

Calidad del agua de una playa del Pacífico de Panamá: condiciones fisicoquímicas y bacterias fecales

Seawater quality of a beach from Pacific of Panama: physicochemical conditions and fecal bacteria

Carlos Vergara-Chen^{1,2,3,*} , Belén Guevara¹ , Mabel Zúñiga¹ , Yarisel González¹ 

¹Grupo de Investigación Ecología Funcional y Aplicada, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá, Campus Metropolitano Víctor Levi Sasso, Panamá

²Estación Científica Coiba (COIBA AIP), Calle Gustavo Lara, Edificio 145B, Ciudad del Saber, Clayton, Panamá

³Centro de Estudios Multidisciplinarios en Ciencia, Ingeniería y Tecnología (CEMCIT-AIP), Campus Metropolitano Víctor Levi Sasso, Panamá

*Autor de correspondencia: carlos.vergara3@utp.ac.pa

RESUMEN. Los ambientes marinos a menudo se ven afectados por la contaminación microbiana con implicaciones negativas para la salud humana y ambiental. El objetivo de este trabajo fue describir la calidad del agua de mar de la playa de Río Mar, San Carlos, provincia de Panamá Oeste. Se recolectaron muestras de agua de mar en cuatro (4) zonas de la playa en temporada seca y temporada lluviosa. Se analizaron los parámetros hidrológicos (salinidad, pH, turbidez, sólidos totales disueltos y temperatura), nutrientes (nitrato, nitrito, amonio y fosfato) y BIF (coliformes totales, *Escherichia coli* y enterococos). Se registraron concentraciones mayores de BIF durante la temporada seca coincidiendo con la mayor afluencia de turistas y usuarios que podría estar causando un aumento en la carga bacteriana en las aguas costeras. Durante la temporada lluviosa las concentraciones bacterianas disminuyeron significativamente. Se encontró una correlación significativa entre la concentración de amonio, la salinidad y la concentración de enterococos, indicando que conforme disminuyó la salinidad aumentó la concentración de amonio y enterococos. Estos resultados deben ser considerados como un diagnóstico parcial, ya que la variabilidad natural ambiental y el incremento de las actividades antropogénicas pueden modificar la calidad de las aguas costeras.

Palabras clave. *Calidad del agua de mar, playas costeras, calidad microbiológica, bacterias indicadoras fecales, parámetros ambientales, Pacífico de Panamá.*

ABSTRACT. Marine environments are often affected by microbial contamination that negatively affects their use and seriously affects human and environmental health. The objective of this work was to describe the quality of seawater at Río Mar beach, San Carlos, Panama Oeste province. Seawater samples were collected in four (4) areas of the beach in the dry season and rainy season. Hydrological parameters (salinity, pH, turbidity, total dissolved solids, and temperature), nutrients (nitrate, nitrite, ammonium and phosphate) and BIF (total coliforms, *Escherichia coli* and enterococci) were analyzed. Higher concentrations of bacterial indicators were recorded during the dry season, coinciding with the greater influx of tourists and users that could be causing an increase in the bacterial load in coastal waters. During the rainy season, bacterial concentrations decreased significantly. A significant correlation was found between the concentration of ammonium, salinity, and the concentration of enterococci, indicating that as salinity decreased, the concentration of ammonia and enterococci increased. These results should be considered as a partial diagnosis, since natural environmental variability and the increase in anthropogenic activities can modify the quality of coastal waters.

Keywords. *Seawater quality, coastal beaches, microbiological quality, fecal indicator bacteria, environmental parameters, Pacific Panama.*

Citación: C. Vergara-Chen et al., "Calidad del agua de una playa del Pacífico de Panamá: condiciones fisicoquímicas y bacterias fecales", *Revista de I+D Tecnológico*, vol. 19, no. 2, pp. (94-100), 2023.

Tipo de artículo: Original. **Recibido:** 14 de mayo de 2023. **Recibido con correcciones:** 10 de julio de 2023. **Aceptado:** 11 de julio de 2023.

DOI: <https://doi.org/10.33412/idt.v19.2.3826>

Copyright: 2023 C. Vergara-Chen et al., This is an open access article under the CC BY-NC-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

1. Introducción

La contaminación microbiana del agua de los ambientes marinos y costeros es ocasionada directa o indirectamente por actividades humanas que causan efectos nocivos para la propia salud humana, daños a otros organismos, afectación de actividades económicas y deterioro de la calidad del agua de mar [1, 2]. Los estuarios, las playas arenosas y costas rocosas pueden recibir aguas servidas ricas en heces humanas, materia orgánica y nutrientes, además, reciben los aportes de los ríos. Esta gran entrada de material influye sobre las redes tróficas, estimulando en forma rápida el crecimiento bacteriano de los grupos autóctonos y aportando otros grupos asociados a la materia orgánica que llega al ambiente [3, 4, 5].

Los coliformes y enterococos están asociados a la contaminación por aguas residuales y son considerados bacterias indicadoras fecales (BIF) de la calidad del agua de mar en cuanto a contenidos en materia fecal, materia orgánica y nutrientes inorgánicos [6, 7, 8]. Sin embargo, se han realizado pocos estudios en donde se evalúe la utilidad de estos indicadores y las técnicas más adecuadas para su cuantificación en los ambientes marinos y costeros de Panamá [9, 10], en especial en playas arenosas, costas rocosas y estuarios, donde la población tiene contacto directo e indirecto con estos grupos bacterianos, ya sea por el desarrollo de actividades recreativas o por la captura y consumo de productos pesqueros asociados a estos ambientes.

Es indispensable conocer y cuidar la calidad del agua en las zonas costeras y el medio marino para su uso recreativo y para extracción de recursos naturales, pues se garantiza el estado de salud de los usuarios y otorga, además, un valor agregado a los sitios con buena calidad ambiental [11, 12]. De este modo, la vigilancia y monitoreo de la calidad del agua costera para asegurar la salud humana y ambiental debe ser una política pública de las autoridades ambientales y sanitarias locales y nacionales [4, 13, 14]. Por consiguiente, es necesaria la realización de estudios que contribuyan a describir los niveles de las poblaciones microbianas asociadas a riesgos para la salud humana y ambiental en agua de mar en playas y zonas litorales.

El propósito del presente trabajo es documentar la calidad del agua de una playa tropical y la relación entre parámetros fisicoquímicos y BIF. Los resultados permitirán lograr un conocimiento de línea de base

sobre las variaciones espaciales y temporales de coliformes totales, *Escherichia coli* y enterococos en los ecosistemas costeros, de manera que sea un aporte técnico para el diseño de normativas de calidad de agua de mar que llene el vacío legal que existe en Panamá.

2. Materiales y Métodos

2.1 Área de estudio

La playa Río Mar se encuentra en el distrito de San Carlos, provincia de Panamá Oeste en la costa noroeste del Golfo de Panamá (ver figura 1). La costa está bordeada por acantilados y el sustrato de la playa está compuesto principalmente de fondos arenosos mezclados con parches rocosos y cantos rodados. Esta playa tiene un rango de mareas que puede alcanzar más de 200 m. El área de estudio tiene clima de sabana tropical según la clasificación de Köppen con temperaturas entre 25 y 30°C, y una distribución estacional de lluvias durante todo el año, con una temporada lluviosa (de mayo a diciembre) y una temporada seca (de enero a abril). Sobre la playa desemboca el río Calabazo que llega a formar una pequeña laguna separada por una barra de arena que se desplaza dependiendo de las mareas. Los aportes terrígenos de este río a la playa se infieren que sean mayores durante la época lluviosa [15].

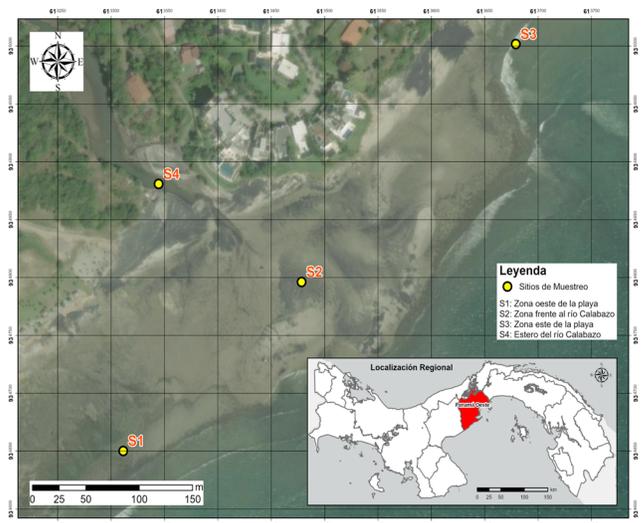


Figura 1. Sitios de recolección de datos ambientales y muestras de agua (círculos amarillos) en Playa Río Mar, Distrito de San Carlos, Provincia de Panamá Oeste, Golfo de Panamá.

2.2. Recolección de muestras

El estudio se llevó a cabo durante las temporadas seca (marzo) y lluviosa (agosto) de 2018. Las muestras se tomaron de la capa superficial (a 30 cm de profundidad) en marea alta para minimizar el efecto de las mareas baja y la influencia de las aportaciones fluviales del Río Calabazo y de las obras costeras adyacentes. El área se dividió en cuatro estaciones las cuales estarán ubicadas en la zona oeste de la playa (S1), zona frente a Río Calabazo (S2), zona este de la playa (S3) y estero del Río Calabazo (S4) (ver figura 1). Se recolectaron tres muestras de agua en botellas de 1 litro, en cada uno de los puntos establecidos. Para la determinación de BIF se tomaron tres muestras de agua utilizando frascos estériles de 120 ml. Las muestras de agua se colocaron en hielo para su conservación y traslado al laboratorio para su posterior análisis.

2.3. Determinación de parámetros de calidad del agua

La salinidad, pH, turbidez, sólidos totales disueltos (STD) y temperatura fueron medidos in situ con un medidor multiparamétrico HI9829 (Hanna). Las muestras de agua para determinación de nutrientes (nitrato, nitrito, amonio y fosfato) fueron analizadas con un fotómetro HI83200 (Hanna). Para cuantificar la concentración de coliformes totales, *E. coli* y enterococos se utilizó los métodos Colilert™ y Enterolert™ (IDEXX Laboratories), respectivamente. Se tomaron 100 ml de muestra de agua cruda y una dilución 10 veces de muestra de agua cruda que se analizaron para cada submuestra de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

2.4. Análisis estadístico

La clasificación de los puntos de muestreo de acuerdo con la similitud de las condiciones fisicoquímicas y la concentración de BIF durante las épocas seca y lluviosa se realizó aplicando el método de agrupamiento jerárquico UPGMA. Se determinó la relación entre variables ambientales y abundancia de BIF con un análisis de correspondencia canónica. Todos los análisis estadísticos se llevaron a cabo empleando el software PAST versión 3.23 [16].

2. Resultados y discusión

Se recolectaron 24 muestras de agua superficial de cuatro sitios de la playa Río Mar en San Carlos, Pacífico de Panamá. A partir de estas muestras, se registraron concentraciones mayores de bacterias indicadoras

fecales (BIF) durante la temporada seca mientras que durante la temporada lluviosa las concentraciones bacterianas disminuyeron significativamente. En general, las concentraciones de enterococos y nutrientes sobrepasaron los límites recomendados para aguas marinas. Se encontró una correlación significativa entre la concentración de amonio, la salinidad y la concentración de enterococos, indicando que conforme disminuyó la salinidad aumentó la concentración de amonio y enterococos.

La temperatura del agua fue relativamente constante con una ligera disminución durante la temporada seca cuando ocurre el afloramiento costero en el Golfo de Panamá [17]. El pH del agua en todos los sitios de muestreo osciló entre 8.21 y 8.86, con un pH promedio de 8.54. La salinidad fluctuó de 22.94 ups a 31.06 ups. El nivel de salinidad promedio para todos los sitios de muestreo fue de 28.33 ups. Se observó una salinidad más baja para las aguas en la desembocadura del Río Calabazo lo que indica un posible lavado por escorrentía superficial o un evento de precipitación. Los valores de salinidad y temperatura entre temporadas mostraron una variación entre la temporada seca y lluviosa, excepto el pH (ver figura 2).

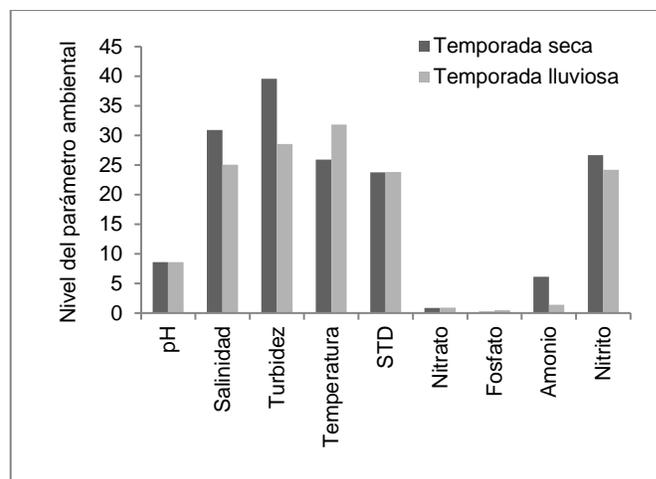


Figura 2. Cambios temporales en algunos parámetros de calidad del agua superficial en la playa de Río Mar, San Carlos, Pacífico de Panamá en las temporadas seca (marzo) y lluviosa (agosto) de 2018. Unidades de los parámetros: pH (escala estándar NBS), salinidad (%), turbidez (unidad nefelométrica de turbidez, UNT), temperatura (°C), sólidos totales disueltos (STD), nitrato, fosfato, amonio y nitrito (mg/L).

La turbidez y la concentración de sólidos totales disueltos (STD) estuvieron generalmente por debajo de 35 FNU (media = 33.25 FNU) y 30 ppm (media = 23.16 ppm), respectivamente (ver figura 2). Por otra parte, los

STD no mostraron diferencias entre ambas temporadas. En términos generales, se puede establecer que durante la temporada seca la turbidez tiende a ser mayor debido al afloramiento que causa el ascenso de la termoclina y de aguas profundas, frías y ricas en nutrientes que favorecen el crecimiento del fitoplancton y aumentan la turbidez del agua [17, 18].

Las concentraciones promedio de nutrientes NO₃ (nitrato), NO₂ (nitrito), NH₄ (amonio) y PO₄ (fosfato) presentaron variaciones entre temporadas (ver figura 2). El NO₃ en las muestras de agua analizadas fueron de bajos a moderados y oscilaron entre 0.3 y 1.5 mg/l. Las medidas de NO₂ en este estudio variaron entre 23.0 y 27.7 mg/l, mientras que la concentración de NH₄ osciló entre 0.3 y 7.9 mg/l. Los valores registrados para los PO₄ oscilaron entre 0.1 y 0.7 mg/l, marcando una diferencia significativa, en su mayoría, entre la temporada seca y la temporada lluviosa cuando se registró un incremento importante en la concentración de fosfato probablemente por el drenaje superficial. En la Bahía de Panamá para la temporada lluviosa, la concentración de nutrientes es muy baja y bastante uniforme en cuanto a su distribución vertical y horizontal; sin embargo, para la temporada seca, por efecto del afloramiento costero, la concentración de nutrientes aumenta en todos los niveles [19, 20].

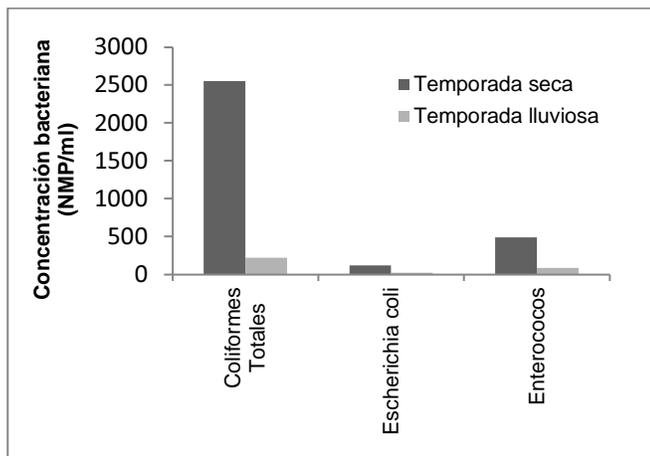


Figura 3. Cambios estacionales en bacterias indicadoras fecales (BIF) en la playa de Río Mar, San Carlos, Pacífico de Panamá.

En cuanto a las bacterias indicadoras fecales (BIF), los valores registrados para los coliformes totales oscilaron entre 50 y 5000 NMP/ml para ambas temporadas, marcando una notoria diferencia entre la temporada seca y la temporada lluviosa. Por otra parte, los valores que se registraron para *E. coli* oscilaron entre

12 y 203 NMP/ml para ambas temporadas mostrando una disminución significativa de la concentración de estas bacterias durante la temporada lluviosa como en el caso de las coliformes totales. En cuanto a los enterococos, los valores oscilaron entre 82 y 871 NMP/ml para ambas temporadas con un decrecimiento significativo de la concentración de estas bacterias durante la temporada lluviosa siendo consecuente con el comportamiento mostrado por los coliformes totales y *E. coli* (ver figura 3). Los estudios previos indican que las poblaciones bacterianas indicadoras de contaminación fecal en aguas costeras de Panamá muestran una variabilidad en la abundancia y distribución entre las temporadas seca y lluviosa [9, 10].

Se utilizó el análisis de agrupamiento jerárquico mediante el método UPGMA para evaluar la similitud entre los sitios de muestreo permitió identificar dos grupos con base en la variabilidad natural en los parámetros fisicoquímicos y la estacionalidad climática (ver figura 4). Se encontró un grupo de aguas costeras en temporada seca con altos niveles de salinidad, turbidez, nutrientes y una temperatura más fría (Grupo 1) y otro grupo que caracterizó aguas costeras de temporada lluviosa con valores menores de salinidad, turbidez y nutrientes, y una temperatura cálida (Grupo 2).

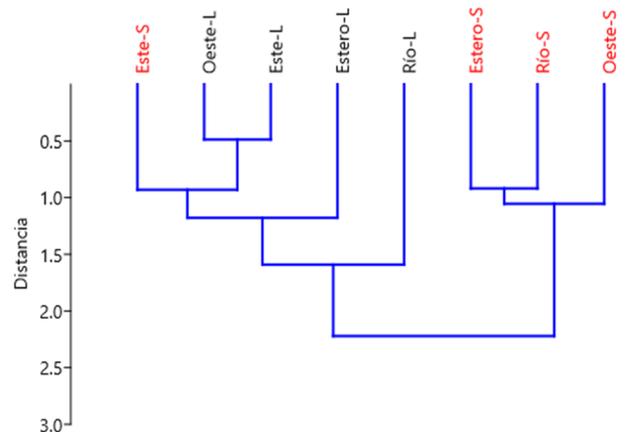


Figura 4. Análisis de similitud por agrupamiento jerárquico basado en el coeficiente de Bray-Curtis para la calidad de agua en cuatro sitios de la playa de Río Mar, San Carlos, Pacífico de Panamá.

El análisis de correspondencia apunta a que la mayor parte de la variación es explicada por el primer eje (93.9 %) mientras que con el segundo eje obtenemos el 6.1% de la variación (ver figura 5). El análisis de las relaciones entre los sitios de muestreo, las concentraciones de bacterias fecales y las variables

fisicoquímicas muestra que los coliformes totales parecen preferir una mayor concentración de nitrato y sólidos totales disueltos y niveles bajos de salinidad. Por otra parte, *E. coli* parece ser más sensible a los niveles de amonio y a la salinidad. Finalmente, la concentración de enterococos se asoció a altos valores de salinidad, fosfato y pH. Cabe destacar que los enterococos poseen mayor tolerancia a la salinidad y condiciones marinas [21].

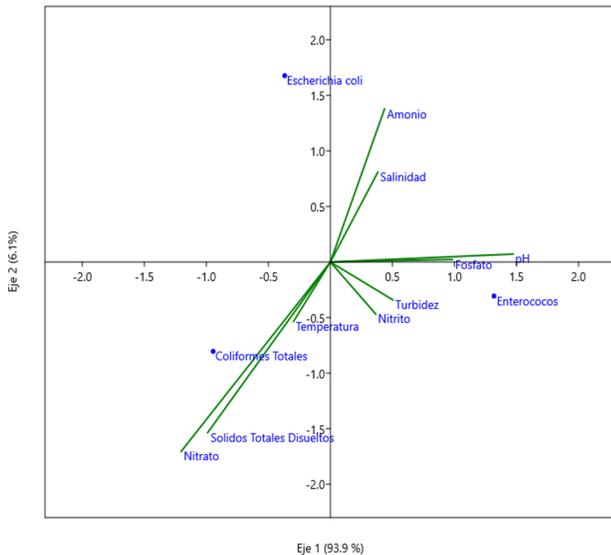


Figura 5. Análisis de correspondencia para la calidad de agua en cuatro sitios de la playa de Río Mar, San Carlos, Pacífico de Panamá.

Es bien conocido que la concentración de bacterias está relacionada con el aumento de los niveles de precipitación pluvial y del drenaje superficial, ya que la mayor abundancia de los coliformes fecales y otros patógenos en aguas costeras se observan durante la época de lluvias [22, 23, 24]. Durante la temporada lluviosa las aguas costeras reciben un mayor volumen de aguas de escorrentía ocasionando un mayor flujo de microorganismos, lo cual provoca un incremento en las densidades de bacterias indicadoras de contaminación fecal y microorganismos patógenos [25]. Sin embargo, los resultados de este estudio mostraron que la abundancia de BIF tiene un comportamiento contrario, con una concentración más alta durante la época seca disminuyendo significativamente durante la temporada lluviosa. Este hecho puede ser resultado de descargas continuas e intermitentes de aguas residuales sobre la playa de Río Mar y/o por la escorrentía del Río Calabazo durante los días previos a la fecha de muestreo de temporada seca. Además, existen reportes de

abundancia microbiana consistentemente mayores en temporada seca que en la temporada lluviosa debido a interacciones con factores ambientales (p. e. cambios en la temperatura y aumento de nutrientes) incluso por el incremento de la actividad turística que pueden impulsar la presencia de grupos bacterianos [26, 27, 28].

3. Conclusiones

Las aguas superficiales de la playa de Río Mar presentaron sus valores máximos de concentración de coliformes fecales, *E. coli* y enterococos en la temporada seca y fueron menores en temporada lluviosa. Cambios temporales en las condiciones ambientales, la actividad turística y recreativa y las descargas de aguas residuales pueden haber impulsado la mayor abundancia de bacterias fecales en la temporada seca. Se recomienda un programa continuo de monitoreo espaciotemporal de la calidad de las aguas en playas y zonas costeras que ayude a generar información sobre la contaminación microbiana. Además, es importante implementar mejores prácticas de gestión ambiental que pueden ser herramientas exitosas para mitigar la contaminación microbiana áreas litorales, pero estas prácticas de manejo deben adaptarse a las situaciones individuales para lograr la máxima eficacia. Finalmente, estos resultados deben ser considerados como un diagnóstico parcial, ya que la variabilidad natural ambiental y el incremento de las actividades antropogénicas pueden modificar la calidad de las aguas costeras de la playa de Río Mar.

AGRADECIMIENTOS

Este artículo es un extracto del trabajo de graduación presentado por Belén Guevara y Mabel Zúñiga como requisito para optar al grado de Licenciadas en Ingeniería Ambiental. Ariel Grey y Cenobio Cárdenas aportaron con sus comentarios que ayudaron a mejorar la interpretación de los resultados. La investigación fue respaldada parcialmente con fondos de la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT). El Laboratorio de Sanitaria de la Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá, hospedó y apoyó esta investigación.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener algún conflicto de interés.

CONTRIBUCIÓN Y APROBACIÓN DE LOS AUTORES

Belén Guevara y Mabel Zúñiga realizaron la recolección de datos y muestras en el campo, llevaron a cabo los análisis de laboratorio, y participaron en el análisis y la discusión de los resultados. Yarisel González brindó asistencia en el procesamiento de muestras y los análisis de laboratorio. Carlos Vergara-Chen diseñó la investigación, participó en el análisis y la discusión de los resultados, y redactó el manuscrito. Todos los autores afirmamos que se leyó y aprobó la versión final de este artículo.

REFERENCIAS

- [1] M. A. Mallin et al. Effect of human development on bacteriological water quality in coastal watersheds. *Ecological Applications*, 10(4), 1047-1056 (2000).
- [2] M. A. Mallin et al. Demographic, landscape, and meteorological factors controlling the microbial pollution of coastal waters. *Hydrobiologia* 460: 185-193 (2001).
- [3] M. Basili, M. et al. Occurrence and distribution of microbial pollutants in coastal areas of the Adriatic Sea influenced by river discharge. *Environmental Pollution*, 285, 117672 (2021).
- [4] Z. E. Soto-Varela et al. Preliminary microbiological coastal water quality determination along the Department of Atlántico (Colombia): Relationships with beach characteristics. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(2), 122 (2021).
- [5] R. N., Verga, R. N., J. A. Tolosano, N. J. Cazzaniga, D. G. Gil. Assessment of seawater quality and bacteriological pollution of rocky shores in the central coast of San Jorge Gulf (Patagonia, Argentina). *Marine Pollution Bulletin*, 150, 110749 (2020)
- [6] A. Herrera & P. Suárez. Indicadores bacterianos como herramientas para medir la calidad ambiental del agua costera. *Interciencia*, 30(3), 171-176 (2005).
- [7] S. Ramoutar. The use of Colilert-18, Colilert and Enterolert for the detection of faecal coliform, *Escherichia coli* and Enterococci in tropical marine waters, Trinidad and Tobago. *Regional Studies in Marine Science*, 40, 101490. (2020).
- [8] L. G. Akita, J. Laudien, C. Biney, M. O. Akrong. A baseline study of spatial variability of bacteria (total coliform, *E. coli*, and *Enterococcus* spp.) as biomarkers of pollution in ten tropical Atlantic beaches: concern for environmental and public health. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(36), 50941-50965. (2021).
- [9] A. Grey, V. Domínguez, V. & M. Castellero. Determinación de indicadores fisicoquímicos y microbiológicos de calidad del agua superficial en la Bahía de Manzanillo. *I+D Tecnológico*, 10(1), 16-27. (2014).
- [10] V. Castillo, G. Guerra, & K. Broce. Establecimiento de una línea base de parámetros de calidad de agua marina costera para la evaluación de los posibles efectos del cambio climático en Punta Galeta, Playa Teta, Playa Hermosa y Playa La Marinera. *I+D Tecnológico*, 12(1), 22-32 (2016).
- [11] C. M. Botero, C. Pereira & O. Cervantes. Estudios de calidad ambiental de playas en Latinoamérica: revisión de los principales parámetros y metodologías utilizadas. *Revista Investigación Ambiental, Ciencia y Política Pública*, 5(2):41-51 (2013).
- [12] C. M. Botero, G. Manjarrés, E. Márquez, C. I. Pereira. Beach Environmental Quality. In: Finkl C., Makowski C. (eds) *Encyclopedia of Coastal Science. Encyclopedia of Earth Sciences Series*. Springer, Cham, DOI: 10.1007/978-3-319-48657-4_410-1 (2018).
- [13] A. Hannides et al. US beach water quality monitoring. *Shore & Beach*, 89(3), 26 (2021).
- [14] V. N. De Jonge, M. Elliott, M. & V. S. Brauer. Marine monitoring: its shortcomings and mismatch with the EU Water Framework Directive's objectives. *Marine Pollution Bulletin*, 53(1-4), 5-19 (2006).
- [15] R. Aguilar, P. L. A. Camarena, C. García. Ordenamiento ecológico de la zona costera del Distrito San Carlos. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología, Universidad de Panamá. 182 pp. (1996).
- [16] Ø. Hammer, D. A. Harper, & P. D. Ryan. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia electronica*, 4(1), 9 (2001).
- [17] L. D'Croz, J. B. Del Rosario, & J. A. Gómez. Upwelling and phytoplankton in the Bay of Panama. *Revista de Biología Tropical*, 233-241 (1991).
- [18] L. M. Gonzalez, L. D'Croz. Variabilidad espacial del afloramiento en el Golfo de Panamá. *Tecnociencia*, 9(2), 107-119 (2007).
- [19] B. Kwiecinski, L. D' Croz, L. Oceanografía y Calidad del Agua. En: L. D'Croz, V. Martínez, G. Arosemena (Eds.). *El inventario biológico del Canal de Panamá. I. El Estudio Marino. Scientia (Panamá)* 8(2), 31-49 (1994).
- [20] L. D' Croz, A. O' Dea, Variability in upwelling along the Pacific shelf of Panama and implications for the distribution of nutrients and chlorophyll. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 73, 325-340 (2007).
- [21] M. N. Byappanahalli, M. B. Nevers, A. Korajkic, Z. R. Staley, V. J. Harwood. Enterococci in the environment. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* 76(4): 685-706. (2012). doi: 10.1128/MMBR.00023-12.
- [22] Y. He, Y. He, B. Sen, et al. Storm runoff differentially influences the nutrient concentrations and microbial contamination at two distinct beaches in northern China. *Science of the Total Environment*, 663, 400-407 (2019).
- [23] N. C. Powers, H. R. Wallgren, S. Marbach, S., J. W. Turner. Relationship between rainfall, fecal pollution, antimicrobial resistance, and microbial diversity in an urbanized subtropical bay. *Applied and Environmental Microbiology*, 86(19), e01229-20. (2020).
- [24] N. Krepsky, N., A. D. A. Viviane, F. S. Dos Santos, C. A. Naveira. Faecal bacteria density in tropical seawater: The Itanemas' cove case study, Angra dos Reis, Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, 164, 112027 (2021).

[25] D. Mushi. Bacteriological quality of marine recreational water in a tropical environment reflects coastal residential patterns. *Scientific African*, 8, e00326. DOI: 10.1016/j.sciaf.2020.e00326 (2020).

[26] P. R. Frade, B. Glasl, S. A. Matthews et al. Spatial patterns of microbial communities across surface waters of the Great Barrier Reef. *Commun. Biol.* 3, 442 (2020). <https://doi.org/10.1038/s42003-020-01166-y>

[27] L. Silva-Iñiguez, C. G. G. Corona, L. G. Miramontes & A. L. Mendoza, El impacto de la actividad turística en la calidad bacteriológica del agua de mar. *Gaceta Ecológica*, (82), 69-76 (2007).

[28] V. T. Dinakaran, M. Chandrasekaran, V. Sivanandham et al. Seasonal effluxes of microbial pollution and physiochemical assemblages along south east coast of India during southwest and northeast monsoon. *Regional Studies in Marine Science*, 59, 102804 (2023).