana turbidez (++) para los fármacos antiinflamatorios no esteroideos y mayor turbidez (++++) en fármacos psicotrópicos.

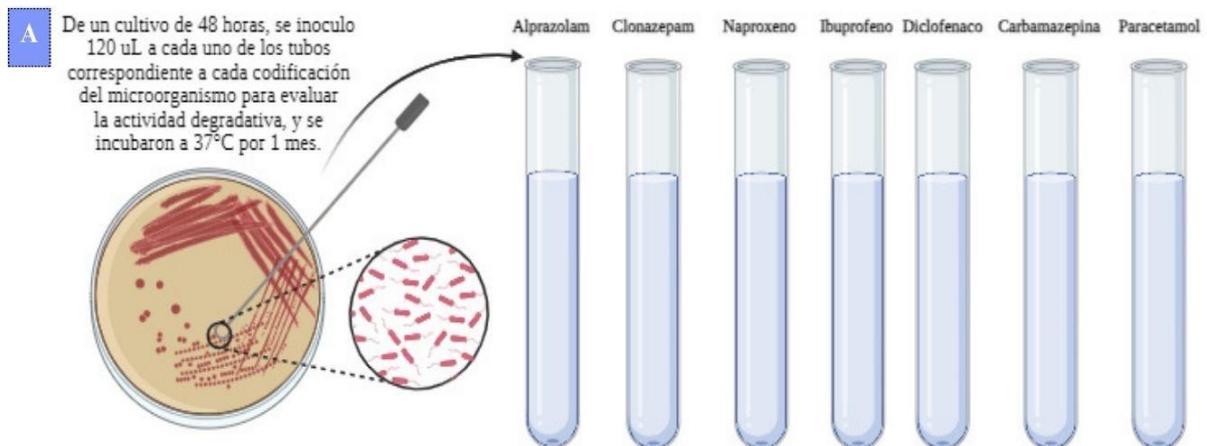
Las cepas bacterianas aisladas y evaluadas mostraron una capacidad variada para degradar diferentes tipos de fármacos, destacando aquellas que poseen una absorbancia mayor a 1, lo que evidencia la existencia de turbidez (crecimiento

INVESTIGACIÓN ORIGINAL / ORIGINAL RESEARCH

CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA



EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DEGRADADORA DE FÁRMACOS



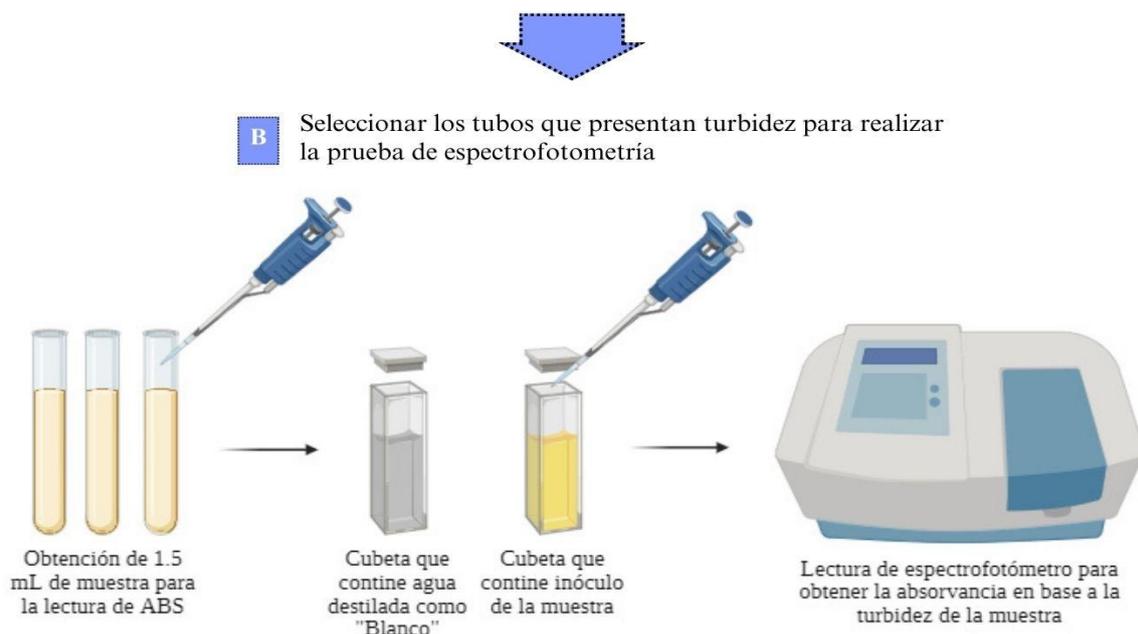


Figura 3. Evaluación de la capacidad degradativa

bacteriano) debido a que los fármacos actuaron como fuentes de carbono (tabla 3).

DISCUSIÓN

En el contexto de esta investigación, centrada en la degradación de fármacos antiinflamatorios no esteroideos (AINEs) y psicotrópicos por cepas bacterianas, los resultados de la caracterización morfológica ofrecen una visión precisa de las colonias. Rasgos como el color blanco, la forma circular y la prevalencia de bacterias grampositivas de forma bacilar, con similitudes a cepas como *Bacillus* sp, *Pseudomonas* sp. y *Staphylococcus* sp, sugieren adaptaciones a condiciones culturales específicas (17, 18).

La evaluación de la actividad degradativa farmacológica, reflejada en la tabla 2, revela respuestas distintivas de las cepas ante AINEs y psicotrópicos. La correlación entre la turbidez en los tubos y la degradación de estos compuestos destaca la eficacia de las cepas al utilizar fármacos como única fuente de carbono en un medio mineral. Cepas como PP - 5.1, DP - 4.1.B y PP - 4 II, con características morfológicas de *Bacillus* sp., presentan crecimiento en ambos tipos de fármacos, contrastando con estudios previos,

como el de Marchlewicz et al., (18), que señala a *Bacillus thuringiensis* B1 como un degradador eficiente de naproxeno e ibuprofeno.

La absorbancia superior a 1 en ciertas cepas indica un mayor crecimiento bacteriano en presencia de fármacos, como en PP - 5.1 y PP - 4 II, sugiriendo un potencial aplicativo en el tratamiento de aguas residuales farmacéuticas. Estos resultados enriquecen nuestra comprensión de la diversidad funcional y morfológica de las cepas bacterianas, proporcionando una base sólida para investigaciones futuras y posibles aplicaciones en los campos de microbiología ambiental y farmacología, contribuyendo al desarrollo de estrategias sostenibles para la eliminación de contaminantes farmacéuticos en el entorno acuático.

CONCLUSIONES

Los resultados de la caracterización morfológica y la evaluación de la actividad degradativa farmacológica revelan la diversidad y capacidad funcional de las cepas bacterianas, proporcionando una base sólida para futuras investigaciones y aplicaciones en el ámbito de la farmacología.

INVESTIGACIÓN ORIGINAL / ORIGINAL RESEARCH

Tabla 1. Características morfológicas macroscópicas y microscópicas de las cepas seleccionadas

Código	Color	Forma	Borde	Textura	Elevación	Superficie	Tamaño	Tinción GRAM	Morfología
PP - 5.1	Blanco	Circular	Entero	Lisa	Plano	Creмоса	Pequeño/opaco	Positivo	Cocos en racimo
DP - 4.1.A	Amarillo	Ondulado	Irregular	Rugosa	Plano	Creмоса	Grande/Opaca	Positivo	Bacilos pequeños
DP - 4.1.B	Blanco	Circular	Entero	Lisa	Plano	Creмоса	Pequeña/Opaca	Positivo	Bacilos grandes
PP - 4 II	Blanquecino	Ondulado	Irregular	Rugosa	Plano	Creмоса	Mediano/Opaco	Negativo	Bacilos
LO - 4.1	Blanco	Circular	Entero	Lisa	Elevada	Mucoide	Grande/Brillante	Positivo	Bacilos grandes
PLP - 4.1.1	Blanco	Circular	Entero	Lisa	Poca elevación	Creмоса	Grande/Opaca	Positivo	Bacilos medianos
PP - 4.1	Blanco	Circular	Entero	Lisa	Plano	Creмоса	Pequeño/Opaco	Negativo	Cocos
LO - 4.1	Blanco	Ondulado	Irregular	Rugosa	Plano	Mucoide	Grande	Negativo	Cocos
LO - 5.2	Amarillo	Circular	Irregular	Rugosa	Plano	Creмосо	Mediano/Opaco	Negativo	Cocos
RL - 4.1.1 A	Amarillo	Ondulado	Irregular	Lisa	Plano	Creмосо	Grande	Negativo	Bacilos
RL - 4.1.1 B	Blanco	Ondulado	Irregular	Lisa	Plano	Creмосо	Mediano/Brillante	Positivo	Bacilos medianos
RL - 4.1.1 C	Blanco	Circular	Entero	Lisa	Plano	Creмосо	Pequeño	Positivo	Cocos en racimo
RL - 4.1.1 D	Blanco	Circular	Entero	Lisa	Plano	Creмосо	Pequeño/Brillante	Negativo	Bacilos pequeños
RL - 4.1.3 A	Blanco	Ondulado	Irregular	Rugosa	Plano	Creмосо	Grande/Opaca	Positivo	Bacilos grandes
RL - 4.1.3 B	Blanco	Ondulado	Irregular	Rugosa	Plano	Creмосо	Grande/Opaca	Positivo	Bacilos grandes
RL - 4.1.3 C	Blanco	Circular	Entero	Lisa	Plano	Creмосо	Pequeña/Opaca	Positivo	Bacilos
PLP - 4.11	Blanco	Circular	Entero	Lisa	Plano	Creмосо	Mediano/Traslucido	Negativo	Cocos
LO - 5.1	Blanquecino	Ondulado	Irregular	Rugosa	Plano	Mucoide	Grande/Traslucido	Positivo	Bacilos grandes
RR - 5 II	Blanco	Circular	Entero	Lisa	Plano	Creмоса	Pequeño/Opaco	Positivo	Bacilos pequeños
RR - 5I	Blanco	Circular	Entero	Lisa	Plano	Creмосо	Pequeño/Opaco	Positivo	Cocos racimo
RR - 4I A	Amarillo	Ondulado	Irregular	Rugosa	Plano	Creмосо	Mediana/Opaca	Positivo	Bacilos
RR - 4.1 B	Blanco	Ondulado	Irregular	Rugosa	Plano	Creмосо	Mediana/Opaca	Positivo	Bacilos grandes
PP - 5.1 A	Blanquecino	Ondulada	Irregular	Lisa	Plano	Creмосо	Grande/Opaco	Positivo	Bacilos
PP - 5.1 B	Blanco	Circular	Entero	Lisa	Plano	Creмосо	Grande/Opaco	Positivo	Bacilos grandes
PP - 5.1 C	Blanco	Circular	Entero	Lisa	Plano	Creмосо	Mediano/Opaco	Negativo	Bacilos
PP - 4.2 A	Blanco	Circular	Entero	Lisa	Plano	Creмосо	Grande/Opaco	Positivo	Cocos en racimo
PP - 4.2 B	Blanco	Circular	Entero	Lisa	Plano	Creмосо	Mediano/Opaco	Positivo	Cocos
PP - 4.2 C	Blanco	Circular	Entero	Lisa	Plano	Creмосо	Pequeño/Opaca	Positivo	Cocos en racimo
PP - 5.2 A	Blanco	Ondulado	Irregular	Rugosa	Plano	Creмосо	Mediano/Opaco	Positivo	Bacilos grandes
PP - 5.2 B	Blanco	Ondulado	Irregular	Rugosa	Plano	Creмосо	Mediano/Opaco	Negativo	Cocos
PP - 5.2 C	Blanquecino	Circular	Entero	Lisa	Plano	Creмосо	Pequeño/Opaco	Positivo	Bacilos
PP - 5.2 D	Amarillo	Ondulado	Irregular	Rugosa	Plano	Creмосо	Mediano/Opaco	Negativo	Cocos
BL - 5.1 A	Blanquecino	Circular	Entero	Lisa	Plano	Creмосо	Pequeño/translúcido	Negativo	Cocos
BL - 5.1 B	Amarillo claro	Circular	Entero	Lisa	Plano	Mucoide	Pequeño/translúcido	Positivo	Cocos en racimo
RL - 4.2.1	Amarillo	Circular	Entero	Lisa	Plano	Creмоса	Grande	Positivo	Diplococos
LO - 4.I	Blanco	Circular	Entero	Lisa	Plano	Creмоса	Pequeño	Positivo	Bacilos
RL - 4. I	Blanquecino	Circular	Irregular	Rugosa	Plano	Mucoide	Mediano	Positivo	Cocos
BL - 4.1.2	Blanco	Circular	Entero	Lisa	Plano	Creмоса	Pequeño	Positivo	Diplococos
RR - 4.2.2	Blanco	Circular	Entero	Lisa	Plano	Creмоса	Pequeño	Positivo	Diplococos
RL - 4.1.2	Amarillo	Irregular	Irregular	Lisa	Plano	Creмоса	Grande	Positivo	Cocos
RR - 4.I	Blanquecino	Irregular	Ondulado	Rugosa	Plano	Creмоса	Grande	Positivo	Cocos
RR - 4.2.1	Blanquecino	Irregular	Lobulado	Rugosa	Plano	Creмоса	Mediano	Positivo	Diplococos
RI - 5 II	Blanco	Circular	Entero	Liso	Plano	Creмоса	Pequeño	Positivo	Bacilos grandes
RR - 4 II	Blanco	Circular	Entero	Liso	Plano	Creмоса	Pequeño	Positivo	Diplococos
PP - 4I	Blanco	Circular	Entero	Liso	Plano	Creмосо	Pequeño	Positivo	Cocos
PP - 5I	Blanco	Circular	Rizado	Rugosa	Plano	Creмосо	Mediano	Negativo	Cocos
RL - 5.1	Amarillo	Irregular	Lobulado	Rugosa	Plano	Creмосо	Grande/Opaco	Positivo	Cocobacilo
LO - 4.2	Naranja	Circular	Entero	Liso	Plano	Creмосо	Mediano/Brillante	Positivo	Cocos en racimo
BL - 4.1.1	Amarilla	Irregular	Rizado	Liso	Plano	Creмосо	Mediano/Brillante	Positivo	Bacilos
BL - 5.2	Blanquecino	Circular	Entero	Liso	Plano	Creмосо	Pequeño/Brillante	Positivo	Cocos
LO - 5II	Amarillo	Circular	Lobulado	Rugosa	Plano	Mucoide	Mediano	Positivo	Cocos
RL - 4 II	Blanco	Circular	Entero	Lisa	Plano	Creмосо	Pequeño	Positivo	Cocos
LO - 5.1	Blanco	Circular	Lobulado	Rugosa	Poca elevación	Creмосо	Mediano	Positivo	Cocos
BL - 4.2	Blanco	Circular	Entero	Lisa	Plano	Creмосо	Mediano	Positivo	Bacilos
PP - 5 II	Blanco	Circular	Entero	Lisa	Plano	Creмосо	Pequeño	Positivo	Diplococo

INVESTIGACIÓN ORIGINAL / ORIGINAL RESEARCH

Tabla 2. Resultados de la incubación de los medios Minerales suplementado con fármacos, donde se observó turbidez en varios tubos de ensayo.

Tipo de fármaco Código	Fármacos antiinflamatorios no esteroideos				Fármacos psicotrópicos		
	Paracetamol	Diclofenaco	Naproxeno	Ibuprofeno	Alprazolam	Clonazepam	Carbamazepina
PP - 5.1	(+)	(++)	-	-	(+++)	(+++)	(++)
DP - 4.1.A	-	(++)	-	-	(++)	-	(++)
DP - 4.1.B	(++)	(++)	-	(+)	(+)	-	(++)
PP - 4 II	(++)	(++)	-	(+)	(++)	(+)	(+)
LO - 4.1	-	-	-	-	(+)	-	(+)
PLP - 4.1.1	-	-	(+)	-	-	-	-
PP - 4.1	(++)	(++)	-	-	-	-	(+)
LO - 4.1	(+)	-	-	-	-	-	-
LO - 5.2	-	-	-	-	-	-	-
RL - 4.1.1 A	(+)	-	-	-	-	-	-
RL - 4.1.1 B	-	-	-	-	(++)	(++)	-
RL - 4.1.1 C	-	-	(+)	-	(+++)	(+)	-
RL - 4.1.1 D	-	-	-	-	(+)	(++)	-
RL - 4.1.3 A	-	-	-	-	-	-	-
RL - 4.1.3 B	-	-	-	(+)	(+++)	(++)	-
RL - 4.1.3 C	-	-	-	-	-	-	-
PLP - 4.11	-	-	-	-	-	-	(+)
LO - 5.1	-	(+)	-	-	(+)	-	(+)
RR - 5 II	-	(+)	(+)	-	(+)	-	-
RR - 5I	-	-	-	-	(+++)	(+)	-
RR - 4I A	(+)	(+)	-	-	(+)	-	-
RR - 4.I B	-	(+)	-	-	(++)	-	-
PP - 5.1 A	-	-	-	-	(++)	(+++)	-
PP - 5.1 B	-	-	-	-	-	-	--
PP - 5.1 C	-	-	-	-	-	-	-
PP - 4.2 A	-	-	-	-	-	-	-
PP - 4.2 B	-	-	-	-	-	-	-
PP - 4.2 C	-	-	-	-	-	(+++)	-
PP - 5.2 A	-	-	-	-	-	-	-
PP - 5.2 B	-	-	-	(+)	(+)	-	-
PP - 5.2 C	(+)	-	-	(+)	-	-	-
PP - 5.2 D	-	-	-	-	-	-	-
BL - 5.1 A	-	-	-	(+)	(+++)	(+++)	-
BL - 5.1 B	-	-	-	(+)	(+)	(+++)	(+)
BL - 4.1 A	-	-	-	-	-	-	-
BL - 4.1 B	-	-	-	-	-	-	-
RL - 4.2.1	-	-	(+)	(+)	-	-	(+)
LO - 4.1	-	-	-	-	(+)	-	-
RL - 4. I	-	-	-	-	-	-	-
BL - 4.1.2	-	-	-	-	-	-	-
RR - 4.2.2	(+)	(++)	-	(+)	-	-	-
RL - 4.1.2	(+)	-	-	-	-	-	-
RR - 4.I	-	-	-	-	(+++)	(++)	-
RR - 4.2.1	(+)	-	-	-	(+)	-	-
RI - 5 II	-	-	-	-	(+)	-	-
RR - 4II	-	-	-	-	-	-	-
PP - 4I	-	-	-	-	-	-	-
PP - 5I	-	(+)	(+)	-	-	-	-
RL - 5.1	-	-	(+)	-	-	-	(+)
LO - 4.2	-	-	(+)	-	(+)	-	-
BL - 4.1.1	-	-	(+)	-	(+)	-	-
BL - 5.2	--	-	-	-	-	-	-
LO - 5II	-	(+)	(+)	-	(+)	-	-
RL - 4 II	-	-	(+)	-	(+)	(+)	(+)
LO - 5.1	-	-	-	(+)	(++)	-	-
BL - 4.2	-	-	(+)	-	(++)	-	-
PP - 5 II	-	-	(+)	-	-	-	-

Se colocaron cruces como índice de presencia de turbidez siendo (+++) el de mayor turbidez, (++) mediana turbidez y (+) poca turbidez. Los que no tuvieron turbidez se representa con un “-”

INVESTIGACIÓN ORIGINAL / ORIGINAL RESEARCH

Tabla 3. Se realiza la lectura de la Absorbancia en el espectrofotómetro, usando como onda de longitud en base a 600 nm

Tipo de fármaco Código	Fármacos antiinflamatorios no esteroideos				Fármacos psicotrópicos		
	Paracetamol	Diclofenaco	Naproxeno	Ibuprofeno	Alprazolam	Carbamazepina	Clonazepam
PP - 5.1	0.148	0.822	-	-	1.265	0,776	1,075
DP - 4.1.A	-	0.974	-	-	0.560	0,898	-
DP - 4.1.B	0.894	0.879	-	0,391	0.386	0,604	-
PP - 4 II	0.852	0.875	-	0,192	1.167	0,064	0,109
LO - 4.1	-	-	-	-	0,226	0,065	-
PLP - 4.1.1	-	-	0.146	-	-	-	-
PP - 4.1	0.954	0.888	-	-	-	0,095	-
LO - 4.1	0.255	-	-	-	-	-	-
LO - 5.2	-	-	-	-	-	-	-
RL - 4.1.1 A	0.135	-	-	-	-	-	-
RL - 4.1.1 B	-	-	-	-	0,820	-	0,775
RL - 4.1.1 C	-	-	0.110	-	1,121	-	0,210
RL - 4.1.1 D	-	-	-	-	0,063	-	0,972
RL - 4.1.3 A	-	-	-	-	-	-	-
RL - 4.1.3 B	-	-	-	0,133	1,213	-	0,635
RL - 4.1.3 C	-	-	-	-	-	-	-
PLP - 4.11	-	-	-	-	-	0,207	-
LO - 5.1	-	-	-	-	0,129	0,045	-
RR - 5 II	-	-	0.149	-	0,058	-	-
RR - 5I	-	-	-	-	1,429	-	0,203
RR - 4I A	0.172	0.236	-	-	0,213	-	-
RR - 4.I B	-	0.174	-	-	0,855	-	-
PP - 5.1 A	-	-	-	-	0,523	-	1,348
PP - 5.1 B	-	-	-	-	-	-	-
PP - 5.1 C	-	-	-	-	-	-	-
PP - 4.2 A	-	-	-	-	-	-	-
PP - 4.2 B	-	-	-	-	-	-	-
PP - 4.2 C	-	-	-	-	-	-	1,276
PP - 5.2 A	-	-	-	-	-	-	-
PP - 5.2 B	-	-	-	0,133	0,084	-	-
PP - 5.2 C	0.132	-	-	0,161	-	-	-
PP - 5.2 D	-	-	-	-	-	-	-
BL - 5.1 A	-	-	-	0,126	1,160	-	0,824
BL - 5.1 B	-	-	-	-	0,041	0,057	0,936
BL - 4.1 A	-	-	-	-	-	-	-
BL - 4.1 B	-	-	-	-	-	-	-
RL - 4.2.1	-	-	0.131	0,143	-	0,078	-
LO - 4.I	-	-	-	-	0,076	-	-
RL - 4. I	-	-	-	-	-	-	-
BL - 4.1.2	-	-	-	-	-	-	-
RR - 4.2.2	0.244	1.255	-	0,143	-	-	-
RL - 4.1.2	0.130	-	-	-	-	-	-
RR - 4.I	-	-	-	-	1.463	-	0,916
RR - 4.2.1	0.197	-	-	-	0-077	-	-
RI - 5 II	-	-	-	-	0.092	-	-
RR - 4 II	-	-	-	-	-	-	-
PP - 4I	-	-	-	-	-	-	-
PP - 5I	-	0.181	0.207	-	-	-	-
RL - 5.1	-	-	0.273	-	-	0,079	-
LO - 4.2	-	-	0.177	-	0.140	-	-
BL - 4.1.1	-	-	-	-	0.067	-	-
BL - 5.2	-	-	-	-	-	-	-
LO - 5II	-	0.233	0.192	-	0.092	-	0,110
RL - 4 II	-	-	0.182	-	0.124	0,100	-
LO - 5.1	-	-	-	0,160	0.320	-	-
BL - 4.2	-	-	0.142	-	0.722	-	-
PP - 5 II	-	-	0.197	-	-	-	-

La absorbancia inicial fue 0 para todas las cepas en los diferentes medios minerales con fármacos, la absorbancia final es la que figura en esta tabla.

INVESTIGACIÓN ORIGINAL / ORIGINAL RESEARCH

La identificación de colonias con características específicas destaca la riqueza morfológica de las bacterias analizadas, ofreciendo información valiosa sobre su adaptación a condiciones culturales particulares y sugiriendo posibles aplicaciones biotecnológicas.

Los patrones distintivos de respuesta a fármacos, junto con la absorbancia superior a 1 en algunas cepas, refuerzan el potencial de estas bacterias en el tratamiento de aguas residuales farmacéuticas. Estos hallazgos subrayan la importancia de considerar la diversidad bacteriana en estrategias de gestión ambiental y resaltan el papel clave de estas cepas en la eliminación de contaminantes farmacológicos en el entorno acuático.

Finalmente, este estudio proporciona información valiosa sobre microorganismos potenciales para la degradación de fármacos en aguas residuales, destacando la importancia de investigaciones adicionales para comprender mejor sus capacidades y aplicaciones prácticas en el tratamiento de efluentes farmacéuticos.

Correspondencia:

Roger Alberto Palomino Huarcaya
Correo electrónico: rpalomino@uroosevelt.edu.pe

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Matalone C. Historia de la industria farmacéutica. Buenos Aires: PlanetaFarma; 2021.
2. Loza E. AiNes en la práctica clínica: o que hay que saber. Información terapéutica del Sistema Nacional de Salud. 2023;35(3):88–95. (Citado el 20 de setiembre del 2023). Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4102096>
3. Prieto J. Antiinflamatorios no esteroideos (AINEs). ¿Dónde estamos y hacia donde nos dirigimos? (Primera parte). Científica dental. 2023;4(3):29–38. (Citado el 20 de setiembre del 2023). Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5368024>
4. Rivas F. Consumo de psicotrópicos en pacientes de un Centro de Salud Mental de Ica, Perú, 2021. Tesis de Grado. Ica: Universidad San Luis Gonzaga de Ica; 2023 (Citado el 20 de setiembre del 2023). Disponible en: <https://repositorio.unica.edu.pe/items/0397a79f-4071-4fc7-aa43-5c54587fbdff>
5. Correia A, Marcano L. Evaluación de las rutas de entrada de compuestos farmacéuticos de uso doméstico al ambiente caso estudio: municipio Valencia, estado Carabobo, Venezuela. Rev Int. Contam. Ambient. 2016 ;32(1):77–86. (Citado el 20 de setiembre del 2023). Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992016000100077
6. Th. Heberer, J. Stan. Determination of Clofibrilic Acid and N-(Phenylsulfonyl)-Sarcosine in Sewage, River and Drinking Water. International Journal of Environmental Analytical Chemistry. 1997; 67(1-4). DOI: 10.1080/03067319708031398
7. Jaimes J, Vera J. Los contaminantes emergentes de las aguas residuales de la industria farmacéutica y su tratamiento por medio de la ozonización. Informador técnico. 2020;84(2):249–63. (Citado el 20 de setiembre del 2023). Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7590764>
8. Sanchez M. Evaluación de la toxicidad y riesgo ambiental por dos contaminantes emergentes, diclofenaco e ibuprofeno, en organismos bioindicadores del ecosistema dulceacuicola: Daphnia Magna (pulga de agua), Lemna gibba (lenteja de agua) y Paracheirodon Innesi (pez tetra neón), para la estimación de estándares de calidad ambiental. Tesis de Título Profesional. Lima: Universidad Científica del Sur; 2019 (Citado el 20 de setiembre del 2023). Disponible en: <https://repositorio.cientifica.edu.pe/handle/20.500.12805/870>
9. Correia A, Marcano L. Presencia y eliminación de compuestos farmacéuticos en plantas de tratamientos de aguas residuales: Revisión a nivel mundial y perspectiva nacional. Boletín de Malariología y Salud Ambiental. 2015;55(1):1–18. (Citado el 20 de setiembre del 2023). Disponible en: https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1690-46482015000100001
10. Castro-Pastrana L, Banos M, López-Luna A, Torres-García B. Ecofarmacovigilancia en México: perspectivas para su implementación. Revista Mexicana de Ciencias Farmaceuticas. 2015;46(3):16–40. (Citado el 20 de setiembre del 2023). Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/303408300_Ecofarmacovigilancia_en_Mexico_perspectivas_para_su_implementacion
11. Rastogi A, Manoj Kumar Tiwari. Microbial Degradation of Pharmaceuticals. En: Sing S, Kumar A, Gupta T, Maliyekkal S, Editores. New Trends in Emerging Environmental Contaminants. Singapore: Springer Singapore; 2021. p. 183–210. (Citado el 20 de setiembre del 2023). Disponible en: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-16-8367-1_9
12. Rodarte-Morales A, Moreira M, Feijoo G, Lema JM.

INVESTIGACIÓN ORIGINAL / ORIGINAL RESEARCH

- Evaluation of two fungal strains for the degradation of Pharmaceutical and Personal Care Products (PPCPs). *Chemical Engineering Transactions*. 2010;20:31-36. DOI: 10.3303/CET1020006
13. Morales L, Mendez G. Biorremediación de carbamazepina por hongos y bacterias en aguas residuales. *Revista Bionatura* . 2021; 6(2): 1851-1857.
 14. Merma D. Identificación y cuantificación de residuos antidepressivos citalopram, fluoxetina, venlafaxina y sertralina en muestras de agua de río Osmore. Tesis de Título Profesional. Moquegua: Universidad Nacional de Moquegua; 2022. (Citado el 20 de setiembre del 2023). Disponible en: <https://repositorio.unam.edu.pe/items/ca3b511f-5e0c-448a-ad21-b4392c641089>
 15. Casado C. Degradación de naproxeno y carbamazepina por tratamientos microbiológicos. Urjces. Tesis de Bachiller. Mostoles, España: Universidad Rey Juan Carlos; 2023 (Citado el 20 de setiembre del 2023). Disponible en: <https://burjcdigital.urjc.es/handle/10115/7910>
 16. Camacho EM, Aulestia M, Andújar A, Flores A, Medina C, Santero E. En busca de bacterias degradadoras de medicamentos. Poster en Congreso. Murcia, España: Congreso Nacional de Biotecnología (Biotec 2017); 2017.
 17. Romero X, Labra L, Jimenez S. Adaptación de cepas del género *Pseudomonas* provenientes de composta para la degradación de naproxeno sódico. Expo Ibero Otoño 2022. San Andrés Cholula: Ibero Puebla; 2022. (Citado el 20 de setiembre del 2023). Disponible en: <http://repositorio.iberopuebla.mx/handle/20.500.11777/5575>
 18. Marchlewicz A, Domaradzka D, Guzik U, Wojcieszynska D. *Bacillus thuringiensis* B1(2015b) is a Gram-Positive Bacteria Able to Degrade Naproxen and Ibuprofen. *Water Air Soil Pollut*. 2016;227:197. doi: 10.1007/s11270-016-2893-0

Recibido: 25/09/2023

Aceptado: 20/12/2023