

# Bacterias heterótrofas marinas: estrategias de vida, ecología y utilidad como bioindicadores en un ambiente cambiante

**Hidalgo, Nayliz**

Universidad Tecnológica de Panamá  
Ciudad de Panamá, Panamá  
nayliz.hidalgo@utp.ac.pa

**Montenegro, Ricardo**

Universidad Tecnológica de Panamá  
Ciudad de Panamá, Panamá  
ricardo.montenegro2@utp.ac.pa

**Vergara-Chen, Carlos**

Universidad Tecnológica de Panamá  
Ciudad de Panamá, Panamá  
carlos.vergara3@utp.ac.pa

## Abstract

Heterotrophic bacteria perform crucial ecological functions such as organic mineralization, nitrogen fixation, and organic matter degradation, being fundamental in energy transfer between trophic levels. Their abundance is susceptible to environmental variations such as temperature, salinity, and dissolved oxygen; factors that present natural oscillations but, with climate change, experience greater alterations. It is essential to understand how these factors impact heterotrophic microorganisms to predict and mitigate possible disturbances in estuarine and coastal ecosystems.

This review updates information on the ecology of marine heterotrophic bacteria and their potential utility as biological indicators in changing environments. Specialized scientific databases and repositories were consulted, selecting publications on heterotrophic bacteria in coastal ecosystems and their relationship with environmental factors. The search identified research on population dynamics in marine and estuarine environments, analyzing temporal and spatial variation patterns of these bacterial communities.

It was found that heterotroph abundance fluctuates seasonally, influenced by temperature, salinity, turbidity, and organic matter availability. In aquatic environments, temperature and salinity are the most determining parameters, while in sediments, factors such as texture and substrate type are added. Climate change modifies these critical parameters through

temperature increase, irregular rainfall, changing salinity, and acidification, directly affecting coastal microbial dynamics and altering essential ecological processes such as organic matter decomposition and nutrient recycling. Marine heterotrophic bacteria will likely be systematically monitored in the future to protect human and environmental health.

the future, marine heterotrophic bacteria will be monitored to protect human and environmental health.

**Keywords:** heterotrophic bacteria, microbial indicators, coastal areas, environmental factors, climate change.

## Resumen

Las bacterias heterótrofas desempeñan funciones ecológicas cruciales como la mineralización orgánica, fijación de nitrógeno y degradación de materia orgánica, siendo fundamentales en la transferencia energética entre niveles tróficos. Su abundancia es susceptible a variaciones ambientales como temperatura, salinidad y oxígeno disuelto; factores que presentan oscilaciones naturales pero que, con el cambio climático, experimentan mayores alteraciones. Resulta fundamental entender cómo estos factores impactan a los microorganismos heterótrofos para predecir y mitigar posibles perturbaciones en ecosistemas estuarinos y costeros.

Esta revisión actualiza la información sobre la ecología de bacterias heterótrofas marinas y su utilidad potencial como indicadores biológicos en ambientes cambiantes. Se consultaron bases de datos y repositorios científicos especializados, seleccionando publicaciones sobre bacterias heterótrofas en ecosistemas costeros y su relación con factores ambientales. La búsqueda identificó investigaciones sobre dinámica poblacional en ambientes marinos y estuarinos, analizando patrones de variación temporal y espacial de estas comunidades bacterianas.

Se encontró que la abundancia de heterótrofos fluctúa estacionalmente, influenciada por temperatura, salinidad, turbidez y disponibilidad de materia orgánica. En ambientes acuáticos, temperatura y salinidad son los parámetros más determinantes, mientras que en sedimentos se adicionan factores como textura y tipo de sustrato. El cambio climático modifica estos parámetros críticos mediante aumento de temperatura, lluvias irregulares, salinidad cambiante y acidificación, afectando directamente la dinámica microbiana costera y alterando procesos ecológicos esenciales como descomposición de materia orgánica y reciclaje de nutrientes. Es probable que las bacterias heterótrofas marinas sean monitoreadas sistemáticamente en el futuro para proteger la salud humana y ambiental.

**Palabras claves:** bacterias heterótrofas, indicadores microbianos, zonas costeras, factores ambientales, cambio climático.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas marinos y estuarinos albergan comunidades microbianas complejas que sustentan procesos biogeoquímicos esenciales para el funcionamiento de la biosfera [1]. Entre estos microorganismos, las bacterias heterótrofas desempeñan roles fundamentales en el ciclo de nutrientes, la mineralización de materia orgánica y la transferencia de energía a través de las redes tróficas[1], [2], [3]. Estos organismos actúan como mediadores clave en la descomposición de compuestos orgánicos, procesos vitales para la productividad primaria y la salud general de los ecosistemas acuáticos [2].

En las últimas décadas, el cambio climático ha intensificado las alteraciones en parámetros ambientales, tales como temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y disponibilidad de materia orgánica [4], [5], [6], factores que influyen directamente en la dinámica poblacional de las bacterias heterótrofas[4]. Estas modificaciones ambientales no solo afectan la abundancia y diversidad microbiana, sino que también tienen implicaciones profundas en los procesos ecológicos que regulan, generando potenciales desequilibrios en los ecosistemas costeros [6], [7].

Comprender la respuesta de las comunidades bacterianas heterótrofas ante las variaciones ambientales se ha vuelto de suma importancia para anticipar y mitigar impactos ecológicos futuros. En este contexto, el presente trabajo revisa el conocimiento actual sobre la ecología de estas bacterias en ambientes costeros tropicales, su relación con factores ambientales clave y su potencial aplicación como indicadores biológicos para evaluar el estado trófico y los efectos del cambio climático.

## 2. MÉTODO

### A. Estrategia de búsqueda

Se realizó una revisión bibliográfica sistemática en bases de datos científicas especializadas (Web of Science, PubMed, Google Scholar) y repositorios institucionales, enfocada en estudios sobre bacterias heterótrofas en ecosistemas costeros y estuarinos y su relación con factores ambientales en el contexto del cambio climático. La búsqueda empleó combinaciones de palabras clave en español e inglés utilizando operadores booleanos: “heterotrophic bacteria” OR “bacterias heterótrofas” AND “coastal zones” OR “zonas costeras” AND “estuarine ecosystems” OR “ecosistemas estuarinos” AND “environmental factors” OR “factores ambientales” AND “climate change” OR “cambio climático”.

### B. Criterios para la elección de artículos científicos

Los criterios de inclusión fueron: (1) artículos publicados entre 2015 y 2024; (2) estudios

realizados en ecosistemas marinos y estuarinos de zonas tropicales; (3) investigaciones que abordaran la dinámica poblacional de bacterias heterótrofas y su relación con parámetros ambientales (temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, materia orgánica, turbidez); (4) publicaciones en español o inglés; y (5) artículos con acceso completo al texto. Se excluyeron estudios enfocados exclusivamente en ambientes de agua dulce, regiones templadas o polares, y aquellos sin datos cuantitativos sobre abundancia bacteriana.

### C. Análisis Comparativo de Datos

Se extrajeron y compararon los valores de abundancia bacteriana reportados en cada artículo seleccionado, diferenciando entre muestras de agua (expresadas en UFC/mL) y muestras de sedimento (expresadas en UFC/g). Se analizaron los patrones estacionales de variación, identificando los principales factores ambientales asociados a las fluctuaciones observadas en cada ecosistema. La comparación entre estudios permitió evaluar las diferencias en densidades bacterianas según el tipo de matriz ambiental, el ecosistema y las condiciones locales específicas.

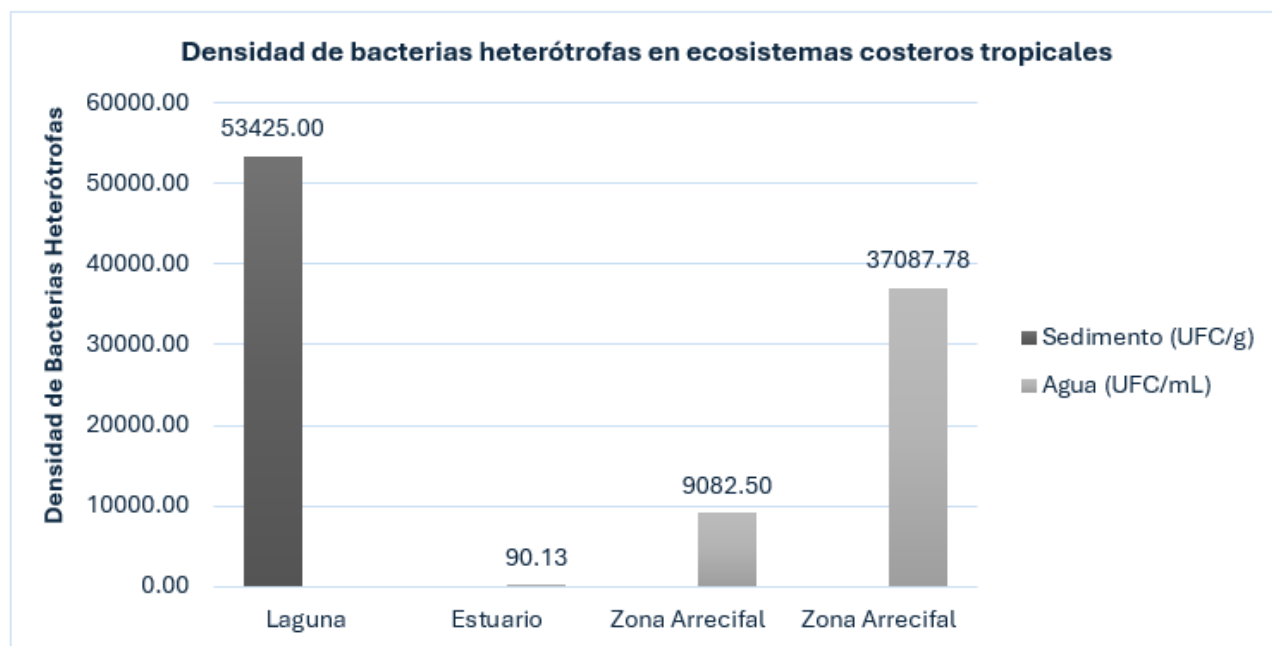
## 3. RESULTADOS

Se analizó la relación entre la abundancia de bacterias heterótrofas y los factores ambientales en los distintos sitios de estudio, considerando estacionalidad, parámetros fisicoquímicos y posibles presiones antropogénicas. En la laguna mexicana, Silva-Ontiveros et al. [8] reportaron densidades máximas en primavera y verano, asociadas a mayor disponibilidad de materia orgánica, mientras que las concentraciones disminuyeron en otoño e invierno. En el estuario de India, Kademane et al. [9] registraron las densidades más bajas entre todos los estudios analizados, con incrementos durante el periodo post-monzón y valores mínimos en verano, en correspondencia con las fluctuaciones en la salinidad estuarina. Los ecosistemas arrecifales mostraron densidades intermedias: Lugioyo et al. [10] documentaron mayor abundancia en verano respecto al invierno en Cuba, sugiriendo una marcada influencia de la temperatura; por su parte, Montes-Cardona et al. [11] observaron en El Salvador una correlación positiva entre la abundancia bacteriana y las concentraciones de oxígeno disuelto, además de una relación inversa con la salinidad, reflejando la sensibilidad de las comunidades bacterianas a cambios fisicoquímicos locales.

**Tabla 1. Referencias analizadas sobre la abundancia de bacterias heterótrofas marinas en hábitats costeros.**

Título	Año	País	Hábitat	Tipo de muestra
Comportamiento estacional de bacterias en sedimentos de mangle negro ( <i>Avicennia germinais</i> ) [8]	2024	México	Laguna	Sedimento
Evaluación de la calidad del agua de los arrecifes del golfo de Cazonos, sur de Cuba a partir de algunos indicadores microbiológicos y químicos [10]	2020	Cuba	Zona arrecifal	Agua
Bacterias heterótrofas en la zona arrecifal del Área Natural Protegida Complejo Los Cóbanos, Sonsonate, El Salvador [11]	2020	El Salvador	Zona arrecifal	Agua
Studies on heterotrophic bacteria and total coliforms in relation with environmental parameters on water in Gurupur Estuary of Mangaluru, Karataka, India [9]	2018	India	Estuario	Agua

Los valores indicados sobre las barras representan la densidad promedio registrada en cada estudio. La comparación de estos promedios evidencia diferencias marcadas entre ecosistemas, determinadas principalmente por el tipo de matriz ambiental (sedimento vs. agua), el hábitat y la disponibilidad de materia orgánica. La densidad más alta correspondió a los sedimentos de la laguna mexicana (53,425 UFC/g), reflejo de un ambiente altamente enriquecido con abundante materia orgánica acumulada. Le siguió la zona arrecifal de El Salvador (37,087.78 UFC/mL), en muestras de agua, posiblemente influida por aportes terrígenos y presión antrópica. La zona arrecifal de Cuba presentó densidades moderadas (9,082.50 UFC/mL), indicando un ecosistema menos enriquecido pero con señales de impacto antropogénico. Finalmente, el estuario de India mostró la menor densidad en sedimento (90.13 UFC/g), coherente con condiciones de mayor dilución y menor acumulación de carga orgánica.



**Fig. 1 - Densidad de bacterias heterótrofas marinas en diferentes hábitats costeros. Fuentes: Laguna costera [8] , estuario [9], arrecifes de coral [10], [11].**

Los valores de abundancia bacteriana presentaron una tendencia marcada entre los sitios estudiados. México [8] y El Salvador [11] exhibieron las mayores densidades, correlacionadas con una alta disponibilidad de materia orgánica y posibles presiones antropogénicas. Por su parte, Cuba [10] e India [9] mostraron densidades significativamente menores, asociadas a condiciones de menor contenido orgánico, con patrones de variación regulados principalmente por la estacionalidad y las características fisicoquímicas específicas de cada ecosistema.

En conjunto, estos resultados demuestran que las bacterias heterótrofas responden a un gradiente trófico que va desde ambientes altamente enriquecidos hacia sistemas con menor disponibilidad de nutrientes, confirmando su utilidad como indicadores del estado trófico y del nivel de perturbación ambiental en ecosistemas costeros tropicales.

## 4.. CONCLUSIONES

Se revisó el conocimiento actual sobre la ecología de las bacterias heterótrofas marinas en ambientes costeros tropicales, su relación con factores ambientales clave y su potencial aplicación como indicadores biológicos para evaluar el estado trófico y los efectos del cambio climático. Los resultados comparativos muestran que la abundancia de bacterias

heterótrofas varía significativamente entre ecosistemas costeros tropicales y aumenta conforme lo hace la disponibilidad de nutrientes y materia orgánica.

Estos hallazgos confirman que la densidad bacteriana es un indicador efectivo para evaluar el estado trófico, la calidad ambiental y las presiones antropogénicas sobre diferentes ecosistemas costeros tropicales, constituyéndose como una herramienta clave para apoyar estrategias de monitoreo y conservación en un contexto creciente de cambio climático.

## Referencias

- [1] F. Azam, T. Fenchel, J. Field, J. Gray, L. Meyer-Reil, y F. Thingstad, «The Ecological Role of Water-Column Microbes in the Sea», *Mar Ecol Prog Ser*, vol. 10, pp. 257-263, 1983, doi: 10.3354/meps010257.
- [2] D. L. Kirchman, X. A. G. Morán, y H. Ducklow, «Microbial growth in the polar oceans - Role of temperature and potential impact of climate change», *Nat Rev Microbiol*, vol. 7, n.o 6, pp. 451-459, 2009, doi: 10.1038/nrmicro2115.
- [3] J. J. Cole, S. Findlay, y M. L. Pace, «Bacterial production in fresh and saltwater ecosystems: a cross-system overview», 1988.
- [4] T. Röthig et al., «Human-induced salinity changes impact marine organisms and ecosystems», 1 de septiembre de 2023, John Wiley and Sons Inc. doi: 10.1111/gcb.16859.
- [5] O. Hoegh-Guldberg y J. F. Bruno, «The impact of climate change on the world's marine ecosystems», 18 de junio de 2010. doi: 10.1126/science.1189930.
- [6] L. Bopp et al., «Multiple stressors of ocean ecosystems in the 21st century: Projections with CMIP5 models», *Biogeosciences*, vol. 10, n.o 10, pp. 6225-6245, 2013, doi: 10.5194/bg-10-6225-2013.
- [7] S. C. Doney et al., «Climate change impacts on marine ecosystems», *Ann Rev Mar Sci*, vol. 4, pp. 11-37, 2012, doi: 10.1146/annurev-marine-041911-111611.
- [8] C. A. Silva-Ontiveros, S. de los S. Villalobos, J. R. Torres, M. Martínez-Porchas, A. Piñón-Gimate, y J. A. Arreola-Lizárraga, «Seasonal behavior of bacteria in black mangrove *Avicennia germinans* sediments», *Madera y Bosques*, vol. 30, n.o 4, jun. 2024, doi: 10.21829/myb.2024.3042609.
- [9] C. Kademane, M. Rajesh, K. M. Rajesh, y A. K. Vandana, «STUDIES ON HETEROTROPHIC BACTERIA AND TOTAL COLIFORMS IN RELATION WITH ENVIRONMENTAL PARAMETERS OF WATER IN GURUPUR ESTUARY, OFF MANGALURU, KARNATAKA, INDIA», *Poll Res*, vol. 37, n.o 4, pp. 989-995, 2018.
- [10] G. M. Lugioyo, D. González, y I. García, «Evaluación de la calidad del agua de los arrecifes del golfo de Cazones, sur de Cuba, a partir de algunos indicadores microbiológicos y químicos», *Revista Ciencias Marinas y Costeras*, vol. 12, pp. 9-26, ene. 2020, doi: 10.15359/revmar.12-1.1.
- [11] G. S. Montes Cardona, V. L. Mátal Gómez, y J. V. Segovia de González, «Bacterias heterótrofas de la zona arrecifal del Área Natural Protegida Complejo Los Cóbanos Heterotrophic bacteria of the reef area of the Protected Natural Area Complejo Los Cóbanos, Sonsonate, El Salvador», *Realidad y reflexión*, vol. 54, pp. 17-35, 2021.

## Autorización y Licencia CC

Los autores autorizan a APANAC XVIII a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC:

Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>.

Ni APANAC XVIII ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.