

Potencial de *Pseudomonas* spp del Manglar Churute para la biorremediación de hidrocarburos

Potential of *Pseudomonas* spp from the Churute Mangrove for the bioremediation of hydrocarbons

Potencial da *Pseudomonas* spp do Manglar Churute para a biorremediação de hidrocarbonetos

Abasolo-Pacheco, Fernando
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
fabasolo@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-2268-7432>



Gallo-Saldarriaga, Angie Milena
Investigadora Independiente
angiegallo92@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0006-3602-0718>



Aguirre-Moreno, Joselin Kimberlin
Investigadora Independiente
j.kimberlin_11@hotmail.com
<https://orcid.org/0009-0004-1712-7435>



Alava-Garcia, Nathaly Lucero
Investigadora Independiente
nalavag@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0000-7919-4191>



Campuzano-Santana, Karla Leticia
Investigadora Independiente
karlalcs26@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0002-2061-1637>



DOI / URL: <https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v6/nE2/1061>

Como citar:

Abasolo-Pacheco, F., Gallo-Saldarriaga, A. M., Aguirre-Moreno, J. K., Alava-Garcia, N. L., & Campuzano-Santana, K. L. (2025). Potencial de *Pseudomonas* spp del Manglar Churute para la biorremediación de hidrocarburos. *Código Científico Revista De Investigación*, 6(E2), 1045–1059.

Recibido: 27/09/2025

Aceptado: 28/09/2025

Publicado: 30/09/2025

Resumen

La investigación abordó la capacidad de bacterias del género *Pseudomonas* spp aisladas del manglar Churute para la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos. Este problema ambiental ha impactado negativamente la biodiversidad y ha alterado los servicios ecosistémicos del manglar. El objetivo general consistió en evaluar la eficacia de *Pseudomonas* spp en la degradación de hidrocarburos, identificando cepas con mayor potencial biorremediador y analizando su interacción en consorcios microbianos para optimizar el proceso. La metodología incluyó la recolección de muestras de suelo contaminado, el aislamiento y la caracterización bioquímica y morfológica de *Pseudomonas* spp, así como pruebas de degradación de hidrocarburos y la evaluación de consorcios microbianos. Se efectuaron además ensayos de adaptabilidad para analizar la resistencia de las cepas en ambientes contaminados. Los resultados indicaron que determinadas cepas presentaron alta capacidad de degradación, especialmente cuando se combinaron en consorcios microbianos, lo que incrementó la eficiencia del proceso biorremediador. Asimismo, se determinó que estas bacterias provenían de zonas altamente contaminadas, lo que resaltó su adaptabilidad y potencial para la recuperación de suelos degradados. En conclusión, el estudio confirmó que *Pseudomonas* spp constituye una alternativa eficaz y sostenible para la descontaminación del manglar Churute.

Palabras clave: biodegradación, resiliencia, biosurfactantes, biotecnología.

Abstract

The research addressed the capacity of bacteria of the genus *Pseudomonas* spp isolated from the Churute mangrove forest for the bioremediation of soils contaminated with hydrocarbons. This environmental problem has negatively impacted biodiversity and altered the ecosystem services of the mangrove forest. The overall objective was to evaluate the effectiveness of *Pseudomonas* spp. in hydrocarbon degradation, identifying strains with greater bioremediation potential and analyzing their interaction in microbial consortia to optimize the process. The methodology included the collection of contaminated soil samples, the isolation and biochemical and morphological characterization of *Pseudomonas* spp, as well as hydrocarbon degradation tests and the evaluation of microbial consortia. Adaptability tests were also carried out to analyze the resistance of the strains in contaminated environments. The results indicated that certain strains had a high degradation capacity, especially when combined in microbial consortia, which increased the efficiency of the bioremediation process. It was also determined that these bacteria came from highly contaminated areas, highlighting their adaptability and potential for the recovery of degraded soils. In conclusion, the study confirmed that *Pseudomonas* spp. is an effective and sustainable alternative for the decontamination of the Churute mangrove.

Keywords: biodegradation, resilience, biosurfactants, biotechnology.

Resumo

A pesquisa foi realizada no laboratório de aquicultura da Faculdade de Ciências Biológicas e da Pecuária (FCPB) pertencente à Universidade Técnica Estadual de Quevedo, o objetivo foi avaliar a influência da composição iônica da água de poço no desenvolvimento inicial de *Penaeus vannamei* em condições de baixa salinidade, foi utilizado um Delineamento Inteiramente Casualizado em condições controladas de laboratório, sendo T1 (Controle), T2 (0,1 mg Ca²⁺, 1,2 mg Mg²⁺, 0,4 mg K⁺), T3 (0,2 mg Ca²⁺, 2,2 mg Mg²⁺, 0,8 mg K⁺), T4 (0,4 mg Ca²⁺, 4,2 mg Mg²⁺, 1,4 mg K⁺), foram utilizados 12 tabuleiros de 70 Lt com uma densidade de 50 pós-larvas /gaveta para um total de 600 pós-larvas número 12 distribuídas em

4 tratamientos de equilibrio iónico de agua de poço com 3 repetições, os resultados para as variáveis de fisiologia e bem-estar dos organismos apresentaram maior presença de necrose 31%, azulado 37%, com cromatóforos estendidos 39% nos tratamentos com água de poço; Os parâmetros de sobrevivência, peso final e eficiência alimentar foram significativamente afetados pelas doses desses nutrientes, embora não tenham sido observadas diferenças no crescimento em comprimento ou na eficiência alimentar, indicando que esses aspectos não são influenciados por variações nas doses; os parâmetros de qualidade da água estavam dentro das faixas ótimas, os dados mostram que o balanço iônico da água de poço deve ser ajustado para melhorar os níveis de sobrevivência dos peixes.

Palavras-chave: biodegradação, resiliência, biossurfactantes, biotecnologia.

Introducción

Los manglares son ecosistemas costeros de alta productividad ecológica, cuya dinámica está determinada por regímenes de marea y precipitaciones intensas en la franja ecuatorial. Estas formaciones cumplen funciones clave en el almacenamiento de carbono, la provisión de hábitats para numerosas especies y la protección de las zonas costeras frente a eventos extremos, siempre que se gestionen de forma sostenible (Cedeño, 2019).

El manglar Churute, localizado en la costa sur de Ecuador, representa un sistema de alto valor ecológico, económico y cultural. Su biodiversidad sustenta actividades pesqueras, ecoturísticas y de aprovechamiento de recursos naturales, además de mantener prácticas de conocimiento tradicional que favorecen su conservación. Sin embargo, este ecosistema enfrenta presiones derivadas de la deforestación, la expansión antrópica y la contaminación, lo que compromete su integridad funcional (Montes *et al.*, 2018).

Entre los principales factores de deterioro se encuentra la contaminación por hidrocarburos, asociada al transporte marítimo y a procesos industriales. Estos compuestos afectan negativamente la flora y fauna, alteran la resiliencia del ecosistema y reducen su capacidad de brindar servicios ecosistémicos esenciales (Castro y Castillo, 2024; Rodríguez *et al.*, 2022). Frente a esta problemática, la biorremediación ha emergido como una estrategia sostenible en comparación con los métodos físico-químicos convencionales, debido a su menor impacto ambiental y mayor viabilidad en zonas naturales (Garzón *et al.*, 2017).

Las bacterias del género *Pseudomonas* spp. han sido reconocidas por su capacidad de degradar compuestos orgánicos complejos, incluyendo hidrocarburos, mediante rutas metabólicas especializadas. Diversos estudios han demostrado su eficacia en la recuperación de suelos contaminados, y aunque su aplicación en ecosistemas de manglar ha sido menos documentada, los resultados obtenidos son alentadores (Rodríguez-Gonzales *et al.*, 2022). En este contexto, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar el potencial de *Pseudomonas* spp. aisladas del manglar Churute para la degradación de hidrocarburos, con el fin de aportar evidencia científica que respalde su aplicación como alternativa de biorremediación y recuperación de suelos contaminados en este ecosistema.

Metodología

Las muestras de suelo se recolectaron en cinco puntos representativos del manglar Churute, provincia del Guayas (Ecuador), seleccionados en función de los niveles de contaminación por hidrocarburos. En cada sitio se extrajeron aproximadamente 10 g de suelo húmedo de la capa superficial (5–10 cm), por triplicado, mediante muestreo aleatorio simple. Las muestras se colocaron en bolsas de polietileno estériles, se mantuvieron en frío y se trasladaron al Laboratorio de Microbiología de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, ubicado en el km 7 ½ de la vía Quevedo–El Empalme, Recinto San Felipe, cantón Mocache, provincia de Los Ríos, entre las coordenadas 666862.47 Este y 9880225.04 Norte (Zona 17 M), a una altitud de 73 m s.n.m., donde fueron conservadas a 4 °C hasta su procesamiento.

En el laboratorio, las muestras fueron sometidas a diluciones seriadas (10^{-1} a 10^{-8}) y sembradas en agar nutritivo mediante extensión en superficie. Las placas se incubaron a 27–28 °C durante 24 h y se realizó el conteo de colonias, expresando los resultados en unidades formadoras de colonia por gramo de suelo. A partir de estos cultivos se aislaron bacterias en medio selectivo King-B, y las cepas fueron caracterizadas mediante pruebas morfológicas y

bioquímicas (Gram, catalasa y oxidasa) para confirmar su pertenencia al género *Pseudomonas* spp. Las colonias seleccionadas se incubaron en medios diferenciales y se evaluaron sus características macroscópicas y microscópicas, identificándose aquellas con mayor potencial de degradación de hidrocarburos.

Para los ensayos de biorremediación se utilizó medio Bushnell-Haas (BH) suplementado con diésel al 10 % (v/v) como única fuente de carbono. Se inocularon 10 g de suelo contaminado en matraces Erlenmeyer de 250 mL con 100 mL de medio BH estéril y se incubaron a 30 °C durante siete días con agitación constante (150 rpm). Se realizaron seis subcultivos sucesivos para favorecer la adaptación bacteriana y posteriormente se seleccionaron colonias fenotípicamente distintas, que fueron purificadas y conservadas en glicerol al 20 % a -40 °C. La capacidad de degradación de hidrocarburos se determinó mediante espectrofotometría UV a 256 nm en intervalos de 0, 24, 72, 96 y 168 h, aplicando la fórmula de Zhang *et al.* (2022) para calcular el porcentaje de degradación.

Adicionalmente, se evaluó la resistencia de los aislados frente a antibióticos de amplio espectro (ampicilina, ciprofloxacina, cefalexina y claritromicina, a 500 mg/L) mediante la técnica de difusión en discos. Se registró la presencia o ausencia de halos de inhibición como indicador de tolerancia. Para analizar la interacción entre cepas, se efectuaron pruebas de sinergismo y antagonismo en medio TSA, seleccionándose aquellas combinaciones que evidenciaron efectos positivos para conformar consorcios microbianos. Los consorcios fueron cultivados en medio BH suplementado con hidrocarburos, incubados a 30 °C y 150 rpm, midiéndose la densidad óptica a 564 nm en diferentes intervalos de tiempo para estimar la degradación fraccionaria de los compuestos. El diseño experimental correspondió a un Diseño Completamente al Azar (DCA) con tratamientos y repeticiones según el tipo de prueba. Los datos de degradación se sometieron a análisis de varianza (ADEVA) y las diferencias entre

medias se evaluaron mediante pruebas de significancia Tukey, con un nivel de confianza del 95 %.

Resultados

Caracterización de zonas de muestreo

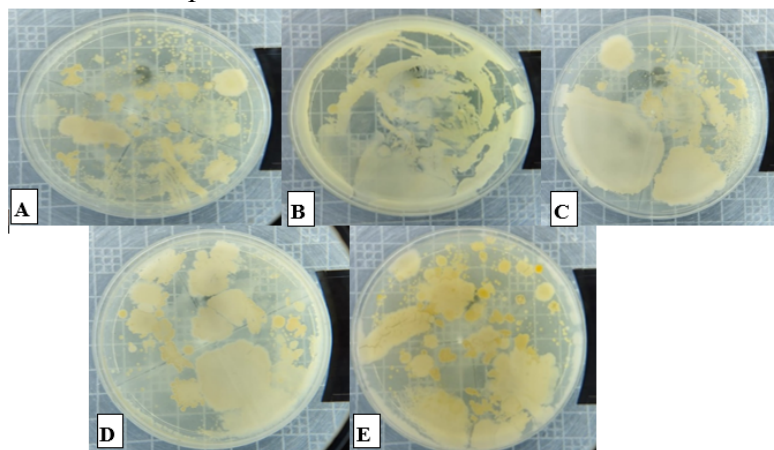
En las zonas más contaminadas como el sendero y la camaronera, los suelos presentaron características fangosas, arcillosas y limosas, con un color grisáceo, lo que sugiere una alta retención de hidrocarburos y menor oxigenación. En estas áreas se registró una mayor densidad microbiana, lo que indica una posible actividad degradadora intensificada en condiciones de alta contaminación. En zonas menos contaminadas como la estación de bombeo y la desembocadura, los suelos mostraron un color menos gris y un mayor crecimiento, lo que sugiere menor concentración de hidrocarburos y un ecosistema en proceso de recuperación. En el punto de control embarcación, el suelo presentó una textura arcillosa y un color pardo oscuro, acompañado de una vegetación más densa, sirviendo como referencia para las demás áreas.

Aislamiento en medio King-B

El aislamiento de bacterias del género *Pseudomonas* en medio King-B mostró diferencias en la abundancia de colonias según el nivel de contaminación de las zonas de muestreo. Las áreas con mayor impacto, correspondientes al Sendero (muestra 1) y la Camaronera (muestra 2), presentaron un crecimiento más intenso de colonias, lo que confirma que la concentración de hidrocarburos influye directamente en la proliferación de estas bacterias. En contraste, las zonas menos contaminadas como la Estación de Bombeo (muestra 3), la Desembocadura (muestra 4) y el punto de control Embarcación (muestra 5) mostraron un crecimiento reducido, reflejando la menor disponibilidad de hidrocarburos como sustrato metabólico (Figura 1).

Figura 1

Crecimiento de Pseudomonas, provenientes de las muestras de suelos en estudio



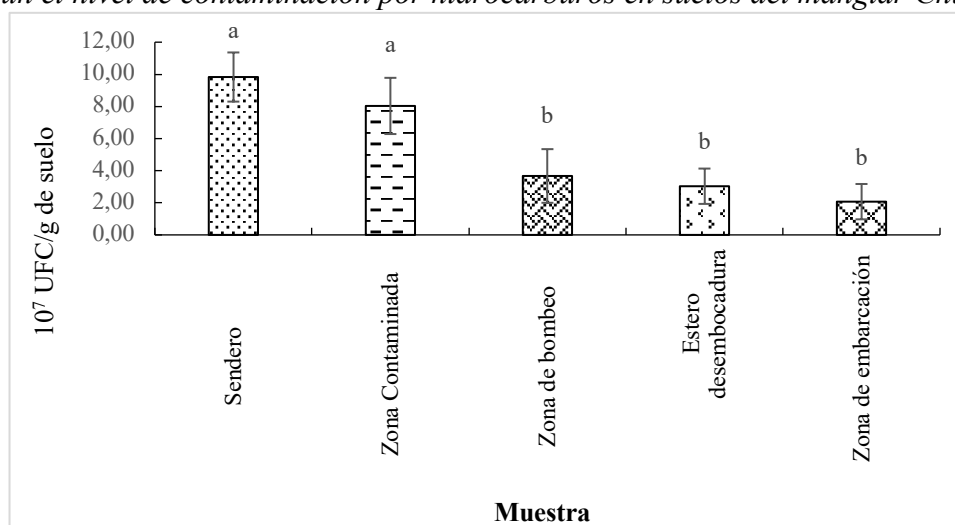
Nota: A: sendero, B: zona camaronera, C: zona bombeo, D: estero desembocadura, E: zona de embarcación (Autores, 2025).

Cuantificación de bacterias

La cuantificación microbiana reveló diferencias significativas en la cantidad de unidades formadoras de colonia por gramo de suelo (UFC/g) entre los puntos de muestreo. El sendero y la camaronera presentaron los valores más altos con $9,83 \times 10^7$ UFC/g y $8,03 \times 10^7$ UFC/g respectivamente, evidenciando una mayor proliferación de *Pseudomonas* spp. en las zonas con mayor concentración de hidrocarburos. En contraste, el punto de control correspondiente a la embarcación registró el valor más bajo con $2,07 \times 10^7$ UFC/g, asociado a condiciones menos contaminadas (Figura 2).

Figura 2

UFC según el nivel de contaminación por hidrocarburos en suelos del manglar Churute



Nota: medias con la misma letra en la columna no difieren significativamente entre sí según la prueba de Tukey ($p < 0.05$) (Autores, 2025).

Caracterización macroscópica de UFC

Las colonias de *Pseudomonas* spp. mostraron amplia variabilidad morfológica en los medios de cultivo, lo que permitió diferenciarlas con base en su forma, borde y elevación, se observaron colonias circulares, irregulares y granulares, con bordes enteros, ondulados y lobulados. En cuanto a la elevación, predominaron colonias convexas y planas, mientras que en menor frecuencia se registraron formas elevadas. Esta diversidad macroscópica reflejó la capacidad adaptativa de las cepas a las condiciones ambientales del manglar y permitió seleccionar aislados con características diferenciales que posteriormente fueron sometidos a ensayos de degradación de hidrocarburos (Tabla 1).

Tabla 1
Caracterización macroscópica de UFC

Cepas	Forma			Elevación			Borde		
	Circular	Irregular	Granular	Plana	Elevada	Convexa	Entero	Ondulado	Serrado
E1-5	—	+	—	+	—	—	—	+	+
C1-3	+	—	—	—	—	+	—	+	+
C1-2	+	—	—	+	—	—	+	—	+
C1	—	+	—	—	—	+	—	+	+
E1-3	—	+	—	+	—	—	+	—	+
ZE1-2	—	+	—	—	—	+	+	—	+
ZB1-3	—	+	—	—	—	+	+	—	+
ZB1	—	+	—	+	—	—	—	+	+
E-1	+	—	—	—	—	+	—	+	—
E1-2	+	—	—	—	—	+	—	+	—

Nota: los signos "+" indican la presencia de una característica específica para cada cepa (como una forma, una elevación o un borde determinado). Los signos "-" indican la ausencia de esa característica para la cepa específica (Autores, 2025).

Caracterización microscópica de las cepas

La caracterización microscópica y bioquímica de las cepas aisladas en King Agar evidenció que la mayoría fueron Gram positivas, presentaron actividad catalasa y proteasa, y crecieron en condiciones aeróbicas, lo que sugiere una elevada capacidad metabólica en ambientes contaminados por hidrocarburos. En contraste, no se detectó actividad celulolítica, lo que indica que su potencial biorremediador se orienta hacia compuestos distintos a la celulosa. Estos resultados permitieron establecer un perfil funcional de los aislados,

constituyendo un criterio para su selección en los ensayos de degradación posteriores (Tabla 2).

Tabla 2

Caracterización microscópica y bioquímica de cepas aisladas en la zona de estudio

Cepas	Tinción de Gram	Catalasa	Crecimiento aeróbico	Ureasa	Proteasa	Celulosa
E1-5	+	*	*	*	*	0
C1-3	+	*	*	*	*	0
C1-2	+	*	*	*	*	0
C1	+	*	*	*	*	0
E1-3	+	*	*	*	*	0
ZE1-2	+	*	*	*	*	0
ZB1-3	+	*	*	*	*	0
ZB1	+	*	*	*	*	0
E-1	-	*	*	*	*	0
E1-2	-	*	*	*	*	0

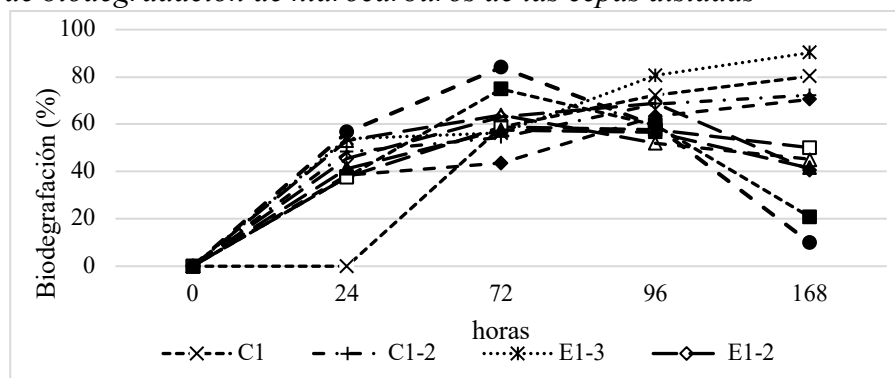
Nota: “+”: Indica que la cepa es Gram positiva, “-”: Indica que la cepa es Gram negativa “*”: indica que la cepa presenta esa característica, “0”: indica que la cepa no presenta esa característica (Autores, 2025).

Porcentaje de degradación de hidrocarburos por aislados bacterianos

La evaluación del porcentaje de degradación de hidrocarburos evidenció diferencias entre los aislados bacterianos durante el periodo de incubación (0, 24, 72, 96 y 168 h). A las 72 horas, varias cepas alcanzaron sus valores máximos, superando el 70 % de biodegradación. Al finalizar el ensayo, a las 168 horas, los aislados E1-3 y C1 se destacaron como los más eficientes, con promedios de 90,21 % y 80,23 % de degradación, respectivamente. Por otra parte, la cepa C1-3 y ZB-1 presentaron los porcentajes más bajo con 10 y 20,86% respectivamente, mientras que los demás aislados mostraron valores intermedios entre el 40 % y el 70 %.

Figura 3

Porcentaje de biodegradación de hidrocarburos de las cepas aisladas



Nota: (Autores, 2025).

Antibiograma de las cepas aisladas

El antibiograma de las cepas de *Pseudomonas* spp. aisladas del manglar Churute evidenció un patrón variable frente a los antibióticos evaluados. La mayor susceptibilidad se registró frente a ampicilina y claritromicina (60 %), seguida de ciprofloxacina (30 %), mientras que cefalexina mostró la menor efectividad con solo un 20 % de cepas inhibidas. A nivel individual, cepas como C1 y E1-3 presentaron alta susceptibilidad a ciprofloxacina y cefalexina, mientras que aislados como E1-5 y E-1 se mostraron resistentes a la mayoría de los compuestos, reflejando adaptaciones diferenciales al ambiente contaminado.

Tabla 3

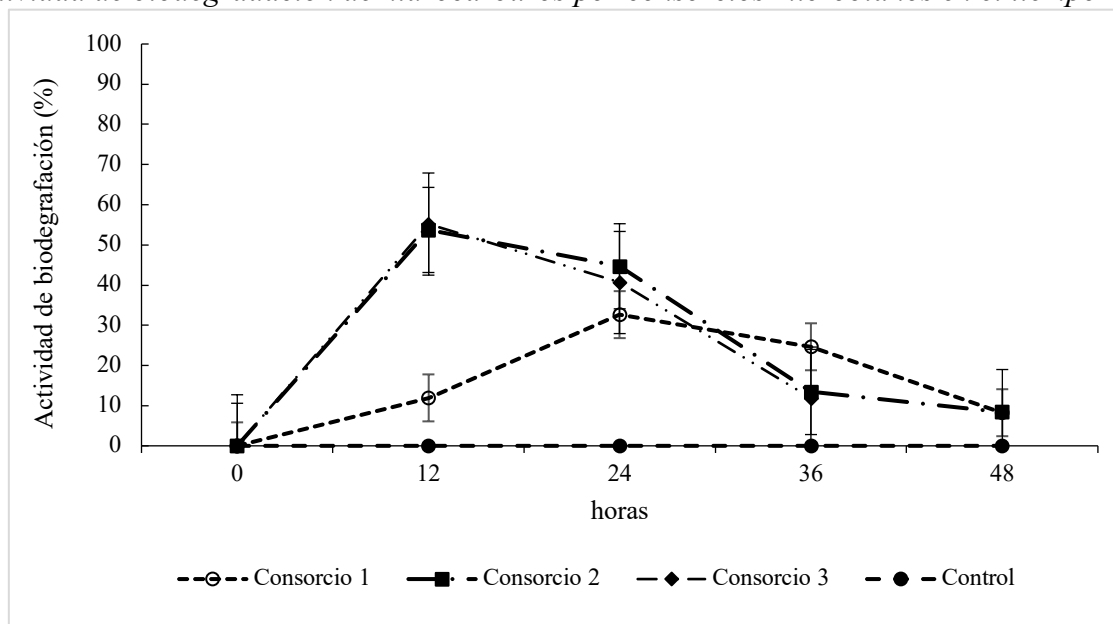
Perfil de susceptibilidad antimicrobiana de cepas de Pseudomonas spp. aisladas del manglar Churute

Cepa	Ampicilina	Ciprofloxacina	Cefalexina	Claritromicina
E1-5	-	-	+	+
C1-3	+	++	+	-
C1-2	-	+	+	-
C1	-	++	+	-
E1-3	-	++	++	-
ZE1-2	+	+	++	+
ZB1-3	+	+	++	+
ZB1	+	+	++	+
E-1	-	-	-	-
E1-2	-	-	-	-
% susceptibilidad	60%	30%	20%	60%

Nota: (+) Susceptible: La bacteria es sensible al antibiótico y su crecimiento se ve afectado. (++) Alta susceptibilidad: La bacteria es muy sensible al antibiótico y su crecimiento se inhibe considerablemente. (-) Resistente: La bacteria no se ve afectada por el antibiótico y sigue creciendo normalmente (Autores, 2025).

Degradación de hidrocarburos, mediante consorcios microbiano

La evaluación de la biodegradación de hidrocarburos por consorcios microbianos evidenció diferencias marcadas en la eficiencia de los aislados combinados. Los consorcios 2 y 3 alcanzaron los valores más altos de degradación, con promedios de 53,72 y 55,18 % a las 24 horas con 44,68 y 40,64% respectivamente, mientras que el consorcio 1 mostró un incremento más lento, alcanzando el 32,64 % a las 24 horas, a partir de esta hora todos los consorcios presentaron una tendencia descendente, reduciéndose hasta valores inferiores al 10 % a las 48 h, mientras que el control no registró actividad significativa en ningún momento del ensayo (Figura 4).

Figura 4*Actividad de biodegradación de hidrocarburos por consorcios microbianos en el tiempo*

Nota: (Autores, 2025).

Discusión

Los resultados de esta investigación demuestran que *Pseudomonas* spp. aisladas del manglar Churute presentan una notable capacidad de adaptación y actividad metabólica en suelos contaminados con hidrocarburos. En las zonas más impactadas, caracterizadas por suelos fangosos y pobremente oxigenados, se registró la mayor densidad microbiana, lo que confirma que la contaminación estimula la proliferación de estas bacterias. Este hallazgo coincide con lo reportado por Vizuite-García *et al.* (2020) y Rodríguez *et al.* (2019), quienes documentaron que la presencia de hidrocarburos favorece el desarrollo de *Pseudomonas* al incrementar su capacidad de supervivencia y su metabolismo especializado. Por el contrario, en áreas menos contaminadas como la Estación de Bombeo y la Desembocadura se observó menor predominancia de estas bacterias, lo que se relaciona con lo señalado por Araújo *et al.* (2020), quienes vinculan la recuperación de los manglares con la restitución de la diversidad microbiana y el equilibrio ecológico.

El aislamiento en medio selectivo King-B confirmó que la abundancia de colonias estuvo directamente asociada al nivel de contaminación, reforzando el papel de *Pseudomonas* spp. como microorganismos clave en procesos de biorremediación. Investigaciones similares, como las de Vizuite-García *et al.* (2020) y Ugaz-Hoyos *et al.* (2020), evidencian que más del 80 % de las cepas evaluadas en ambientes contaminados lograron utilizar petróleo como fuente primaria de carbono en periodos cortos de incubación, lo que subraya su plasticidad metabólica.

En la caracterización bioquímica, la presencia de actividad catalasa y proteasa, junto con el crecimiento aeróbico, resalta la capacidad de las cepas para mantener un metabolismo activo en condiciones contaminadas. Esto se relaciona con lo reportado por Hassen *et al.* (2018), quien destaca la producción de biosurfactantes como un factor determinante para mejorar la biodisponibilidad de contaminantes y sostener la actividad degradadora en condiciones adversas de temperatura y pH. De manera complementaria, estudios como los de Coelho *et al.* (2020) amplían el alcance de estas bacterias, al demostrar que *Pseudomonas stutzeri* y *Pseudomonas rhizophila* son capaces de remover metales pesados, consolidando su rol en la restauración integral de ecosistemas impactados.

La degradación de hidrocarburos por cepas individuales mostró diferencias significativas, con algunos aislados alcanzando hasta un 90 % de degradación en las primeras 72 horas. Estos valores son comparables con lo documentado por Bohórquez y Castiblanco (2021), quienes subrayan la importancia de los biosurfactantes particularmente ramnolípidos y lipopeptidas en la reducción de la tensión interfacial agua-petróleo, lo que facilita la movilidad y posterior degradación de los contaminantes. Del mismo modo, Rabelo-Florez *et al.* (2020) y Kaminski *et al.* (2018) reportaron eficiencias superiores al 80 % en cepas de *Pseudomonas* spp. en suelos contaminados, lo que refuerza la eficacia de los aislados obtenidos en este estudio.

El análisis de consorcios microbianos confirmó que la interacción sinérgica entre cepas incrementa la eficiencia biorremediadora, con valores de degradación superiores a los

alcanzados por cultivos individuales. Estos resultados coinciden con Booth y Rice (2020), quienes destacan que la organización espacial en biopelículas influye en la accesibilidad a los contaminantes, y con Louca *et al.* (2018), que enfatizan la importancia de la redundancia funcional para mantener la estabilidad y resiliencia del sistema. Venturelli (2018) añade que los consorcios pueden diseñarse mediante ensamblaje dirigido o evolución natural; en este estudio, la selección controlada de cepas permitió un ensamblaje efectivo, aunque se reconoce que la evolución en condiciones naturales podría optimizar su desempeño a largo plazo.

Finalmente, los resultados del antibiograma revelaron un perfil de resistencia variable, con cepas sensibles a ampicilina y claritromicina, pero resistentes a cefalexina y ciprofloxacina en la mayoría de los casos. Esta resistencia parcial puede asociarse a la presión selectiva derivada de contaminantes ambientales, en concordancia con lo señalado por Sun *et al.* (2021) y Coelho *et al.* (2020), quienes relacionan la exposición a ambientes extremos con el desarrollo de mecanismos de resistencia antimicrobiana. La estabilidad de biosurfactantes en condiciones extremas, como documentaron Hassen *et al.* (2018), refuerza la hipótesis de que las cepas aisladas del manglar Churute han desarrollado adaptaciones metabólicas especializadas que les permiten sostener procesos de biorremediación y tolerancia a compuestos tóxicos.

Conclusión

La caracterización bioquímica y molecular de las cepas aisladas permitió identificar genes asociados a la producción de biosurfactantes y a la degradación de hidrocarburos, confirmando que aquellas resistentes a condiciones extremas presentaron una mayor capacidad para transformar contaminantes en compuestos menos tóxicos. La eficacia del proceso biorremediador estuvo condicionada por la composición fisicoquímica del suelo, la concentración de hidrocarburos y la interacción con otras bacterias, observándose que los suelos con mayor contenido de materia orgánica favorecieron el crecimiento de *Pseudomonas*

spp. y optimizaron su actividad metabólica. Los resultados demostraron que las cepas aisladas del manglar Churute poseen un alto potencial biorremediador, alcanzando porcentajes de degradación superiores al 80 % en 168 horas, con una mayor eficiencia en los consorcios microbianos, donde la interacción entre cepas aceleró significativamente el proceso en comparación con los cultivos individuales.

Referencias bibliográficas

- Araújo, M., Hamacher, C., Martinho, P., de Oliveira, F., y Gomes, M. (2020). Assessment of brazilian mangroves hydrocarbon contamination from a latitudinal perspective. *Marine Pollution Bulletin*, 150, 110673. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110673>
- Bohórquez Rodríguez, A. M., & Castiblanco Urrego, O. (2021). Revisión del uso de biosurfactantes para su implementación en los procesos de recuperación mejorada de petróleo. *Inventum*, 16(31), 4–14. <https://doi.org/10.26620/uniminuto.inventum.16.31.2021.4-14>
- Booth, S. C., y Rice, S. A. (2020). Influence of interspecies interactions on the spatial organization of dual species bacterial communities. *Biofilm*, 2, 100035.
- Castro, C., y Castillo, L. (2024). Contaminantes orgánicos persistentes: Impactos y medidas de control. *Manglar*, 21(1), 135-148. <https://doi.org/10.57188/manglar.2024.014>
- Cedeño, C. (2019). Análisis de Infraestructura turística en la parroquia San Andrés de Canoa del Cantón San Vicente de la Provincia de Manabí, República del Ecuador. 2018 [Universidad San Gregorio de Portoviejo]. <http://repositorio.sangregorio.edu.ec/handle/123456789/1148>
- Coelho, C., Oliveira, G., Pires, J. A., Pereira, L., Pennafirme, S., de Azevedo, D., Seldin, L., y Araújo, M. (2020). Potential application of *Pseudomonas stutzeri* W228 for removal of copper and lead from marine environments. *PLoS One*, 15(10), e0240486. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0240486>
- Garzón, J., Rodríguez, J., y Hernández, C. (2017). Aporte de la biorremediación para solucionar problemas de contaminación y su relación con el desarrollo sostenible. *Universidad y Salud*, 19(2), 309. <https://doi.org/10.22267/rus.171902.93>
- Hassen, W., Neifar, M., Cherif, H., Najjari, A., Chouchane, H., Driouich, R., Salah, A., Naili, F., Mosbah, A., Souissi, Y., Raddadi, N., Ouzari, H., Fava, F., y Cherif, A. (2018). *Pseudomonas rhizophila* S211, a New Plant Growth-Promoting Rhizobacterium with Potential in Pesticide-Bioremediation. *Frontiers in Microbiology*, 9, 34. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00034>
- Kaminski, M., Furmanczyk, E., Sobczak, A., Dziembowski, A., y Lipinski, L. (2018). *Pseudomonas silesiensis* sp. nov. strain A3T isolated from a biological pesticide sewage treatment plant and analysis of the complete genome sequence. *Systematic and applied microbiology*, 41(1), 13-22.

- Louca, S., Polz, M., Mazel, F., Albright, M., Huber, J., O'Connor, M., Ackermann, M., Hahn, A., Srivastava, D., y Crowe, S. (2018). Function and functional redundancy in microbial systems. *Nature ecology & evolution*, 2(6), 936-943.
- Montes, M., Lovato, S., y Mite, M. (2018). La gestión y administración en las áreas marinas protegidas del Ecuador: caso reserva ecológica manglares churute. *Revista Universidad y Sociedad*, 10(5), 126-139.
- Rabelo-Florez, R., Cuadrado-Cano, B., Márquez-Gómez, M., Quintero-Caviedes, J., y De La Rosa-Martínez, D. (2020). Detección de *Pseudomonas* spp. En la bahía de Cartagena. *Revista de Investigaciones Universidad del Quindío*, 32(1), 30-41.
- Rodríguez, A., Pérez, F., y Sánchez, M. (2019). Impacto de la contaminación por hidrocarburos en la estructura de la microbiota del suelo: un enfoque en *Pseudomonas*. *Ecología Microbiana*, 17(2), 89-101.
- Rodríguez-Gonzales, A., Zárate-Villarroe, S., y Bastida-Codina, A. (2022). Biodiversidad bacteriana presente en suelos contaminados con hidrocarburos para realizar biorremediación. *Revista de Ciencias Ambientales*, 56(1), 178-208.
- Sun, W., Zhu, B., Yang, F., Dai, M., Sehar, S., Peng, C., Ali, I., y Naz, I. (2021). Optimization of biosurfactant production from *Pseudomonas* sp. CQ2 and its application for remediation of heavy metal contaminated soil. *Chemosphere*, 265, 129090.
- Ugaz-Hoyos, J., Vega-Cruz, H., Iglesias-Osores, S., y Carreño-Farfan, C. (2020). Biosurfactantes en la biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos. <https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.642>
- Venturelli, O. (2018). Programación de consorcios microbianos: ensamblaje versus evolución. *Sistemas celulares. Cell Host and Microbe*, 6(2), 154-157.
- Vizuite-García, R., Pascual-Barrera, A., Taco-Taco, C., y Morales-Padilla, M. (2020). Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos a base de bacterias utilizadas como bioproductos. *Revista Lasallista de Investigación*, 17(1), 177-187. <https://doi.org/10.22507/rli.v17n1a19>
- Zhang, P., You, Z., Chen, T., Zhao, L., Zhu, J., Shi, W., ... & Sun, Y. (2022). Study on the breeding and characterization of high-efficiency oil-degrading bacteria by mutagenesis. *Water*, 14(16), 2544.