



Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), julio-agosto 2025,
Volumen 9, Número 4.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i2

**EFFECTO DE BACILLUS EN LA CONCENTRACIÓN
DE MATERIA ORGÁNICA Y CARGA DE VIBRIO
SPP. EN SEDIMENTOS DE ESTANQUES DE
CULTIVO DE CAMARÓN**

**EFFECT OF BACILLUS ON ORGANIC MATTER
CONCENTRATION AND VIBRIO SPP. LOAD IN SEDIMENTS
FROM SHRIMP FARMING PONDS**

Bryan Alvaro Pindo Gavilanes
Universidad Técnica de Machala

Lita Scarlett Sorroza Ochoa
Universidad Técnica de Machala

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i4.19360

Efecto de *Bacillus* en la concentración de materia orgánica y carga de *Vibrio* spp. en sedimentos de estanques de cultivo de camarón

Bryan Alvaro Pindo Gavilanes¹bryanpindo@gmail.com<https://orcid.org/0009-0007-0975-1125>

Universidad Técnica de Machala

Ecuador

Lita Scarlett Sorroza Ochoaslita@utmachala.edu.ec<https://orcid.org/0000-0002-8829-0414>

Universidad Técnica de Machala

Ecuador

RESUMEN

La camaronicultura en Ecuador se ha intensificado en los últimos años, trayendo consigo la acumulación de materia orgánica y la proliferación de bacterias oportunistas en los sedimentos. Por ende, el objetivo del estudio fue evaluar la aplicación de un probiótico comercial a base de *Bacillus subtilis* y *B. licheniformis* como una estrategia biológica para la biorremediación de la materia orgánica y el control de *Vibrio* spp. en sedimentos. El diseño experimental fue completamente al azar, consistió en tres tratamientos (1,5; 3 y 4,5 L ha⁻¹) y un control, cada uno con tres réplicas por un periodo de 20 días. La materia orgánica se midió mediante el método de Walkley & Black y la carga de *Vibrio* spp. en CHROMagar™ Vibrio. Los resultados de la materia orgánica mostraron diferencias significativas ($p < 0,05$) con respecto al control, mientras que en la presencia de *Vibrio* spp., hubo una diferencia numérica con una reducción del 23% en relación al control. Se concluye que los *Bacillus* spp. funcionan como agentes biorremediadores, aunque una selección de cepas con alta capacidad enzimática y efecto antagonista optimizaría su aplicación para programas de biorremediación más efectivos.

Palabras clave: biorremediador, materia orgánica, *Bacillus*, *Vibrio* spp

¹ Autor principal

Correspondencia: bryanpindo@gmail.com

Effect of *Bacillus* on organic matter concentration and *Vibrio* spp. load in sediments from shrimp farming ponds

ABSTRACT

Shrimp farming in Ecuador has intensified in recent years, bringing with it the accumulation of organic matter and the proliferation of opportunistic bacteria in sediments. Therefore, the objective of the study was to evaluate the application of a commercial probiotic based on *Bacillus subtilis* and *B. licheniformis* as a biological strategy for bioremediation of organic matter and control of *Vibrio* spp. in sediments. The experimental design was completely randomized, consisting of three treatments (1.5; 3 and 4.5 L ha⁻¹) and a control, each with three replicates for a period of 20 days. Organic matter was measured by the Walkley & Black method and *Vibrio* spp. load was measured by CHROMagar™ *Vibrio*. The results of organic matter showed significant differences ($p < 0.05$) with respect to the control, while in the presence of *Vibrio* spp. there was a numerical difference with a reduction of 23% in relation to the control. It is concluded that *Bacillus* spp. act as effective bioremediation agents; however, the selection of strains with high enzymatic activity and strong antagonistic effects would optimize their application, leading to more efficient bioremediation programs.

Keywords: bioremediator, organic matter, *Bacillus*, *Vibrio* spp

Artículo recibido 20 julio 2025

Aceptado para publicación: 20 agosto 2025



INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la acuicultura es uno de los sectores productivos con mayor crecimiento, con un promedio anual superior al 8%. Este incremento se atribuye a los métodos de cultivos que buscan intensificar la producción y satisfacer la demanda mundial de productos marinos (Jasmin et al., 2020).

Ecuador es uno de los principales exportadores y productores de camarón (*Penaeus vannamei*), y para el 2024 alcanzó un récord histórico al exportar un total de 1,2 millones de toneladas métricas, significando más de un 40% de las exportaciones ecuatorianas (Cámara Nacional de Acuicultura, 2025).

Sin embargo, el cultivo intensivo ha conducido a la acumulación de sustancias tóxicas y materia orgánica (Lopes et al., 2020), ya que estos nutrientes provienen de la descomposición de alimento no ingerido, animales muertos, heces, vegetación y productividad primaria (Oliveira, 2021). Esta carga orgánica deteriora los ecosistemas de los estanques de cultivo, en especial cuando la acumulación excede la capacidad bacteriana natural para reciclar esos nutrientes (Jasmin et al., 2020).

El impacto ambiental en los ecosistemas de las piscinas varían desde un desequilibrio ecológico en la calidad de agua (Drózd et al., 2020), formación de zonas anóxicas, disminución de la supervivencia, declive de los niveles de oxígeno disuelto y del pH (Oliveira, 2021; Navarrete et al., 2022), e incluso inducen a la proliferación de bacterias patógenas oportunistas que pueden llegar a dominar estos nichos ecológicos, produciendo diferentes tipos de enfermedades y aumentando la mortalidad del cultivo (Alfiansah et al., 2018; Olmos et al., 2020).

La biorremediación resulta una estrategia biotecnológica para la degradación, eliminación, reducción o conversión de contaminantes complejos mediante el uso de organismos biológicos como los hongos o las bacterias (Mishra et al., 2021; Shivalkar et al., 2021), actuando por dos mecanismos: inmovilización (por ejemplo, oxidación enzimática) y movilización (por ejemplo, bioacumulación) (Ayilara & Babalola, 2023). Aunque este método puede depender del pH, oxígeno disuelto, temperatura (Abatenh et al., 2017; Mishra et al., 2021), de la cantidad y toxicidad de los contaminantes, condiciones hidrogeológicas y de la ecología microbiana (Jasmin et al., 2020).

Dentro de los candidatos microbianos que se encuentran en los probióticos se destaca el género *Bacillus*, distinguiéndose por su capacidad de producir esporas altamente resistentes (Hlondzi et al., 2020; Kuebutornye et al., 2019; Zheng et al., 2025), metabolitos antagónicos contra una gran cantidad de



bacterias patógenas (Hlirdzi et al., 2020) y una buena resistencia al estrés, llegando a soportar fluctuaciones de pH y altas temperaturas (Cai et al., 2020), garantizando su supervivencia en condiciones ambientales adversas. Además, los *Bacillus*, al ser heterogéneos, genotípica y fenotípicamente, cuentan con propiedades fisiológicas que les confieren la capacidad de biorremediar residuos orgánicos de diferentes orígenes (Soltani et al., 2019), incluyendo proteasa, celulosa y amilasa (Cai et al., 2020).

Se ha evidenciado que las bacterias pertenecientes al género *Bacillus* son biorremediadores eficientes, colaborando al ciclo del nitrógeno y equilibrando el microbioma en sistemas acuáticos (Hlirdzi et al., 2020; Kuebutornye et al., 2019; Lopes, 2021; Rosamma & Swapna, 2006). Especies como *B. subtilis*, *B. licheniformis*, *B. cereus* y *B. coagulans*, entre otras, han sido utilizadas como biorremediadores en estanques de camarón (El-Saadony et al., 2021; James et al., 2021; Pal et al., 2020), lo que permite evidenciar su importancia en la sostenibilidad de los niveles de oxígeno, el ciclo de nitrógeno (nitrificación y desnitrificación) y la degradación de la materia orgánica (Lopes et al., 2020).

Por ello, la biorremediación se ha propuesto como una estrategia biológica para disminuir la acumulación de materia orgánica, ya que permite el reciclaje de nutrientes y la mineralización de compuestos nitrogenados mediante el uso de bacterias con enzimas hidrolíticas capaces de descomponer dichos compuestos. Con ello, el objetivo del presente estudio es evaluar de forma *in vitro* la capacidad de un probiótico a base de *Bacillus subtilis* y *B. licheniformis* para la degradación de la materia orgánica de suelos provenientes de piscinas camaroneras.

METODOLOGÍA

Las muestras de suelo se extrajeron de la camaronera Pesquera Rojas, ubicada cerca de la ciudad de Machala con las coordenadas 3°17'38.3"S 79°58'18.0"W, utilizando palas en un área cercana a la compuerta de salida, a una profundidad no mayor de 10 cm por punto. Luego se homogenizó la muestra. Esta muestra provenía de una piscina de 10 ha destinada a la producción de camarón (*P. vannamei*), que tenía 3 días de haber finalizado su ciclo de cultivo, posteriormente, se transportó al laboratorio de suelos, ubicado en la Facultad de Ciencias Agropecuarias, Machala para su respectivo análisis.

Diseño experimental

El ensayo se estableció bajo un diseño completamente al azar (DCA), donde se utilizó como unidades experimentales cajas de plástico con una capacidad de 15 L (20 × 24 × 32.5 cm; alto × ancho × largo),



siendo un total de 12 para la realización de 3 réplicas. Estas cajas se cubrieron con sedimento hasta una altura de 10 cm y con una columna de 5 cm de agua de mar filtrada a una salinidad de 27 ppt, con aireación constante.

Se aplicaron 3 tratamientos (1,5 L ha⁻¹; 3 L ha⁻¹; 4,5 L ha⁻¹) y un tratamiento control (Tabla 1). El inóculo utilizado en los tratamientos estuvo compuesto por *B. subtilis* y *B. licheniformis* (probiótico comercial BIO.BS.BL) a una concentración de 1×10^8 y 1×10^9 UFC ml⁻¹, respectivamente. La activación bacteriana se efectuó de acuerdo con lo establecido por Rosabal et al. (2022), con ajustes menores para adaptarlo al diseño experimental, con 2 g de urea, 24 g de melaza y 1000 ml de agua de mar filtrada a 27 ppt, fermentado por 20 h y se ajustó a un volumen de 100 ml por tratamiento.

Tabla 1
Tratamientos aplicados en el estudio

Tratamientos	Equivalente (L ha ⁻¹)	Dosis del producto (μl)
T0	0	0
T1	1,5	11,7
T2	3	23,4
T3	4,5	35,1

Para la evaluación estadística se utilizó un ANOVA de un factor intergrupos como prueba paramétrica para comparar las varianzas entre tratamientos con diferentes concentraciones del probiótico a base de *B. subtilis* y *B. licheniformis*, utilizando un nivel de significancia $\alpha = 0.05$. El procesamiento estadístico se realizó con el programa SPSS Statistics, versión 25.0 Base para Windows, con un nivel de confianza del 95%.

Ensayo experimental

La muestra de suelo (100 kg) se homogenizó en un tanque de 250 L, posteriormente, se distribuyó en las cajas plásticas en relación de 7,8 kg por unidad experimental, hasta llegar a los 10 cm de altura, con una columna de agua de 5 cm y aireación constante. A continuación, se procedió a determinar la concentración de materia orgánica (MO), pH y un análisis microbiológico para establecer la carga de *Vibrio* spp.

En el caso del análisis de MO, se tomaron 500 g de cada uno de los tratamientos para determinar datos iniciales. Estas se secaron en estufa a 60 °C durante 48 h, para conocer el contenido de MO, se utilizó el método de Walkley & Black en base al protocolo establecido por Barrezueta-Unda et al. (2020).

En cambio, el análisis microbiológico se llevó a cabo con la extracción de muestras de sedimento a una profundidad de 2 cm, para luego elaborar un *pool* entre las unidades experimentales del mismo tratamiento, con el fin de minimizar los efectos de variabilidad de muestras individuales. Para la siembra, se realizaron diluciones seriadas de 1:10 en tubos de ensayo de 15 ml, haciendo uso de solución salina al 2,7% (2,7 g de NaCl en 100 ml de agua destilada), colocando 1 g de sedimento y enrasando a 10 ml, para sembrar la cantidad de 100 µl en placas petri e incubarlas por 24 h a 30 °C. Se utilizó el medio de cultivo CHROMagar™ Vibrio. Una vez finalizado el ensayo (que tuvo una duración de 20 días), se realizó nuevamente el análisis de MO y microbiológico para recolectar los resultados.

Por otra parte, los tratamientos se aplicaron de forma consecutiva para lograr una colonización de las bacterias en el medio, posteriormente se aplicó una dosis de refuerzo cada 5 días, y en el caso del tratamiento control, solo se aplicó el medio de activación sin probióticos. Además, se registró el oxígeno disuelto (OD) de la columna de agua; para los sedimentos se dio seguimiento a la temperatura y pH según lo establecido por Sandoval et al. (2012).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La media de las concentraciones de MO presentó diferencias significativas en relación con las diferentes aplicaciones del probiótico a base de *B. subtilis* y *B. licheniformis* ($p < 0,05$) (Tabla 2), con lo cual se infiere que la inoculación de *Bacillus* logra una disminución en la concentración de materia orgánica en cada uno de los tratamientos (1,5; 3 y 4,5 L ha⁻¹) al compararlo con el tratamiento control, estableciendo una descomposición de la MO por la presencia de las bacterias del género *Bacillus*. Según James et al., (2021) y Pal et al. (2020), esto se debe a que estos microorganismos pueden transformar los detritus orgánicos mediante una variedad de enzimas, logrando descomponer macromoléculas como el almidón y las proteínas para posteriormente utilizarlas como energía.

Tabla 2

Análisis de ANOVA de un factor intergrupos para la comparación de MO, entre las diferentes dosis del probiótico a base de B. subtilis y B. licheniformis

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	p-valor
Entre grupos	78,919	3	26,306	15,610	,000
Dentro de grupos	74,148	44	1,685		
Total	153,068	47			

Nota. F=Estadístico.

Por otro lado, el parámetro de temperatura del sedimento estuvo en 25,72 °C y el pH en 7,92. Además, como parte de los resultados de MO, se evidenciaron las siguientes concentraciones: 49,34 g kg⁻¹ (4,93 %); 47,25 g kg⁻¹ (4,72 %); 46,13 g kg⁻¹ (4,61 %) y 46,27 g kg⁻¹ (4,63 %), correspondientes al tratamiento control, 1,5 L ha⁻¹, 3 L ha⁻¹ y 4,5 L ha⁻¹, respectivamente (Figura 1).

Estos valores se encuentran fuera de los rangos permisibles para piscinas camaroneras, según indica Ron et al. (2020), quienes establecen que deben ser mayores a 1 % y menores al 4 %. Además, se observó que no hay diferencia significativa entre los tratamientos aplicados (1,5; 3 y 4,5 ha⁻¹) pero sí con el control; estos resultados son similares a los obtenidos por Oliveira (2021), quien no encontró una reducción marcada en las concentraciones de MO al aplicar diferentes dosis de un biorremediador a base de *Bacillus*.

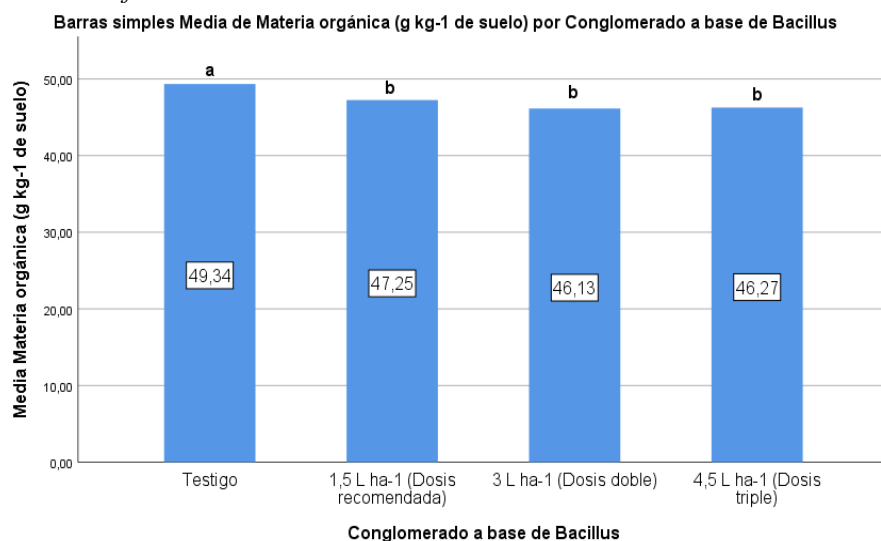
No obstante, los niveles de MO más bajos en este estudio fueron de 46,13 g kg⁻¹ (4,61 %), diferente a los obtenidos por López. (2021), quien presentó un tratamiento control con MO de 45,33 g kg⁻¹ (4,5 %) y una reducción hasta 37,00 g kg⁻¹ (3,7 %) con la inoculación de un biorremediador con *B. subtilis* y *B. licheniformis*. Se infiere que el motivo de la diferencia en los resultados se debe a las cepas utilizadas y su potencial genético para producir suficientes enzimas hidrolíticas (amilasa, celulasas, proteasas, entre otras).

Esta variabilidad en la producción enzimática coincide con lo reportado por Bibi et al. (2017), al aislar cepas como EA157 *B. licheniformis* y EA151 *B. licheniformis*, siendo contrastantes en la producción enzimática: la primera produce amilasa, proteasas y lipasas, pero no celulasas; en cambio, la segunda produce exclusivamente celulasas. De forma complementaria, Artha et al. (2019) demostraron que la

actividad de la celulasa, proteasas y amilasa proveniente de *B. sphaericus*, *B. thuringiensis* y *B. lentus*, aisladas de sedimento de un estanque acuícola, lograron un proceso de biorremediación.

Figura 1

Variación de materia orgánica de los sedimentos tratados con diferentes concentraciones de *B. subtilis* y *B. licheniformis* en un modelo de estimación in vitro



Análisis microbiológico

El análisis microbiológico fue evaluado a través de un ANOVA de un factor intergrupos, arrojando un $p > 0,05$, con lo cual se establece que no existen diferencias significativas en las comunidades bacterianas de *Vibrio* spp. (UFC/g) en función de las diferentes dosis de biorremediación a base de *B. subtilis* y *B. licheniformis* (Tabla 3).

Tabla 3

Análisis de ANOVA de un factor intergrupos para la comparación de la carga de *Vibrio* (UFC/g de suelo) entre las diferentes dosis del probiótico a base de *B. subtilis* y *B. licheniformis*

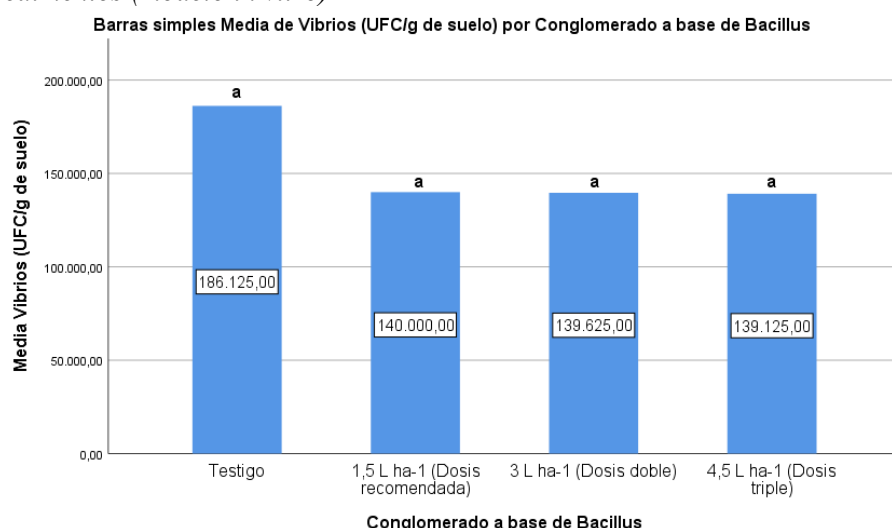
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	p-valor
Entre grupos	6499921875,000	3	2166640625,000	,080	,969
Dentro de grupos	323454562500,000	12	26954546875,000		
Total	329954484375,000	15			

Nota. gl=grados de libertad. F=Estadístico F.

La presencia de un solo subconjunto “a” (Figura 2) implica una ausencia de diferencias estadísticas en los tratamientos evaluados; sin embargo, se observó una tendencia a la reducción de *Vibrio* spp. al comparar los tratamientos inoculados (1,5; 3 y 4,5 L ha⁻¹) con respecto al control, siendo el tratamiento T3 (4,5 L ha⁻¹) el que presentó la reducción más notable con el 23 %. Esta tendencia concuerda con lo reportado por Wang et al. (2006), quienes lograron tener una concentración de $3,65 \times 10^3$ UFC/g, demostrando una disminución de esta comunidad bacteriana, así como los hallazgos obtenidos por Crockett et al. (2022), quienes registraron una concentración nula de *Vibrio* spp. en los sedimentos analizados, logrando, según Ron et al. (2020), mantenerse dentro del rango óptimo para este género bacteriano en suelos acuícolas ($< 1 \times 10^3$ UFC/g).

Figura 2

Efecto de diferentes dosis de B. subtilis y B. licheniformis sobre a concentración de Vibrios spp. en sedimentos (modelo in vitro)



El efecto bacteriostático observado en la carga de *Vibrio* spp., según James et al. (2021) y Nayak (2020), podría relacionarse con los mecanismos de exclusión competitiva propios del género *Bacillus*. Estos van desde la competencia por explotación, que se basa en el consumo acelerado de los nutrientes para limitar su disponibilidad a otros microorganismos competidores. En cambio, la competencia por interferencia consiste a la acción directa de la bacteria inhibiendo a sus competidores (Knipe et al., 2021), a través de sustancias antimicrobianas con efectos bactericidas o bacteriostáticos. Entre estos biocompuestos se incluyen fengycin, bacilomicina e iturina (Nayak, 2020), laterosporina, bacitracina y gramicidina (James et al., 2021), así como subtilisina y coagulina (Soltani et al., 2019). Por lo tanto, mediante los mecanismos de estos biorremediadores, Elchelwar et al. (2020) menciona que se optimiza la calidad de

agua y de suelo, modificando la carga microbiana dañina en los estanques para promover los procesos de eliminación de sustancias y mineralización de cargas orgánicas.

CONCLUSIÓN

Los hallazgos encontrados en este estudio evidenciaron la correlación en el aumento de la tasa de descomposición de la materia orgánica y la inoculación de las bacterias del género *Bacillus* como agente biorremediador, a su vez, contribuye en la modulación del microbioma del suelo, demostrando ser una herramienta biotecnológica para su aplicación en el área acuícola. No obstante, de cara a futuros estudios, es importante identificar y seleccionar cepas con una mayor capacidad enzimática y efecto antagonista frente a bacterias oportunistas, con el fin de optimizar su aplicación en programas de biorremediación más eficaces.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abatenh, E., Gizaw, B., Tsegaye, Z., & Wassie, M. (2017). The Role of Microorganisms in Bioremediation- A Review. *Open Journal of Environmental Biology*, 2(1), 38-46.
<https://doi.org/10.17352/ojeb.000007>
- Artha, O., Sudarno, Pramono, H., & Sari, L. (2019). Identification of extracellular enzyme-producing bacteria (proteolytic, cellulolytic, and amylolytic) in the sediment of extensive ponds in Tanggulangrejo, Gresik. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 236, 012003.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/236/1/012003>
- Ayilara, M. S., & Babalola, O. O. (2023). Bioremediation of environmental wastes: The role of microorganisms. *Frontiers in Agronomy*, 5, 1183691.
<https://doi.org/10.3389/fagro.2023.1183691>
- Barrezueta-Unda, S., Cervantes-Alava, A., Ullauri-Espinoza, M., Barrera Leon, J., & Condoy-Gorotiza, A. (2020). Evaluación del método de ignición para determinar materia orgánica en suelos de la provincia el oro-ecuador. *Fave. Sección ciencias agrarias*, 19(2), 25-26.
<https://doi.org/10.14409/fa.v19i2.9747>
- Bibi, F., Ullah, I., Alvi, S., Bakhsh, S., Yasir, M., Al-Ghamdi, A., & Azhar, E. (2017). Isolation, diversity, and biotechnological potential of rhizo- and endophytic bacteria associated with mangrove plants from Saudi Arabia. *Genetics And Molecular Research*, 16(2).



<https://doi.org/10.4238/gmr16029657>

Cai, Y., Huang, Y., Huang, X., Fan, Z., & Yu, T. (2020). Efficient biodegradation of organic matter using a thermophilic bacterium and development of a cost-effective culture medium for industrial use. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 55(6), 686-696.

<https://doi.org/10.1080/10934529.2020.1732173>

Cámara Nacional de Acuacultura. (2025). *Revista Acuacultura - Cámara Nacional de Acuacultura*. Acuacultura la voz oficial del sector: <https://www.cna-ecuador.com/revista-acuacultura/>

Crockett, J., Verardo, J., & Ison, J. (2022). Ensayo para Evaluar los efectos de la Bio-aumentación con AquaFarmen los suelos de las piscinas camaroneras. *Industria Acuícola*, 18(1), 12-14. https://issuu.com/industriaacuicola/docs/web_revista_industria_18.1

Drózd, D., Malińska, K., Mazurkiewicz, J., Kacprzak, M., Mrowiec, M., Szczypiór, A., Postawa, P., & Stachowiak, T. (2020). Fish pond sediment from aquaculture production – current practices and the potential for nutrient recovery: A Review. *International Agrophysics*, 1(34), 33-41. <https://doi.org/10.31545/intagr/116394>

El-Saadony, M. T., Alagawany, M., Patra, A. K., Kar, I., Tiwari, R., Dawood, M. A. O., Dhama, K., & Abdel-Latif, H. M. R. (2021). The functionality of probiotics in aquaculture: An overview. *Fish & Shellfish Immunology*, 117, 36-52. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2021.07.007>

Elchelwar, V. R., Vasava, R. J., Deepak, A. P., Gora, S. P., Chavada, S. R., Yusufzai, S. I., . . . Prabhakar, P. (2020). Bioremediation: A tool for sustainable development of aquaculture. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 8(2), 1331-1333.

Hlordzi, V., Kuebutornye, F. K. A., Afriyie, G., Abarike, E. D., Lu, Y., Chi, S., & Anokyewaa, M. A. (2020). The use of Bacillus species in maintenance of water quality in aquaculture: A review. *Aquaculture Reports*, 18, 100503. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100503>

James, G., Das, B. C., Jose, S., & V.J, R. K. (2021). Bacillus as an aquaculture friendly microbe. *Aquaculture International*, 29(1), 323-353. <https://doi.org/10.1007/s10499-020-00630-0>

Jasmin, M. Y., Syukri, F., Kamarudin, M. S., & Karim, M. (2020). Potential of bioremediation in treating aquaculture sludge: Review article. *Aquaculture*, 519, 734905.



<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734905>

Knipe, H., Temperton, B., Lange, A., Bass, D., & Tyler, C. R. (2021). Probiotics and competitive exclusion of pathogens in shrimp aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 13(1), 324-352.

<https://doi.org/10.1111/raq.12477>

Kuebutornye, F. K. A., Abarike, E. D., & Lu, Y. (2019). A review on the application of *Bacillus* as probiotics in aquaculture. *Fish & Shellfish Immunology*, 87, 820-828.

<https://doi.org/10.1016/j.fsi.2019.02.010>

Lopes, G. (2021). *Estratégias de biorremediação de sedimentos em viveiros de piscicultura com bactérias do gênero Bacillus: estudo em escala laboratorial*[Tesis de doctorado, Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias]. Repositorio Institucional.

<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/226810>

Lopes, G. R., Oliveira, H. M. D., Jesus, G. F. A. D., Martins, M. L., Miranda Gomes, C. H. A. D., Soligo, T., & Mouriño, J. L. P. (2020). Biological strategy to improve decomposition of organic matter in tilapia pond. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 32, e27.

<https://doi.org/10.1590/s2179-975x8419>

Mishra, M., Singh, S. K., & Kumar, A. (2021). Environmental factors affecting the bioremediation potential of microbes. En *Microbe Mediated Remediation of Environmental Contaminants* (pp. 47-58). Elsevier.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821199-1.00005-5>

Muras, A., Romero, M., Mayer, C., & Otero, A. (2021). Biotechnological applications of *Bacillus licheniformis*. *Critical Reviews in Biotechnology*, 41(4), 609-627.

<https://doi.org/10.1080/07388551.2021.1873239>

Navarrete Álava, J., Noles Aguilar, P., Delgado Villafuerte, C., Hernández De Guerrero, N., & Guerrero-Ríos, R. (2022). Biorremediación de efluentes del cultivo de camarón por medio de consorcios microbianos autóctonos y microalgas nativas en Manabí, Ecuador. *AquaTechnica: Revista Iberoamericana de Acuicultura*, 4(1), 53-65.

<https://doi.org/10.33936/at.v4i1.4635>



- Nayak, S. K. (2021). Multifaceted applications of probiotic *Bacillus* species in aquaculture with special reference to *Bacillus subtilis*. *Reviews in Aquaculture*, 13(2), 862-906.
<https://doi.org/10.1111/raq.12503>
- Oliveira, H. M. (2021). *Redução de matéria orgânica com aplicação de Bacillus subtilis e B. licheniformis em sedimentos provenientes de viveiro de policultivo de Litopenaeus vannamei com Oreochromis niloticus*. [Tesis de maestría, Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias]. Repositorio Institucional.
<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/230891>
- Pal, A. K., Singh, J., Soni, R., Tripathi, P., Kamle, M., Tripathi, V., & Kumar, P. (2020). The role of microorganism in bioremediation for sustainable environment management. En *Bioremediation of Pollutants* (pp. 227-249). Elsevier.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819025-8.00010-7>
- Ron, E., Tamayo, M. J., Vera, K., & Plua del Valle, F. (2020). Técnicas eficientes para el monitoreo y evaluación de biorremediación. *Panorama Acuicola Magazine*, 25(3), 90-93.
https://issuu.com/designpublications/docs/panorama_acuicola_25-3_marzo_abril_2020_digital
- Rosabal, D., Sola, M., & Pons, S. V. (2022). Efecto del pH en el crecimiento de *Bacillus* sp. en un medio con melaza de caña (Original). *Redel. Revista Granmense De Desarrollo Local*, 6(1), 252-261.
<https://revistas.udg.co.cu/index.php/redel/article/view/2852>
- Rosamma, P., & Swapna, A. (2006). Bioremediation in Shrimp Culture Systems. *NAGA, WorldFish Center Quarterly*, 29(3 & 4), 62-66.
https://www.researchgate.net/publication/48410828_Bioremediation_in_Shrimp_Culture_Systems
- Sandoval, M., Dorner, J., Seguel, O., Cuevas, J., & Rivera S, D. (2012). *Métodos de análisis físicos del suelo*. Chillán, Chile: Departamento de Suelos y Recursos Naturales.
<https://hdl.handle.net/20.500.14001/59208>
- Shivalkar, S., Singh, V., Sahoo, A. K., Samanta, S. K., & Gautam, P. K. (2021). Bioremediation: A potential ecological tool for waste management. En *Bioremediation for Environmental Sustainability* (pp. 1-21). Elsevier.



<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820318-7.00001-0>

Soltani, M., Ghosh, K., Hoseinifar, S. H., Kumar, V., Lymbery, A. J., Roy, S., & Ringø, E. (2019). Genus *Bacillus*, promising probiotics in aquaculture: Aquatic animal origin, bio-active components, bioremediation and efficacy in fish and shellfish. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 27(3), 331-379.

<https://doi.org/10.1080/23308249.2019.1597010>

Wang, Y., Zha, L., & Xu, Z. (2006). Effects of probiotics on *Penaeus vannamei* pond sediments. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 17(9), 1765-1767. <http://www.cjae.net/EN/Y2006/V17/I09/1765>

Zheng, Y., Wu, Y., Tang, S., Li, J., Fan, L., & He, W. (2025). Effects of *Bacillus licheniformis* on the water quality, growth performance and bacterial community in *Penaeus vannamei* aquaculture system. *Frontiers in Microbiology*, 16.

<https://doi.org/10.3389/fmicb.2025.1595680>

