



**CARACTERIZACIÓN FENOTÍPICA DE BACTERIAS AISLADAS DE LA BAHÍA DE SANTA MARTA Y ZONAS COSTERAS ALEDAÑAS, CON AFECTACIÓN ANTROPOGÉNICA EN EL DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA.**

**KAREN JUDITH MORALES SIMANCA**

**DIANA CAROLINA FERNANDEZ DIAZ**

**Autores**

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR**

**FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS**

**PROGRAMA DE MICROBIOLOGÍA**

**VALLEDUPAR – CESAR**

**2025**



**CARACTERIZACIÓN FENOTÍPICA DE BACTERIAS AISLADAS DE LA BAHÍA DE SANTA MARTA Y ZONAS COSTERAS ALEDAÑAS, CON AFECTACIÓN ANTROPOGÉNICA EN EL DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA.**

**KAREN JUDITH MORALES SIMANCA**

**DIANA CAROLINA FERNANDEZ DIAZ**

**Autores**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de microbiólogo**

**AUGUSTO TORRES JIMENEZ**

**Director**

**KELIN ROXANA ESQUEA LARIOS**

**Codirectora**

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR**

**FACULTAD DE CIENCIAS BÁSICAS**

**PROGRAMA DE MICROBIOLOGÍA**

**VALLEDUPAR – CESAR**

**2025**



**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

✓

**Firma del presidente de jurado**

---

✓

**Firma del jurado**

---

✓

**Firma del jurado**

Valledupar, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ 2025



## **DEDICATORIA**

Este trabajo está dedicado principalmente a Dios, por haberme dado la vida y por permitirme llegar a este momento tan importante de mi formación profesional, a mi familia por ser pilares importantes en esta trayectoria demostrando todo su cariño y apoyo incondicional, Mi padre (QEPD).

A mis compañeros de estudio quienes fueron formula en este proceso de formación profesional, por su amistad sin ningún tipo de interés, sus palabras de aliento, por estar en las alegrías y tristezas, a nuestros directores de proyecto Augusto torres y Kelin Esquea quienes nos han brindado su apoyo incondicional, con su paciencia, sabiduría y orientación.

Gracias a todos los que han sido parte de este gran viaje, por su motivación constante y quienes han sido nuestra fuente de apoyo inquebrantable a lo largo de esta ardua, pero significativa travesía académica.

**KAREN JUDITH MORALES SIMANCA**



## DEDICATORIA

Dedico este trabajo primeramente a Dios quien me ha permitido llegar hasta aquí en mi formación profesional, a mis padres y hermanos, quienes han sido de gran apoyo a lo largo de este viaje, su amor y sacrificio me han guiado en cada paso.

A mis compañeros quienes me brindaron su compañía y ánimo en los momentos más difíciles y desafiantes y por cada charla y risas, a nuestros directores de proyecto Augusto Torres y Kelin Esquea quienes nos han impartido de su conocimiento y brindado su apoyo con su sabiduría y con amor, quien nos han marcado un camino en toda esta trayectoria académica.

y por último a todas aquellas personas que creyeron en mí capacidades y estuvieron ahí para darme ánimo.

**DIANA CAROLINA FERNANDEZ DIAZ**



### **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a la universidad del Magdalena por hacernos partícipe de su investigación, a la universidad popular del Cesar en especial al programa de microbiología, Al grupo de investigación CIMBIOS por brindarnos su apoyo incondicional.

**KAREN JUDITH MORALES SIMANCA**

### **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a Dios, a la universidad del Magdalena por hacernos partícipe de su investigación, a la universidad popular del Cesar en especial al programa de microbiología, Al grupo de investigación CIMBIOS por brindarnos su apoyo incondicional, a mi familia por apoyarme en esta ardua carrera.

**DIANA CAROLINA FERNANDEZ DIAZ**



## TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	4
AGRADECIMIENTOS .....	6
AGRADECIMIENTOS.....	6
INTRODUCCIÓN .....	17
1.1 PROBLEMA.....	19
1.1.1 Planteamiento del problema.....	19
1.1.2. Justificación.....	21
1.1.3 Pregunta de Investigación.....	23
1.2 OBJETIVOS.....	23
1.2.1 OBJETIVO GENERAL.....	23
1.2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO .....	23
2.0 MARCO TEÓRICO .....	24
2.1 Antecedentes.....	24
2.2 Marco teórico.....	27
2.2.1 La bahía de Santa Marta .....	27
2.2.2 Playas y aguas recreativas .....	27
2.2.3 Emisario submarino .....	28
2.2.4 Agua de Lastre.....	28
2.2.5 Calidad del agua .....	29
2.2.6 Impacto microbiológico.....	29
2.2.7 Impacto a la Salud Pública .....	30
2.2.8 Componente Microbiológico.....	30
2.2.9 Unidades formadoras de Colonias (UFC).....	31
2.2.10 Escherichia coli.....	32
2.2.11 Vibrio cholerae.....	32
2.2.12 Enterococos Intestinales.....	33
2.2.13 Klebsiella pneumoniae.....	33
2.2.14 Técnicas:.....	34
2.2.14.1 Siembra en profundidad .....	34



2.2.14.2	Siembra en medios diferenciales .....	34
2.2.14.3	Siembra en medios selectivos .....	35
2.2.14.4	Filtración por membrana .....	35
2.2.14.5	Prueba sistematizada .....	35
2.2.14.6	Principio del procedimiento .....	36
2.3	Marco legal .....	37
3.0	Metodología .....	39
Figura 1	.....	41
	Distribución geográfica de las zonas de toma de muestra.....	41
4.0	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	44
5.0	CONCLUSIÓN .....	55
6.0	RECOMENDACIONES .....	56
7.0	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS .....	58



## Lista de figuras

<b>Figura 1</b> Distribución geográfica de las zonas de toma de muestras	28
<b>Figura 2.</b> Gráficos de dispersión	32



### **Listado de tablas**

<b>Tabla 1.</b> Distancia entre los sitios de muestra	30
<b>Tabla 2.</b> Sitios de muestreo y estaciones	30
<b>Tabla 3.</b> Recuento de coliformes totales y fecales.	34
<b>Tabla 4.</b> Medidas de tendencia central	34
<b>Tabla 5.</b> Resultado prueba de la prueba normalidad de (Shapiro-Wilk)	35
<b>Tabla 6.</b> Estrategia estadística	35
<b>Tabla 7.</b> Evaluación de la homocedasticidad	37
<b>Tabla 7.1</b> Evaluación de la homocedasticidad.	37
<b>Tabla 8.</b> Prueba t las muestras independientes	37



## Listado de anexos

**anexo 1.** Batería Bioquímica

**Anexo 2.** Tinción de Gram

**Anexo 3.** Prueba de azúcares

**Anexo 4.** Filtración por membrana

**Anexo 5.** Identificación prueba sistematizada

**Anexo 6.** Prueba de catalasa y oxidasa

**Anexo 7.** Envases con las muestras biológicas

**Anexo 8.** Morfotipos de muestras del mes de noviembre 2023

**Anexo 9.** Morfotipos de muestras del mes de febrero 2024

**Anexo 10.** Morfotipos de muestras del mes de marzo 2024

**Anexo 11.** Recuento de RCT y RCF y distancia de cada sitio de muestreo.

**Anexo 12.** Morfotipos encontrados

**Anexo 13.** Colonias circulares en agar cromogenico

**Anexo 14.** Colonias puntiformes aisladas en agar cromogenico

**Anexo 15.** Colonias irregulares aisladas en agar cromogenico

**Anexo 16.** Resultados pruebas bioquímicas primer muestreo

**Anexo 17.** Resultados pruebas bioquímicas segundo muestreo



**Anexo 18.** Resultados prueba azúcares primer muestreo

**Anexo 19.** Resultados prueba de azúcares segundo muestreo

**Anexo 20.** Resultados método automatizado

## RESUMEN

La bahía de Santa Marta y sus zonas costeras adyacentes presentan un creciente deterioro ambiental ocasionado por actividades antropogénicas como el vertimiento de aguas residuales sin tratamiento mediante el emisario submarino, escorrentía urbana, derrames de hidrocarburos y descarga de agua de lastre. Estas prácticas generan alteraciones en la calidad del agua y la biodiversidad marina, aumentando los riesgos para la salud pública en áreas de uso recreativo. Ante la limitada información sobre los microorganismos presentes y su distribución espacial, esta investigación tuvo como objetivo evaluar el impacto de dichas actividades sobre la calidad sanitaria del agua mediante la caracterización fenotípica de bacterias. Se desarrolló un estudio de tipo cuantitativo, descriptivo y correlacional. Se recolectaron muestras de agua marina en nueve estaciones de muestreo, con tres réplicas biológicas por estación, aplicando técnicas de filtración por membrana y cultivo en medios cromogénicos para cuantificar coliformes totales (CT) y coliformes fecales (CF). La caracterización fenotípica incluyó pruebas bioquímicas convencionales e identificación automatizada mediante el sistema BD Phoenix™. Los datos fueron analizados con pruebas T, Student usando el software Jamovi. Los resultados evidenciaron elevadas concentraciones de *Klebsiella pneumoniae*, principalmente en estaciones cercanas al emisario y playas como Taganga e Isla Aguja, Al igual que *cutaneotrichosporon mucoide* en bahía gaira. Se observó una correlación significativa entre la proximidad al emisario y los niveles de coliformes fecales (CF), lo que indica un gradiente de contaminación microbiológica asociado a las actividades humanas, En donde Evidenciamos que los vertimientos no tratados representan una amenaza para la salud pública y los ecosistemas marino costeros. Los



hallazgos refuerzan la necesidad de establecer programas de monitoreo microbiológico continuo, así como estrategias integrales de gestión ambiental para mitigar el impacto de la contaminación en zonas costeras con alto valor ecológico y turístico.

Palabras clave: contaminación marina, emisario submarino, coliformes fecales, Santa Marta, bacterias costeras

## ABSTRACT

The bay of Santa Marta and its adjacent coastal areas are experiencing increasing environmental degradation caused by anthropogenic activities such as the discharge of untreated wastewater through the submarine outfall, urban runoff, oil spills, and ballast water discharge. These practices lead to alterations in water quality and marine biodiversity, increasing public health risks in recreational areas. Due to limited information about the microorganisms present and their spatial distribution, this study aimed to evaluate the impact of such activities on water sanitary quality through phenotypic characterization of bacteria. A quantitative, descriptive, and correlational study was conducted. Marine water samples were collected from nine sampling stations, with three biological replicates per station, using membrane filtration techniques and chromogenic media cultures to quantify total coliforms (TC) and fecal coliforms (FC). Phenotypic characterization included conventional biochemical tests and automated identification using the BD Phoenix™ system. Data were analyzed using Student's t-tests with Jamovi software. Results showed high concentrations of *Klebsiella pneumoniae*, mainly at stations near the outfall and beaches such as Taganga and Isla Aguja, as well as *Cutaneotrichosporon mucoides* in Gaira Bay. A significant correlation was observed between proximity to the outfall and fecal coliform (FC) levels, indicating a microbiological contamination gradient associated with human activities. The findings demonstrate that untreated discharges represent a threat to public health and coastal marine ecosystems. These results reinforce the need to establish continuous microbiological monitoring programs and comprehensive environmental management strategies to mitigate the impact of pollution in ecologically and touristically valuable coastal areas.



**Keywords:** Marine pollution, submarine outfall, fecal coliforms, Santa Marta, coastal  
bacteria

## INTRODUCCIÓN

Las regiones costeras representan áreas estratégicas y vulnerables a nivel global, ya que ofrecen una amplia variedad de bienes y servicios ambientales esenciales, como la pesca, el turismo, la actividad industrial, la investigación científica y el transporte marítimo. Este es el caso de Santa Marta, ciudad del Caribe colombiano que enfrenta crecientes presiones ambientales derivadas de la intervención humana, las cuales afectan significativamente sus zonas costeras y marinas adyacentes. (Forero, S., 2021).

Entre las principales amenazas se encuentran la escorrentía urbana con desechos variados, la descarga de aguas residuales sin tratamiento a través del emisario submarino, los derrames accidentales de hidrocarburos y la contaminación por aguas de lastre provenientes de buques internacionales. (Carreño-Blanco, L. E., 2016). Estos factores están estrechamente relacionados con el crecimiento poblacional y el aumento de actividades domésticas, agrícolas e industriales, generan una degradación progresiva del ecosistema marino, especialmente cuando no existe una adecuada gestión de los residuos sólidos y líquidos. (García, F., C, Palacio, y U, García, 2012).

Desde el año 2000, Santa Marta cuenta con un emisario submarino que vierte aguas residuales a una profundidad de 50 metros con un caudal de 1 m<sup>3</sup>/s. Aunque algunos estudios indican que este sistema no representa un riesgo directo inmediato, la descarga constante de aguas sin tratamiento representa una amenaza latente para zonas de gran valor turístico, como Taganga, ubicada a tan solo 1.800 metros del punto de vertimiento. (Moscarella, M., García, F., Palacio, C., 2012),

Asimismo, la descarga de agua de lastre de buques constituye otra fuente importante de contaminación. Aunque este tipo de agua es esencial para la estabilidad de las embarcaciones, puede contener microorganismos patógenos y especies invasoras capaces de alterar la biodiversidad marina y afectar la calidad del agua. (Díaz Domínguez, E., 2021). El puerto de Santa Marta, que recibe un elevado número de buques diariamente, presenta un alto riesgo de dispersión de especies exóticas, lo que acentúa la vulnerabilidad ambiental de la región (Casas, G. [Ed.], 2004)

Actualmente, se dispone de escasa información sobre las especies bacterianas presentes en estos cuerpos de agua y sobre su caracterización microbiológica. En este contexto, la presente investigación se propone evaluar la calidad sanitaria del agua en la bahía de Santa Marta y sus zonas costeras aledañas mediante la identificación y caracterización fenotípica de bacterias presentes. Con ello, se busca establecer el grado de impacto que ejercen las actividades antropogénicas sobre el ecosistema marino-costero, aportando insumos científicos para el diseño de estrategias de monitoreo, control y protección ambiental. (Corte Constitucional de Colombia, Sala Sexta de Revisión, 2015; PNNC, 2018).

## 1.1 PROBLEMA

### 1.1.1 Planteamiento del problema

La zona costera de la ciudad de Santa Marta y sus áreas aledañas enfrenta una creciente presión ambiental debido a actividades de origen antropogénico. Entre los principales factores de deterioro se encuentran la escorrentía urbana, la descarga de aguas residuales sin tratamiento a través del emisario submarino, los derrames accidentales de hidrocarburos y la descarga de aguas de lastre provenientes de buques internacionales. (Carreño-Blanco, L. E., 2016). Estas fuentes de contaminación introducen al medio marino diversos compuestos tóxicos, microorganismos patógenos y nutrientes en exceso, generando alteraciones en la biodiversidad, deterioro de la calidad del agua y potenciales riesgos para la salud pública. Ordóñez, O. G., & Arenas, M. R. B. (2019)

En particular, el emisario submarino de Santa Marta, construido en el año 2000, descarga aguas residuales con un caudal aproximado de  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  a una profundidad de 50 metros. (García, F., C. Palacio y U. García, 2012). Zonas cercanas a su punto de vertimiento, como la playa de Taganga uno de los principales destinos turísticos de la ciudad, se encuentran a solo 1.800 metros, lo que incrementa el riesgo de exposición directa a contaminantes. Aunque algunos estudios han minimizado el impacto inmediato del emisario, la falta de tratamiento previo y el aumento de la carga contaminante durante temporadas de alta afluencia turística y lluvias intensas generan preocupación creciente entre la comunidad científica y los entes ambientales. (Moscarella, M., García, F., Palacio, C., 2012).

Por otro lado, la descarga de agua de lastre por buques constituye una fuente significativa de introducción de especies invasoras y microorganismos exógenos que pueden alterar el equilibrio ecológico del ecosistema marino. En el puerto de Santa Marta se reporta una descarga diaria estimada de más de 12.000 toneladas de agua de lastre, lo que eleva el riesgo de diseminación de agentes patógenos, como *E. coli*, *Vibrio cholerae* y otros coliformes fecales. (Díaz Domínguez, E. 2021).

A pesar de la magnitud del problema, existe una evidente falta de estudios sistemáticos que identifiquen y caractericen las especies bacterianas presentes en las zonas impactadas por estos vertimientos. (Lozano, E., et. al 2016). En especial, no se ha establecido de manera clara un gradiente de contaminación que permita entender cómo varían los niveles microbiológicos con la distancia al emisario submarino u otras fuentes puntuales de contaminación. Esta carencia limita la capacidad de respuesta de las autoridades ambientales y obstaculiza el diseño de políticas públicas efectivas para la protección de estos ecosistemas estratégicos. (Toledo, H., et. al. 2005).

### 1.1.2. Justificación

Las zonas costeras afectadas por actividades humanas presentan altos niveles de nutrientes, materia orgánica, metales pesados y cargas microbiológicas, comprometiendo la calidad del agua y la salud de los ecosistemas. La principal causa de este deterioro es la descarga directa de aguas residuales sin tratamiento al océano. En el caso de Santa Marta, ciudad con una ubicación geográfica estratégica y un alto flujo de visitantes, esta situación adquiere una dimensión crítica. (INVEMAR, 2020).

La bahía de Santa Marta recibe anualmente cerca de 800.000 turistas, con picos de afluencia entre diciembre y enero. Estudios previos han reportado concentraciones de coliformes fecales y totales por encima de los límites establecidos para aguas de contacto primario, lo que representa un riesgo para las actividades recreativas como el nado y el buceo. Estas condiciones, además de comprometer la salud pública, afectan negativamente la economía local basada en el turismo. (Alarcón, J. S., & Quintana, R. V. (2020).

Ante esta situación, es urgente implementar programas de monitoreo que evalúen la calidad microbiológica del agua en zonas con alta exposición a contaminantes. La identificación precisa de especies bacterianas especialmente aquellas con potencial patógeno o resistencia antimicrobiana es fundamental para establecer alertas sanitarias y diseñar planes de manejo ambiental adecuados. (Antão-Barboza et al., 2018).

Este estudio, desarrollado en el marco de la colaboración entre la Universidad Popular del Cesar y la Universidad del Magdalena, con el respaldo del grupo de investigación CIMBIOS y en alianza con proyectos financiados por MINCIENCIAS, tiene el potencial de generar información científica clave. Sus resultados servirán como base



para fortalecer la gestión ambiental costera, cumplir con los objetivos de sostenibilidad del país y apoyar la formulación de políticas públicas orientadas a la protección de los ecosistemas marino-costeros del Caribe colombiano.

### 1.1.3 Pregunta de Investigación

¿Cuál es el impacto de las acciones antropogénicas sobre la calidad sanitaria del agua y las estaciones de referencia?

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el impacto de las actividades antropogénicas, particularmente del emisario submarino, sobre la calidad sanitaria del agua y las estaciones de referencia en la zona costera de Santa Marta mediante el monitoreo de indicadores microbiológicos y el análisis estadístico de las diferencias entre áreas de muestreo.

### 1.2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Cuantificar las concentraciones de coliformes totales (*CT*) y coliformes fecales (*CF*) en diferentes puntos de la zona costera de Santa Marta, incluyendo el emisario submarino y estaciones de referencia.
- Determinar las diferencias significativas en la calidad sanitaria del agua entre la zona de influencia del emisario submarino y otras áreas de referencia.
- Relacionar las concentraciones de coliformes con la distancia al emisario submarino.

## 2.0 MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes

En el año 2018 se realizó una evaluación sobre el decaimiento de *Escherichia coli*. (*E. coli*) en aguas costeras con sistemas de emisarios submarinos, con el objetivo de predecir el efecto de variables como la intensidad lumínica, la salinidad y la proporción de mezcla entre agua residual y agua marina en la reducción de esta bacteria en el medio oceánico. Los resultados de la investigación confirmaron que la intensidad de la luz solar es el factor ambiental más influyente en la tasa de decadencia de (*E. coli*). ya que la radiación solar acelera significativamente la disminución de su capacidad para formar colonias. No obstante, este efecto puede verse limitado por diversos factores, como la profundidad de la columna de agua, la presencia de materia orgánica disuelta, clorofila y partículas en suspensión, los cuales dificultan la penetración de la luz solar y, en consecuencia, reducen su impacto sobre los coliformes (Brooks y Field, 2016; Chan, Thoe y Lee, 2015; Mattioli et al., 2017).

Uno de los factores ambientales que ha captado la atención tanto de gobiernos como de la comunidad científica es la contaminación y los riesgos asociados a los vertidos de aguas residuales que contienen altos niveles de microorganismos patógenos. En los países en desarrollo, se estima que entre el 80% y el 90% de las aguas residuales generadas se descargan sin tratamiento en cuerpos de agua naturales. En áreas urbanas con sistemas de alcantarillado inadecuados, las aguas residuales tienden a desbordarse durante la temporada de lluvias, lo que provoca que una variedad significativa de microorganismos, incluyendo *enterobacterias* como *Escherichia coli* y *Salmonella spp*, así como otras bacterias potencialmente patógenas como *Pseudomonas spp*,

permitiendo que sean arrastrados hacia ríos, lagunas y el mar. Algunas de estas especies son patógenas para humanos y animales de interés comercial, y poseen genes que les confieren resistencia a fármacos y virulencia, lo que aumenta su capacidad patogénica. (Sáenz-Arias, S. et al. 2023).

En el año 2011 se determinó la asociación entre la descarga de agua residual del emisario submarino de Santa Marta en donde se vio alterada la calidad de las playas del rodadero. En donde se monitoreo la calidad del agua utilizando como indicador *E.coli* y el emisario submarino, teniendo en cuenta los sitios de muestreos y las profundidades, Donde se encontró que la calidad de contaminantes de la bahía de santa marta eran altas debido a los elevados contenido de materia orgánica con procedencia domiciliaria, sedimentos de arrastres y alcantarillado en el caso de las aguas residuales se estimó que eran procedentes del emisario submarino, En cuanto a los recuentos de *E.coli* en las zonas monitoreadas se evidenció una concentración de  $>2$  y 90 NMP/ml siendo Taganga la playa que demostró un alto porcentaje de (coliformes fecales CF) establecido por la normativa de aguas de contacto primario (Moscarella M. 2011)

Las evaluaciones realizadas sobre la contaminación microbiológica de origen antropogénico en las aguas marinas de la bahía de Cartagena (Bolívar) han evidenciado que un alto porcentaje de las muestras analizadas no cumplen con los estándares establecidos para usos recreativos de contacto primario. Esto se debe a que los parámetros microbiológicos no se ajustan a los rangos establecidos por la normativa vigente (Decreto 1594 de 1984; OMS, 2003), ya que las estaciones de monitoreo han reportado concentraciones superiores a los límites permitidos: coliformes totales  $<1000$



NMP/100 ml, *Escherichia coli* <200 NMP/100 ml y *Enterococcus spp.* <500 NMP/100 ml

(Gómez Cuartas, A. & López Suárez, K., 2020).

## **2.2 Marco teórico**

### **2.2.1 La bahía de Santa Marta**

Es uno de los lugares turísticos más importantes de Colombia. A esta bahía llegan más de un millón de turistas anuales en fechas entre diciembre y enero, Algunos estudios de control microbiológico del agua indican que los coliformes totales como fecales arrojaron valores superiores a los permitidos para aguas de contacto primario, Es de gran importancia el transporte marítimo internacional en el desarrollo de una nación y los beneficios económicos y sociales asociados. Sin embargo, también se han documentado los efectos colaterales sobre el medio ambiente, como los ocasionados por la introducción de especies invasoras a través del agua de lastre (Apín-Campos, Yanet Caridad, and Benigno Torres-Pérez. 2016). Este último corresponde a un mecanismo utilizado por los buques para el balance y estabilidad durante la navegación (DIMAR-CIOH, 2009), debido a la dinámica de disminución o aumento de peso por cargue o descargue de mercancía en los puertos. De esta manera cuando el buque realiza carga de mercancía expulsa el agua contenida en los tanques de lastre, así como las especies foráneas y demás material suspendido en esta. (González, Primitivo., y Antonio Salamanca. 2013).

### **2.2.2 Playas y aguas recreativas**

Las playas son ecosistemas sensibles que se encuentran bajo la influencia simultánea de factores terrestres y marinos, lo cual obliga a las especies que allí habitan a adaptarse a la acción constante de las olas. Estos entornos naturales albergan una amplia variedad de organismos, desde tortugas y aves hasta pequeños crustáceos y

peces. También desempeñan un papel crucial al proporcionar servicios ambientales esenciales para el ser humano y el equilibrio del ecosistema. Debido a que se utilizan frecuentemente para actividades recreativas con contacto directo con el agua, es fundamental que cumplan con las normativas sanitarias establecidas (Alvarado R. et al., 2020). También encontramos las áreas protegidas que corresponden: santuario de flora, laguna grande localizadas en el caribe colombiano específicamente en santa marta son reservas que fueron declaradas bienes y servicios ecosistémicos con el fin de conservar manglares a través de la rehabilitación hidrológica que favorezca la regeneración natural o la reforestación. (Mercado 2022)

### **2.2.3 Emisario submarino**

El emisario submarino es un sistema utilizado para la disposición final de aguas residuales. Consiste en una tubería continua de acero revestida con hormigón armado, con una longitud aproximada de 2.900 metros y un diámetro interior de 2,10 metros. Este sistema está diseñado para aprovechar la capacidad natural del ambiente marino para asimilar los residuos, funcionando de manera similar a una planta de tratamiento y disposición, y minimizando así los impactos negativos sobre el entorno marino.

### **2.2.4 Agua de Lastre**

Lastre es un elemento líquido, sólido o gaseoso que se utiliza para aumentar o disminuir el peso de un cuerpo. Los primeros buques eran cargados con lastre sólido en forma de piedras, arena o metal; pero desde 1880 han sido sustituidos por el agua, porque es de más fácil obtener, más barata, más rápida, más eficaz y más fácil de cargar y descargar. La Organización Marítima Internacional (OMI) afirma que cada año se

mueven en el mar una media de 10 mil millones de toneladas de agua de lastre a cada año (García, R., 2015).

### **2.2.5 Calidad del agua**

El concepto de calidad en función del agua, “hace referencia a las características que presenta la masa de agua, que han de ser descritas de forma objetiva por medio de parámetros cuantitativos o cualitativos” (Monsalve, 2018).

### **2.2.6 Impacto microbiológico**

Los microorganismos invasores se definen como organismos exógenos introducidos en ecosistemas que no son su hábitat natural (Ramírez, 2015). Bajo condiciones ambientales similares, estas especies pueden representar una amenaza para las comunidades nativas, ya que, al ser confundidas con presas por los depredadores locales, se dispersan de forma invasiva y pueden introducir enfermedades antes desconocidas en el entorno receptor (Józwiak y Barańska, 2014). En la misma línea, Apín y Torres (2016) señalan que la transferencia de agua de lastre asociada al transporte marítimo comercial facilita la introducción de especies invasoras, afectando la dinámica poblacional marina y alterando la estructura ecológica, con impactos tanto ambientales como socioeconómicos. Según Moreno (2015), los organismos transportados a través del agua de lastre tienen la capacidad de adaptarse y establecerse en nuevos ecosistemas, convirtiéndose en especies invasoras. Verna y Harris (2016) destacan que estas especies, al ingresar por esta vía, representan una seria amenaza para la integridad del ecosistema marino global. Asimismo, Pecarevic et al. (2018) indican que las comunidades de plancton contenidas en el agua de lastre

pueden sobrevivir al proceso de transporte y, eventualmente, colonizar nuevos ambientes.

### **2.2.7 Impacto a la Salud Pública**

La transferencia de especies de un ecosistema marino a otro puede afectar la salud porque pueden transmitir enfermedades que infectan a humanos y/o animales. Virus y bacterias circulan constantemente en el agua de lastre, poniendo en peligro la salud de las personas en el puerto de destino donde son liberados; esto sucedió en 1991 debido a una epidemia de cólera que se extendió a través de barcos de carga a diferentes partes del mundo, provocando una epidemia que infectó a cientos de personas en América Latina, especialmente en Perú. No sólo las bacterias o los virus dañan la salud humana, sino que también existen varias algas invasoras con alta toxicidad. (Ballast water. 2011).

### **2.2.8 Componente Microbiológico**

Los microorganismos en general requieren ciertas condiciones especiales para su crecimiento y desarrollo y dependiendo de la familia y el género se van volviendo más específicas dichos requerimientos, entre estos el pH del agua, la salinidad, cantidad de nutrientes, temperatura. Es importante, mencionar que el agua de mar entre más lejana sea de la costa, más dilución de nutrientes va a tener. Se sabe que esta contiene iones inorgánicos y gases disueltos, pero nutrientes importantes para el desarrollo de varios microorganismos con nitrógeno, fósforo y hierro se encuentran en concentraciones muy bajas; siendo estos más concentrados en zonas costeras (Moreno, 2022)

### 2.2.9 Unidades formadoras de Colonias (UFC)

Las **UFC** son una medida utilizada para estimar el número de **microorganismos viables** (como bacterias o hongos) presentes en una muestra líquida, como el agua. Se basa en la suposición de que cada colonia visible que crece en una placa de cultivo proviene de una sola célula microbiana o de un grupo de células viables agrupadas. Así, al contar las colonias después de un periodo de incubación, se puede estimar cuántos microorganismos vivos había en la muestra original. (Hernández 2021)

UFC indica la cantidad de microorganismos vivos capaces de reproducirse en condiciones adecuadas. Es una guía de calidad del agua, útil para detectar contaminación bacteriana o fúngica. El análisis suele realizarse por cada 100 ml o litro de agua, dependiendo de la normativa o aplicación. Es un método estándar para estimar la seguridad microbiológica del agua potable, alimentos, cosméticos, etc. Erika p. Núñez R eat. (2017)

El Decreto 1076 de 2015 en Colombia establece reglas para la calidad del agua utilizada como actividad recreativa. Según el decreto las aguas recreativas son aquellas que se utilizan para actividades como la natación, deportes acuáticos y todas aquellas actividades que necesiten contacto directo con el agua. Este decreto establece parámetros específicos que se deben cumplir para así garantizar la seguridad de las aguas recreativas en el cual incluye niveles permitidos de microorganismos y otros contaminantes, así como también el monitoreo para determinar la calidad de las mismas aguas.

Los parámetros que este decreto establece para coliformes totales son de 500 UFC por 100 ml, para *E. coli* 200 UFC por 100 ml y para *Enterococos* fecales 200 UFC

por 100 ml. Estos límites son importantes para así controlar la presencia de patógenos que puedan causar enfermedades o infecciones a cada individuo.

### 2.2.10 *Escherichia coli*

*Escherichia coli* (*E. coli*) es una bacteria Gram negativa perteneciente a la familia *Enterobacteriaceae*, clasificada dentro del grupo de coliformes fecales. Se encuentra comúnmente en el tracto intestinal de humanos y animales. Aunque es un bacilo de tamaño microscópico, su presencia puede evidenciarse mediante el crecimiento de colonias en medios de cultivo como agar Eosina Azul de Metileno (EMB), agar MacConkey, entre otros. *E. coli* forma parte del microbiota normal del intestino, pero ciertas cepas pueden causar enfermedades gastrointestinales, cuyos síntomas incluyen náuseas, vómitos, diarrea y fiebre. Su principal vía de transmisión es la fecal-oral, siendo los alimentos y el agua contaminados las fuentes más comunes de infección (Rivera y Rock, 2018).

### 2.2.11 *Vibrio cholerae*

*Vibrio cholerae* es un bacilo Gram negativo, anaerobio facultativo, que pertenece al género *Vibrio* dentro de la familia *Vibrionaceae*. Presenta una morfología curvada similar a una coma, posee alta motilidad gracias a un flagelo polar único y sus dimensiones oscilan entre 0,2–0,4  $\mu\text{m}$  de ancho y 1,5–2,4  $\mu\text{m}$  de largo. Es oxidasa y catalasa positivo, tiene la capacidad de reducir nitratos a nitritos, descarboxilar lisina y ornitina, y fermentar ciertos carbohidratos con producción de ácido. Este microorganismo es el agente etiológico del cólera, una enfermedad diarreica aguda de transmisión hídrica. *V. cholerae* ha sido responsable de siete pandemias a lo largo de la historia, particularmente asociado a dos serogrupos pandémicos. Su presencia se ha

documentado en ambientes acuáticos, moluscos, humanos, e incluso en el agua de lastre de buques (Rodríguez Cautiva, 2011).

### **2.2.12 Enterococos Intestinales**

Los *Enterococcus* son microorganismos anaerobios facultativos Gram positivos perteneciente a la familia *Enterococcaceae*. Es un género de bacteria ampliamente distribuido en las plantas, suelo y agua, Estas bacterias pueden provocar una variedad de infecciones, incluyendo endocarditis, infecciones del tracto urinario, infecciones intraabdominales, heridas infectadas y bacteriemias asociadas. Los intestinos son microorganismos bastante ubicuos que forman parte del microbiota intestinal de los animales, insectos y humanos. (Corredor 2019)

La facilidad con la que estos microorganismos adquieren resistencias a antibióticos sumado a la gran capacidad que poseen para sobrevivir en cualquier ambiente, ha ocasionado serios problemas de salud, principalmente en personas hospitalizadas. (Mejía 2019).

### **2.2.13 Klebsiella pneumoniae**

*K. pneumoniae* es un bacilo Gram negativo que pertenece a la familia Enterobacteriaceae y representa la especie más clínicamente significativa del género *Klebsiella*, siendo una causa frecuente de enfermedades e infecciones. Forma parte del microbiota intestinal humana y también puede encontrarse en la nasofaringe. Este microorganismo está altamente adaptado al entorno hospitalario, donde puede sobrevivir durante períodos prolongados en las manos del personal médico, lo que facilita su propagación entre pacientes y distintas áreas del hospital. Su persistencia en estos

ambientes se debe a varias características, como su resistencia a la desecación y su cápsula hidrófila, la cual le permite sobrevivir en la piel. Esta cápsula también le confiere protección frente a la fagocitosis por parte de células inmunitarias como los polimorfonucleares y macrófagos, así como frente a diversos mecanismos bactericidas del huésped. Costa, R. (2016).

## **2.2.14 Técnicas:**

### **2.2.14.1 Siembra en profundidad**

La siembra en profundidad es una técnica utilizada para cultivar microorganismos dentro de un medio de cultivo sólido, en lugar de hacerlo únicamente en su superficie. El procedimiento consiste en mezclar la muestra con un medio líquido fundido, como el agar, y verterla posteriormente en una placa de Petri o en un tubo de ensayo. Una vez solidificado el medio, los microorganismos se desarrollan en el interior del agar, permitiendo su crecimiento en tres dimensiones dentro del sustrato. Murillo, P. G., & Mendoza, G. R. P. (2023)

### **2.2.14.2 Siembra en medios diferenciales**

Esta técnica facilita la diferenciación de diversos tipos de microorganismos a partir de sus propiedades bioquímicas. Para ello, se emplean medios de cultivo que incorporan indicadores capaces de cambiar de color o generar reacciones visibles en respuesta a la actividad metabólica de las bacterias. Esto permite distinguir entre distintas especies bacterianas en función de sus capacidades metabólicas. Es un procedimiento ampliamente utilizado en laboratorios de microbiología para fines de identificación bacteriana. Gómez, G. (2013).

### **2.2.14.3 Siembra en medios selectivos**

Consiste en la utilización de medios de cultivo selectivo, formulado para estimular el desarrollo de determinados microorganismos mientras inhiben el crecimiento de otros. Esta técnica resulta particularmente eficaz para el aislamiento y estudio de especies microbianas específicas a partir de muestras complejas, como las provenientes de suelos, cuerpos de agua o entornos clínicos. Pioli, V., Breglia, N., & Teves, S. (2019).

### **2.2.14.4 Filtración por membrana**

Este método se fundamenta en el desarrollo, identificación y cuantificación de colonias microbianas retenidas sobre la superficie de un filtro, a través del cual se ha hecho pasar un volumen conocido de muestras de agua. Posteriormente, el filtro se incuba sobre un medio de cultivo apropiado, bajo condiciones controladas de tiempo y temperatura. Actualmente, esta técnica es una de las más utilizadas y preferidas para estimar la calidad microbiológica del agua.

### **2.2.14.5 Prueba sistematizada**

El sistema automatizado BD Phoenix M50® ha sido desarrollado para llevar a cabo de manera rápida tanto la identificación (ID) como las pruebas de susceptibilidad antimicrobiana (AST) de bacterias clínicamente relevantes. Este equipo proporciona resultados ágiles para la mayoría de las bacterias aerobias y anaerobias facultativas, tanto Gram positivas como Gram negativas, provenientes de muestras humanas. Además, está diseñado para identificar de forma rápida levaduras y microorganismos similares a las levaduras. Fernández, L. (2024)

#### 2.2.14.6 Principio del procedimiento

El BD Phoenix M50 permite realizar hasta 50 pruebas simultáneas de identificación y antibiograma mediante el uso de paneles Phoenix ID/AST. Estos paneles consisten en una bandeja auto inoculada y sellada de poliestireno, que contiene 136 micro-pozos con reactivos deshidratados. Estos pozos están distribuidos entre la sección destinada a la identificación bacteriana (ID) que contiene sustratos bioquímicos secos y la sección AST, que incluye diversas concentraciones de antimicrobianos, así como controles específicos de crecimiento y fluorescencia. Fernández, L. (2024)

Para la prueba de susceptibilidad, el sistema emplea un indicador redox colorimétrico, mientras que para la identificación utiliza una combinación de indicadores colorimétricos y fluorométricos. El caldo AST, ajustado con cationes como  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$ , optimiza la precisión del antibiograma. En total, cada panel Phoenix incorpora 51 pozos para identificación (incluyendo 45 con sustratos bioquímicos y 2 fluorescentes de control) y 85 pozos para AST, lo que permite un análisis detallado de los microorganismos evaluados. Fernández, L. (2024)

## 2.3 Marco legal

**El Decreto 1076 de 2015.** Este decreto establece el reglamento para la calidad del agua utilizada como actividad recreativa. Según el decreto las aguas recreativas son aquellas que se utilizan para actividades como la natación, deportes acuáticos y todas aquellas actividades que necesiten contacto directo con el agua. Este decreto establece parámetros específicos que se deben cumplir para así garantizar la seguridad de las aguas recreativas en el cual incluye niveles permitidos de microorganismos y otros contaminantes, así como también el monitoreo para evaluar la calidad de las mismas aguas.

Parámetros que establece este decreto		
<b><i>Coliformes Totales</i></b>		1000 ufc/100 ml
<b><i>Coliformes Fecales (E. Coli)</i></b>		200 ufc/ 100 ml
<b><i>Enterococos fecales</i></b>		200 ufc/ 100 ml

Estos límites son importantes para así controlar la presencia de patógenos que puedan causar enfermedades o infecciones a cada individuo.

**RESOLUCIÓN 0247 DE MARZO DE 2022.** Esta resolución “incorpora unas definiciones a la Parte 1 del REMAC 5 y se adiciona el Capítulo 2 al Título 1 de la Parte 2 del REMAC 5: “*Protección del Medio Marino y Litorales*”, sobre la designación de zonas para el cambio del agua de lastre en situaciones de emergencia o de incumplimiento de la gestión del lastre”.



**RESOLUCIÓN 477 DE 2012.** *“Por la cual se adoptan y establecen las medidas y el procedimiento de control para verificar la gestión del Agua de Lastre y sedimentos a bordo de naves y artefactos navales nacionales y extranjeros en aguas jurisdiccionales colombianas”.*

**RESOLUCIÓN 833 DEL 2018.** *“Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas marinas, y se dictan otras disposiciones”.*

**DECRETO 3930 DEL 2010.** *“Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI- Parte III-Libro II del Decreto – Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones”.*

### 3.0 Metodología

#### 3.1 Diseño del Estudio y Muestreo

Se incrementó un estudio cuantitativo, descriptivo y correlacional para evaluar el impacto del emisario submarino sobre la calidad sanitaria del agua en la zona costera de Santa Marta. Las estaciones de muestreo se seleccionaron de modo representativo, abarcando tanto la zona de influencia directa del emisario como áreas de referencia. En cada estación se recolectaron muestras de agua de mar en 3 réplicas biológicas independientes, lo que permitió obtener promedios para los recuentos microbiológicos y minimizar la variabilidad intra estación.

Se realizaron 3 réplicas biológicas por estación en un total de 9 estaciones, cada réplica biológica representó una muestra independiente. Esto significa que inicialmente se recolectaron 27 muestras individuales (3 réplicas biológicas por estación × 9 estaciones).

#### 3.2 Recolección de Muestras y Análisis Microbiológico

- **Recolección de muestras:**

Se utilizaron botellas estériles para la recolección de muestras de agua, siguiendo protocolos estandarizados internacionales (p. ej., APHA, AWWA, WEF, 2012).

- **Método de recuento:**

Los análisis microbiológicos se realizaron mediante filtración por membrana. La muestra fue filtrada a través de membranas estériles, y luego se sembró en medio cromogenico de Sharloud. Este medio permite diferenciar y

contar coliformes totales (RCT) y coliformes fecales (RCF) mediante la aparición de colonias de colores distintivos, facilitando la identificación y cuantificación (American Public Health Association [APHA], 2012).

- **Obtención de promedios:**

Cada estación fue analizada en triplicado (réplicas biológicas) y se calcularon los promedios de RCT y RCF. La baja variabilidad intraestacional permitió utilizar estos promedios para comparaciones entre estaciones y para análisis de regresión.

### 3.3 Análisis Estadístico

- **Software:**

Se utilizó Jamovi para el análisis estadístico.

- **Análisis descriptivos:**

Se obtuvieron estadísticas descriptivas (media, mediana, desviación estándar, valores mínimo y máximo) de las variables RCT, RCF y DISTANCIA KM.

- **Pruebas comparativas e inferenciales:**

Se elaboró una prueba de T para muestras independientes y T, Student (con la corrección de Welch en caso de desigualdad de varianzas) para comparar los recuentos microbiológicos entre grupos (EMISARIO vs. OTRAS ZONAS).

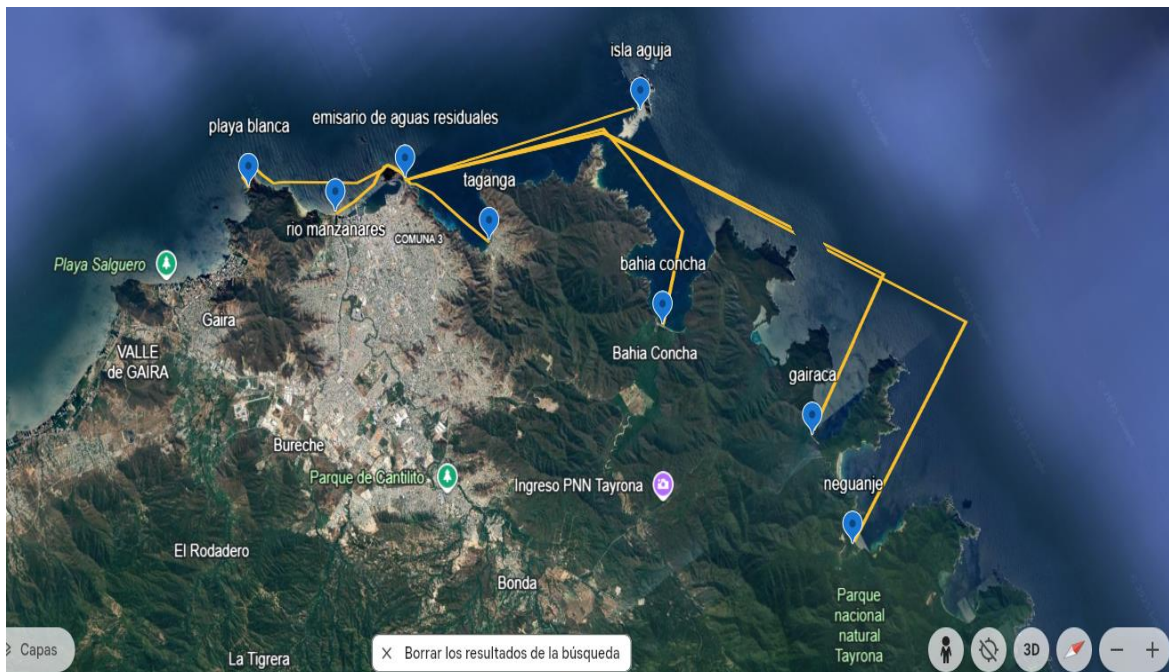
- **Regresión lineal:**

Se aplicó regresión lineal para evaluar la relación entre la distancia (DISTANCIA\_KM) y los recuentos de coliformes, permitiendo determinar la

capacidad predictiva de la variable distancia sobre la contaminación microbiológica (Field, 2013; Agresti, 2015).

**Figura 1.**

Distribución geográfica de las zonas de toma de muestra.



(Morales y Fernández 2025)

Tabla 1.

Distancias entre los sitios de muestra.

<b>Muestras</b>	<b>Distancia</b>
<b>Neguanje</b>	24,16Km
<b>Bahía concha</b>	11,84 km
<b>Isla aguja</b>	7,08793 Km
<b>Playa Blanca</b>	5,76285 Km
<b>Bahía Gaira</b>	19,46Km
<b>Bahía Taganga</b>	2,995Km
<b>Emisario 1</b>	50m
<b>Emisario 2</b>	100m
<b>Emisario 3</b>	200m

(Morales y Fernández 2025)

**Tabla 2.**

**Sitios de muestreos y estaciones.**

<b>Para el emisario submarino se realizaron muestreos concéntricos en 3 anillos</b>	
<b>Número de Muestras</b>	27 (9 estaciones con 3 réplicas biológicas)
<b>Sitios de Muestreo</b>	Ng: Neguanje
	Bc: Bahía Concha
	Ia: Isla Aguja
	Pb: Playa Blanca
	Bg: Bahía Gaira
	Tg: Taganga
<b>Estaciones Emisario Submarino</b>	A1: radio de 50
	A2: radio de 100 m
	A3: radio de 200 m

(Morales y Fernández 2025)

#### 4.0 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 3

##### Recuento de coliformes totales y fecales

Estación de Muestreo	Réplica 1, CT	Réplica 2, CT	Réplica 3, CT	Promedio CT	Réplica 1, CF	Réplica 2, CF	Réplica 3, CF	Promedio CF
NEGUANJE	906	89	715	570	3	47	4	18
BAHIA CONCHA	367	220	582	390	18	21	30	23
ISLA AGUJA	180	375	15	190	19	1	28	16
PLAYA BLANCA	106	574	191	290	184	63	83	110
BAHIA GAIRA	457	145	748	450	128	74	506	236
BAHIA TAGANGA	1350	1500	1440	1430	137	69	4	70
EMISARIO 1	1700	1760	1820	1760	1450	1500	1550	1500

<b>EMISARIO 2</b>	<b>1550</b>	<b>1570</b>	<b>1600</b>	<b>1573</b>	<b>680</b>	<b>700</b>	<b>720</b>	<b>700</b>
<b>EMISARIO 3</b>	<b>750</b>	<b>830</b>	<b>910</b>	<b>830</b>	<b>400</b>	<b>500</b>	<b>600</b>	<b>500</b>

(Morales y Fernández 2025)

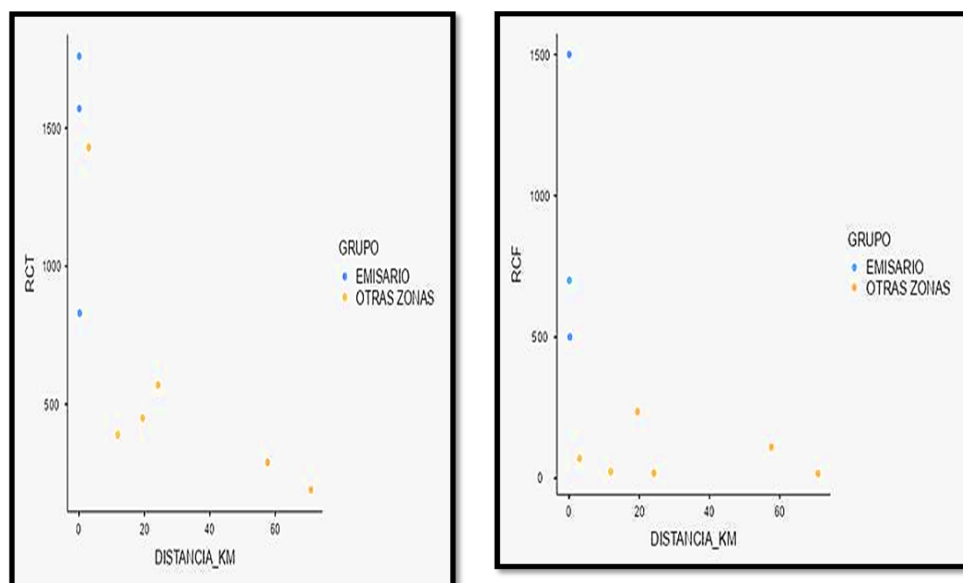
Réplicas biológicas vs. repeticiones Las técnicas Réplica biológica Consiste en muestrear unidades biológicas independientes bajo la misma condición experimental (p. ej., distintas tomas de agua en una misma estación). Captura la variabilidad natural entre organismos o muestras reales, reflejando los efectos biológicos y ambientales in situ. En este estudio, cada estación se muestreó tres veces en puntos cercanos pero independientes, asegurando que las fluctuaciones propias del entorno (corrientes, temperatura, carga orgánica) quedarán incorporadas en los datos. Repetición técnica Implica procesar la misma muestra varias veces en el laboratorio (p. ej., multiplicar la siembra de un mismo frasco de agua). Evalúa únicamente la precisión del método (variabilidad del ensayo, exactitud de pipeteo, contaje en placa), pero no añade información sobre la heterogeneidad biológica real.

**Tabla 4.**

**Medidas de tendencia central**

	<b>RCT</b>	<b>RCF</b>	<b>DISTANC IA _ Km</b>
<b>N</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>9</b>
<b>Media</b>	<b>831</b>	<b>353</b>	<b>20.8</b>
<b>Mediana</b>	<b>570</b>	<b>110</b>	<b>11.8</b>
<b>Desviación estándar</b>	<b>600</b>	<b>493</b>	<b>26.4</b>
<b>Mínimo</b>	<b>190</b>	<b>16</b>	<b>0.0500</b>
<b>Máximo</b>	<b>1760</b>	<b>1500</b>	<b>70.9</b>

## Gráficos de Dispersión



(Morales y Fernandez 2025)

- **Importancia en este estudio:** La media se utilizó para sintetizar los recuentos microbiológicos en un solo valor representativo por estación. Este promedio fue la base para los análisis estadísticos, como el ANOVA de un factor.
- **Desviación estándar:** Se utilizó como medida de dispersión para evaluar la variabilidad en los datos. Indicó qué tan lejos estaban las réplicas biológicas individuales del promedio calculado.
- **Rango (mínimo y máximo):** Permitió describir la amplitud de los recuentos microbiológicos en cada estación.
- **Las medidas de tendencia central (media y mediana):** Fueron esenciales para resumir los datos microbiológicos en este estudio, mientras que la desviación estándar y el rango aportaron información clave sobre la dispersión de los valores.

- Gráficos de dispersión:** Este análisis visual sugiere una posible relación entre la distancia (*DISTANCIA KM*) y el recuento de coliformes fecales (*RCF*) en los grupos *EMISARIO* y *OTRAS ZONAS*. Los gráficos de dispersión revelaron patrones de distribución diferentes entre los grupos "Emisario" y "Otras Zonas". Para RCT, se observó una mayor concentración de valores altos cerca de las distancias más cortas, mientras que para RCF, la mayoría de los valores elevados se agrupan en el grupo "Emisario".

### Evaluación de normalidad

Tabla 5.

#### Resultados de la prueba de normalidad de (shapiro-wilk)

Variable	W	p-valor
RCT	0.869	0.119
RCF	0.747	0.005

RCT:  $p = 0.119 > 0.05 \Rightarrow$  no se rechaza normalidad.

RCF:  $p = 0.005 < 0.05 \Rightarrow$  se rechaza normalidad.

**Tabla 6.**

**Estrategia estadística**

<b>Variable</b>	<b>Normalidad</b>	<b>Var. iguales</b>	<b>Prueba a aplicar</b>
<b>RCT</b>	<b>Sí</b>	<b>Depende de Levene</b>	<b>t Student (var iguales) o Welch (var desiguales)</b>
<b>RCF</b>	<b>No</b>	<b>—</b>	<b>Mann–Whitney U (o Kruskal–Wallis para &gt;2 grupos)</b>

(Morales y Fernande 2025)

La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk es un test estadístico utilizado para determinar si un conjunto de datos sigue una distribución normal. Es especialmente útil en estadística inferencial, ya que muchas pruebas paramétricas (como el *t-test*, student o regresión lineal) requieren que los datos sean normalmente distribuidos para garantizar la validez de sus resultados.

**Estrategia estadística**

Con esto garantizamos que las pruebas estuvieran perfectamente alineadas con los supuestos de los datos y los objetivos de comparación “Emisario vs. Otras Zonas”.

**Tabla 7**

**Evaluación de la homocedasticidad**

<b>Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas</b>				
	F	gl1	gl2	p
RCT	0.138	1	7	0.721

Homogeneidad de Varianzas (Levene) para RCT = 0.138,  $gl_1 = 1$ ,  $gl_2 = 7$ ,  $p = 0.721$  ( $> 0.05$ )  $\Rightarrow$  Se cumple la homocedasticidad.

**Tabla 7.1**

**Evaluación de la homocedasticidad**

<b>Prueba t para Muestras Independientes</b>				
		Estadístico	gl	p
RCT	T de Student	2.55	7.00	0.038

Nota.  $H_a \mu_{EMISARIO} \neq \mu_{OTRAS ZONAS}$

Para determinar si podemos usar pruebas paramétricas en RCT ( Welch o Student según sea el caso), y qué prueba no paramétrica usar en RCF, necesitamos comprobar la igualdad de varianzas entre los dos grupos (“Emisario” vs. “Otras Zonas”).

Cumplir con la homocedasticidad significa que las varianzas de los grupos que se están comparando son iguales o muy similares, lo cual es un supuesto fundamental para aplicar una prueba estadística paramétrica, como la t de Student (para dos grupos).

La prueba t para muestras independientes evalúa si hay una diferencia significativa entre las medias de dos grupos independientes (en este caso, EMISARIO y OTRAS ZONAS) para el parámetro RCT. Según los resultados:

- Estadístico t: 2.55
- Grados de libertad (gl): 7.00
- p-valor: 0.038
- Interpretación:
- El p-valor (0.038) es menor que el nivel de significancia comúnmente utilizado ( $\alpha = 0.05$ ). Esto indica que hay evidencia estadísticamente significativa para rechazar la hipótesis nula ( $H_0$ ).
- La hipótesis alternativa ( $H_a$ ) se acepta, lo que sugiere que la media de RCT en el grupo EMISARIO es diferente de la media en el grupo OTRAS ZONAS.

**Tabla 8**

**Prueba t para Muestras Independientes**

<b>Prueba t para Muestras Independientes</b>					
		<b>Estadístico U</b>	<b>p</b>	<b>Diferencia de medias</b>	
<b>RCF</b>	<b>U de Mann-Whitney</b>	<b>0.00</b>	<b>0.024</b>	<b>654</b>	
<b>Nota. <math>H_a \mu_{EMISARIO} \neq \mu_{OTRAS ZONAS}</math></b>					

(Morales y Fernández 2025)

● **Resultados Interpretados**

1. Estadístico U:

1. El valor de U de Mann-Whitney es 654654654. Este es el estadístico calculado al ordenar los datos por rangos y compararlos entre los grupos.

2. p-valor (ppp):

1. Con  $p=0.024$ , que es menor a  $\alpha=0.05$ , se rechaza la hipótesis nula.

2. Esto indica una diferencia significativa en las distribuciones del RCF entre las zonas evaluadas.

### 3. Diferencia de Medianas:

1. Aunque la diferencia de medias aparece en el análisis, lo más relevante en pruebas no paramétricas como esta es comparar las medianas o las distribuciones generales.

#### **4.3. Identificación por método automatizado**

Utilizando el sistema automatizado BD Phoenix™, se identificaron 7 de los 30 morfotipos aislados de cepas representativas. Predominó *Klebsiella pneumoniae*, detectada en estaciones asociadas tanto al emisario como a zonas recreativas como Taganga e Isla Aguja. También se aisló *Cutaneotrichosporon mucoides* en Bahía Gaira. La presencia de estas especies es relevante, ya que ambas son oportunistas patógenas, resistentes a múltiples antibióticos y asociadas a infecciones humanas

## **DISCUSIÓN**

Los resultados de este estudio demuestran diferencias significativas en las concentraciones de coliformes fecales entre las áreas cercanas al emisario submarino y las zonas de referencia, lo que evidencia el impacto directo de las descargas sobre la calidad microbiológica del agua. Este hallazgo es consistente con investigaciones previas, como las de Moscarella Valle et al. (2011), quienes observaron niveles medios de contaminación asociados al emisario en la Bahía de Santa Marta.

Por otro lado, Ramos et al. (2008) también reportaron que la Bahía presenta contaminación microbiológica atribuible a fuentes como el emisario, afectando su uso recreacional. Sin embargo, estos hallazgos contrastan con estudios que sugieren que el emisario no supera los límites normativos en la línea costera (Rodríguez Sarmiento & Barros Santiago, 2007), lo cual puede deberse a variaciones en el caudal, condiciones ambientales o diferencias metodológicas.

Factores como las corrientes marinas y la dispersión de contaminantes explican las variaciones observadas, lo que subraya la importancia del monitoreo continuo. A pesar de los estudios que abogan por la sostenibilidad del emisario (Pasión Por Santa Marta, 2015), los niveles de coliformes superan los estándares para aguas recreacionales en su área de influencia, reafirmando la necesidad de una gestión ambiental rigurosa.

Las descargas del emisario submarino impactan significativamente la calidad del agua en su entorno inmediato, siendo imperativo fortalecer las estrategias de monitoreo y control para garantizar la sostenibilidad ambiental y sanitaria de la Bahía de Santa Marta.

## 5.0 CONCLUSIÓN

Este estudio permitió evaluar el impacto de las actividades antropogénicas, particularmente la descarga de aguas residuales a través del emisario submarino, sobre la calidad microbiológica del agua en la bahía de Santa Marta y sus zonas costeras aledañas. A través del análisis fenotípico de bacterias aisladas y la cuantificación de coliformes totales (CT) y fecales (CF), se identificaron niveles elevados de contaminación en áreas cercanas al punto de vertimiento, con una tendencia decreciente a medida que aumenta la distancia desde el emisario.

El análisis estadístico evidenció diferencias significativas entre las estaciones ubicadas en la zona de influencia directa del emisario y aquellas consideradas de referencia, lo que confirma un patrón de gradiente de contaminación bacteriana. Asimismo, se identificaron microorganismos de interés sanitario, como *Klebsiella pneumoniae* y *Cutaneotrichosporon mucoides*, que representan una amenaza potencial tanto para la salud pública como para el equilibrio ecológico del ecosistema marino-costero.

Estos hallazgos subrayan la necesidad de implementar programas de monitoreo continuo y sistemas de alerta temprana que integren parámetros microbiológicos, oceanográficos y climáticos. Además, se recomienda fortalecer la vigilancia ambiental y sanitaria en zonas turísticas y portuarias, así como fomentar la investigación con enfoques moleculares que permitan una caracterización más precisa de los microorganismos presentes y su resistencia antimicrobiana.

## 6.0 RECOMENDACIONES

**Fortalecer el monitoreo continuo:** Implementar un programa regular de monitoreo microbiológico en la zona costera, ampliando el número de estaciones de muestreo para abarcar tanto el área de influencia del emisario submarino como las zonas adyacentes. Esto permitirá identificar cambios en la calidad del agua de manera oportuna.

**Revisión de las prácticas de descarga:** Realizar auditorías ambientales al sistema del emisario submarino para evaluar la eficiencia de las descargas y garantizar que cumplan con los estándares establecidos por las normativas nacionales e internacionales.

**Planificación de mitigación:** Establecer estrategias de manejo ambiental, como la mejora de los tratamientos previos a la descarga, y promover políticas que reduzcan las actividades antropogénicas que contribuyen a la contaminación microbiológica.

**Promover la educación ambiental:** Diseñar campañas de sensibilización dirigidas a las comunidades costeras y sectores turísticos, resaltando la importancia de proteger la calidad del agua y minimizando actividades que puedan contribuir al deterioro ambiental.

**Colaboración interinstitucional:** Fomentar alianzas entre autoridades ambientales, universidades y organizaciones internacionales para garantizar un enfoque multidisciplinario en la gestión de las aguas costeras.



**Estudios de dinámica marina:** Incluir modelos de dispersión de contaminantes y análisis hidrodinámicos para comprender cómo las corrientes oceánicas influyen en la distribución de microorganismos y contaminantes en la bahía.

**Análisis de biodiversidad microbiana:** Aplicar técnicas moleculares avanzadas, como metagenómica, para identificar comunidades microbianas específicas y determinar cómo varían en función de la distancia al emisario y las actividades antropogénicas.

## 7.0 REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

- Carreño-Blanco, L. E. (2016). Mirada crítica al Estado Social y la efectivización de los derechos humanos en Colombia.
- García, F., C, Palacio, y U, García. (2012). Calidad del agua en el área costera de Santa Marta (Colombia). *Dyna*, 79(173), 85-94.
- Díaz Domínguez, E. (2021). Evaluación de Tratamientos de Desinfección Bacteriana de Aguas de Lastre Basados en el Ozono. Universidad de Cádiz.
- Muelle, A. (2012). El principio de precaución y su aplicabilidad en la temática de aguas de lastre en Colombia. Santa Marta, Colombia. Universidad Sergio Arboleda . Serie Documentos de Investigación en Derecho No. 18. 166p. ISBN 978--958--8745.
- Sáenz-Arias, S. .Garcés-Ordóñez, O., Córdoba-Meza, T., Blandon, L., Espinosa Díaz, L., Vivas-Aguas, L., & Canals, M. (2023). Contaminación por vertidos de aguas residuales: Una revisión de las interacciones microorganismos–microplásticos y sus posibles riesgos ambientales en aguas costeras colombianas:*Ecosistemas*, 32(1), 2489. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2489>
- Casas, G. [Ed.]. (2004), Invasiones biológicas en áreas costeras marinas, laboratorio de algas marinas. Argentina: CENP.22 p.
- Lozano, E., Alcázar, J., Bardera, G., Sánchez, A., Marí, S. M., & Alduán, M. (2016). Bioindicadores de contaminación en relación a un emisario submarino en Punta del Hidalgo (Tenerife, islas Canarias). *Rev. Acad. Canar. Cienc*, 28, 133-142.
- Toledo, H., Hernández, C., Rodríguez, C., Bittner, V., Ferreira, L., & Orellana, F. (2005). Estudio de la contaminación fecal mensual y estacional en la zona costera

adyacente al emisario submarino en la bahía de Puerto Montt. *Gayana (Concepción)*, 69(1), 104-112.

- Neira Faudel, A. (2011). Análisis de los patrones de tráfico marítimo y su papel en la introducción de especies exóticas en tres puertos mayores del Caribe Colombiano: Santa Marta y Coveñas [tesis, programa Biología Ambiental, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano] 93 p.
- Corte constitucional de Colombia, Sala Sexta de Revisión. (15 de diciembre de 2015). Sentencia T 606/15 [MP Jorge Iván Palacio Palacio] Construcción y diseño del plan maestro de protección y restauración del Parque Nacional Natural Tayrona. 89 p.
- Hector M. Vilorio A. Jaramillo J. Andres M. Alicia N. Daniel B. Leinis R. Luisa B. (2018) PNNC Parques Nacionales Naturales de Colombia, Dirección Territorial Caribe -Parque Nacional Natural Tayrona. Plan Maestro de protección y restauración del Parque Nacional Natural Tayrona. (Eds). Parque Nacional Natural Tayrona. 235 p.
- INVEMAR. (2020). Diagnóstico y evaluación de la calidad de las aguas marinas y costeras en el Caribe y Pacífico colombianos. Luisa F. Espinosa, Paola Obando y Ostin Garcés (Eds). Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia – REDCAM: INVEMAR, Minambiente, CORALINA, CORPOGUAJIRA, CORPAMAG, CRA, CARDIQUE, CARSUCRE, CVS, CORPOURABA, CODECHOCO, CVC, CRC y CORPONARIÑO. Informe técnico 2019. Serie de Publicaciones Periódicas No. 4 del INVEMAR, Santa Marta.

- Cañón, M. (2009a). Primeros avances, caso Colombia. En: Dimar-CIOH (Eds). Dossier para el control y la gestión del agua de lastre y sedimentos de los buques en Colombia (pp. 73-108). Cartagena de Indias, Colombia. Ed. Dimar, Serie Publicaciones especiales CIOH Vol. 3.
- Rendón, R., Vanegas, T. y Tigreros, P.C. (2003). Contaminación de la bahía de Cartagena por aguas de lastre de los buques. Boletín científico CIOH, 21, 91-100.
- Cañón-Páez, M., Gavilán, M., Morris, L., Tous, G. y Vanegas, T. (2005). Dinámica planctónica, microbiológica y fisicoquímica en cuatro muelles de la bahía de Cartagena y buques de tráfico internacional. Boletín científico CIOH, 23, 56-76.
- Montoya-Aguirre, M., Calero-Navarro, M. & Uribe-Acosta, C. (2008). Caracterización del zooplancton en el agua de lastre de los buques internacionales que arriban al puerto de Santa Marta (Caribe colombiano). Boletín científico CIOH, 26, 164-178.
- Gómez Cuartas, A., & López Suarez, K. (2020). EVALUACIÓN DE CONTAMINACIÓN MICROBIOLÓGICA ANTROPOGÉNICA EN AGUA DE MAR DE LA BAHÍA DE CARTAGENA-BOLÍVAR DURANTE ABRIL A JULIO DE 2019: CONTAMINACIÓN MICROBIOLÓGICA EN CARTAGENA. Boletín Científico. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas, Cartagena, 39(1). <https://doi.org/10.26640/22159045.2020.499>
- Apín-Campos, Yanet Caridad, and Benigno Torres-Pérez. 2016. "Introducción De Especies Invasoras a Partir Del Agua De Lastre Proveniente Del Transporte Marítimo Comercial: Estado Del Arte." Ciencia en su PC (2): 56–70. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181349391007>.

- González, Primitivo., and Antonio Salamanca. 2013. Asociación de Ingenieros Navales y Oceánicos de España Contaminación Biológica Del Mar Por El Agua de Lastre de Los Buques y Medios Para Evitarla. ed. COLEGIO OFICIAL DE INGENIEROS NAVALES Y OCEÁNICOS. Madrid.  
<https://www.ingenierosnavales.com/wp-content/uploads/2018/03/AGUA-LASTRE.pdf>.
- Ramos-Ortega, L. M., Vidal, L. A., Vilarity, S., & Saavedra-Díaz, L. (2008). Análisis de la contaminación microbiológica (coliformes totales y fecales) en la Bahía de Santa Marta, Caribe colombiano. Acta Biológica Colombiana, 13(3), 87-98.
- Moscarella., M., García, F., & Palacio., C. (2011). Calidad microbiológica del agua de la Bahía de Santa Marta, Colombia. Dyna, 78 (167), pp. 132-14
- Vázquez, L., & Laura, M. (2023). Biodiversidad y contaminación por agua de lastre: sistemas de transporte y espejos de agua. XXII Congreso Nacional y XII Latinoamericano de Sociología Jurídica (La Plata, 10 al 12 de noviembre de 2022).
- Acosta, M., & Paola, Y. (2022). Evaluación de los resultados de la estrategia nacional del agua de lastre (ENAL) 2016-2020 y su correspondiente actualización mediante el diseño de la estrategia nacional para la prevención y reducción de la contaminación biológica por actividades marítimas en la entidad dirección general marítima DIMAR.
- Awad, A., Haag, F., Anil, A.C. & Abdulla, A. (2014). GEF-UNDP-IMO GloBallast Partnerships Programme, IOI, CSIR-NIO and IUCN. Guidance on Port Biological Baseline Surveys. Londres, Reino Unido: GEF-UNDP-IMO GloBallast Partnerships. 77p. ISSN 1680- 3078.

- INVEMAR. (2019). Informe de Actividades: Año 2018. Serie de Publicaciones Periódicas. Santa Marta. 142 p
- Moreno C, Romero J, Espejo RT. (2002). Polymorphism in repeated 16S rRNA genes is a common property of type strains and environmental isolates of the genus *Vibrio*. *Microbiology*. 148:1233-1239.
- Tomaru, A., Kawachi, M., Demura, M., Fukuyo, Y. (2014). Changes in microbial communities, including both uncultured and culturable bacteria, with mid-ocean ballast-water exchange during a voyage from Japan to Australia. *PLoS One*, 9(5),
- Kazi, T. G., Arain, M. B., Jamali, M. K., Jalbani, N., Afridi, H. I., Sarfraz, R. A., Baig, J. A. & Shah, A. Q. (2009). Assessment of water quality of polluted lake using multivariate statistical techniques: A case study. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 72(20), 301-309.
- Rivera, B. and Rock, C. 2011 *Microbial Source Tracking: Watershed Characterization and Source Identification*. Arizona Cooperative Extension, az1547.
- MORENO, SALDOYA. Eficiencia de remoción e impactos del sistema de tratamiento de aguas residuales del sector urbano y rural de la provincia de Santa Elena, publicado "scielo" ol.19 no.2 Tumbes abr./jun. 2022 Epub 15-Jun-2022 consulta el 20 de mayo del 2024.
- Corredor NC, López C, Aguilera PA, Prieto LM, Rodríguez-Leguizamón G, Leal AL, et al. An epidemiological and molecular study regarding the spread of vancomycin-resistant *Enterococcus faecium* in a teaching hospital in Bogotá, Colombia 2016. *BMC Infect Dis*. 2019; 19, 258.

- Cartagena, B. L., & Mejía, J. A. (2019). Efecto del *Enterococcus Faecium* En el desarrollo y crecimiento intestinal de pollos de engorde.[tesis de pregrado, Universidad dEl Salvador]
- Brooks, L. E., y Field, K. G. (2016). Bayesian meta-analysis to synthesize decay rate constant 107 estimates for common fecal indicator bacteria. *Water Research*, 104, 262–271. doi:10.1016/j.watres.2016.08.005 Chan, Y. M., Thoe, W., y Lee, J. H. W. (20
- Hernández Hernández, JF, Azcona Bravo, DA (2021). Efectividad en reducción de unidades formadoras de colonias con soluciones desinfectantes en tina ultrasónica. *Revisita ADM* , 78 (6), 339–345. <https://doi.org/10.35366/102975>.
- A. F. Alvarado Reyes y J. A. Luna Fontalvo, «CALIDAD MICROBIOLÓGICA DEL AGUA DE LAS PLAYAS DEL SECTOR TURÍSTICO DE SANTA MARTA, CARIBE COLOMBIANO», EIEI ACOFI, ago. 2020.
- Rocca, L. H. D., & Rodríguez, E. C. (2007). La insostenibilidad del desarrollo urbano: El caso de Santa Marta–Colombia. *Clío América*, 1(1), 64-100.
- Mercado videz J.J (2022) ESTRUCTURA Y DIVERSIDAD DEL BOSQUE DE MANGLAR DE LAS ÁREAS PROTEGIDAS SANTUARIO DE FLORA Y FAUNA CIÉNAGA GRANDE DE SANTA MARTA Y VÍA PARQUE ISLA DE SALAMANCA
- World Health Organization. (2011). Ballast water. Guide To Ship Sanitation - NCBI Bookshelf. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK310820/>
- Garzón, J. P., Martínez, S. R., & L, M. M. (2019). *Staphylococcus aureus*: generalidades, mecanismos de patogenicidad y colonización celular. DOAJ

(DOAJ: Directory Of Open Access Journals).

<https://doi.org/10.25058/24629448.3631>

- Costa, R. (2016). *Klebsiella pneumoniae*.  
<http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/115888>
- De la familia Enterobacteriaceae, C. D. (2003). Prueba de oxidasa. *Pruebas bioquímicas para la identificación de bacterias de importancia clínica*, 344.
- Del Pilar María Sánchez Bonilla, M., Murillo, N. P. G., & Almanza, I. J. P. (2018). Prevalencia de mastitis bovina en el Cañón de Anaime, región lechera de Colombia, incluyendo etiología y resistencia antimicrobiana. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 29(1), 226-239.  
<https://doi.org/10.15381/rivep.v29i1.14084>
- Medina, P. J. F., Murillo, P. G., & Mendoza, G. R. P. (2023). Automatización de inoculación en medios de cultivo para el laboratorio de microbiología. *Revista de Ciencias Tecnológicas*, 6(4), e285. <https://doi.org/10.37636/recit.v6n4e285>
- Gómez, G. (2013). Revisión bibliográfica OPTIMIZACIÓN DE MEDIOS DE CULTIVOS PARA MICROORGANISMOS, UNA VALIOSA ESTRATEGIA PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOPREPARADOS DE INTERÉS AGRÍCOLA. *Cultivos Tropicales*, 27(3), 17-24. <https://doi.org/10.1234/ct.v27i3.366>
- Fernandez, L. (s. f.). FICHA TÉCNICA BD PHOENIX M50 (6). Scribd.  
<https://es.scribd.com/document/709224183/FICHA-TECNICA-BD-PHOENIX-M50-6>

- Degrossi, J. J., De Volder, M. A. L., Pioli, V., Breglia, N., & Teves, S. (2019). Comparación de medios de cultivo selectivos para el aislamiento de especies del Taxón K perteneciente al complejo *Burkholderia cepacia* Ars Pharmaceutica (Internet), 60(2). <https://doi.org/10.30827/ars.v60i2.8312>
- Gómez, E. M., Montaña, A. M. R., Barrios, M. F. E., Del Carmen Pérez González, L., Padilla, R. M. O., Alarcón, J. S., & Quintana, R. V. (2020). XVIII CONGRESO INTERNACIONAL y XXIV CONGRESO NACIONAL DE CIENCIAS AMBIENTALES. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 36, 1-845. <https://doi.org/10.20937/rica.2020.36.mciycnca>
- Ordóñez, O. G., & Arenas, M. R. B. (2019). Impactos de la contaminación por basura marina en el ecosistema de manglar de la Ciénaga Grande de Santa Marta, Caribe colombiano. Revista Ciencias Marinas y Costeras, 145-165. <https://doi.org/10.15359/revmar.11-2.8>
- **American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), & Water Environment Federation (WEF).** (2012). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (21<sup>a</sup> ed.). Washington, D.C.: APHA.
- **Field, A.** (2013). *Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics* (4<sup>a</sup> ed.). London: Sage Publications.
- **Agresti, A.** (2015). *Foundations of Linear and Generalized Linear Models*. Wiley.

- García Rentería, F. F., Palacio Tobón, C. A., & García Rentería, U. (2012). Calidad del agua en el área costera de Santa Marta (Colombia). *Dyna*, 79(171), 101–109. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/33270>
- Moscarella Valle, M. V., García Rentería, F. F., & Palacio Tobón, C. A. (2011). Calidad microbiológica del agua de la bahía de Santa Marta, Colombia. *Dyna*, 78(167), 133–140. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/37789>
- Ramos, L. M., Vidal, L., Vilardy, S., & Saavedra, L. (2008). Análisis de la contaminación microbiológica (coliformes totales y fecales) en la bahía de Santa Marta, Caribe colombiano. *Acta Biológica Colombiana*, 13(2), 27–36. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/31048>
- Rodríguez Sarmiento, L. A., & Barros Santiago, R. M. (2007). Simulación hidrodinámica y de calidad del agua en el área de influencia de las descargas del emisario submarino en la Bahía de Santa Marta. Universidad del Magdalena. <http://repositorio.unimagdalena.edu.co/handle/123456789/230>
- Pasión por Santa Marta. (2015). El Emisario Submarino de Santa Marta sí es amigable con el medio ambiente. <https://pasionporsantamarta.com/el-emisario-submarino-de-santa-marta-si-es-amigable-con-el-medio-ambiente/>

- García, F., C, Palacio, y U, García. (2012). Calidad del agua en el área costera de Santa Marta (Colombia). *Dyna*, 79(173), 85-94.
- Sáenz-Arias, S. .Garcés-Ordóñez, O., Córdoba-Meza, T., Blandón, L., Espinosa Díaz, L., Vivas-Aguas, L., & Canals, M. (2023). Contaminación por vertidos de aguas residuales: Una revisión de las interacciones de microorganismos microplásticos y sus posibles riesgos ambientales en aguas costeras colombianas.
- Lozano, E., Alcázar, J., Bardera, G., Sánchez, A., Marí, S. M., & Alduán, M. (2016). Bioindicadores de contaminación en relación a un emisario submarino en Punta del Hidalgo (Tenerife, islas Canarias). *Rev. Acad. Cana. Cienc*, 28, 133-142.
- Gómez Cuartas, A., & López Suarez, K. (2020). Evaluación de contaminación microbiológica antropogénica en agua de mar de la bahía de Cartagena-bolívar durante abril a julio de 2019: contaminación microbiológica en Cartagena. *Boletín Científico. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas*.
- García Rentería, F. F., Palacio Tobón, C. A., & García Rentería, U. (2012). Calidad del agua en el área costera de Santa Marta (Colombia). *Dyna*, 79(171), 101–109.  
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/33270>

- Moscarella Valle, M. V., García Rentería, F. F., & Palacio Tobón, C. A. (2011). Calidad microbiológica del agua de la bahía de Santa Marta, Colombia. *Dyna*, 78(167), 133–140. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/37789>
- Ramos, L. M., Vidal, L., Vilardy, S., & Saavedra, L. (2008). Análisis de la contaminación microbiológica (coliformes totales y fecales) en la bahía de Santa Marta, Caribe colombiano. *Acta Biológica Colombiana*, 13(2), 27–36. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/31048>
- Rodríguez Sarmiento, L. A., & Barros Santiago, R. M. (2007). Simulación hidrodinámica y de calidad del agua en el área de influencia de las descargas del emisario submarino en la Bahía de Santa Marta. Universidad del Magdalena. <http://repositorio.unimagdalena.edu.co/handle/123456789/230>
- Pasión por Santa Marta. (2015). El Emisario Submarino de Santa Marta sí es amigable con el medio ambiente. <https://pasionporsantamarta.com/el-emisario-submarino-de-santa-marta-si-es-amigable-con-el-medio-ambiente/>
- García, F., C, Palacio, y U, García. (2012). Calidad del agua en el área costera de Santa Marta (Colombia). *Dyna*, 79(173), 85-94.
- Sáenz-Arias, S. .Garcés-Ordóñez, O., Córdoba-Meza, T., Blandón, L., Espinosa Díaz, L., Vivas-Aguas, L., & Canals, M. (2023). Contaminación por vertidos de aguas residuales: Una revisión de las interacciones de microorganismos microplásticos y sus posibles riesgos ambientales en aguas costeras colombianas.

- Lozano, E., Alcázar, J., Bardera, G., Sánchez, A., Marí, S. M., & Alduán, M. (2016). Bioindicadores de contaminación en relación a un emisario submarino en Punta del Hidalgo (Tenerife, islas Canarias). *Rev. Acad. Cana. Cienc*, 28, 133-142.
- Gómez Cuartas, A., & López Suarez, K. (2020). Evaluación de contaminación microbiológica antropogénica en agua de mar de la bahía de Cartagena-bolívar durante abril a julio de 2019: contaminación microbiológica en Cartagena. *Boletín Científico. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas*.

## Anexos

### Anexo1.

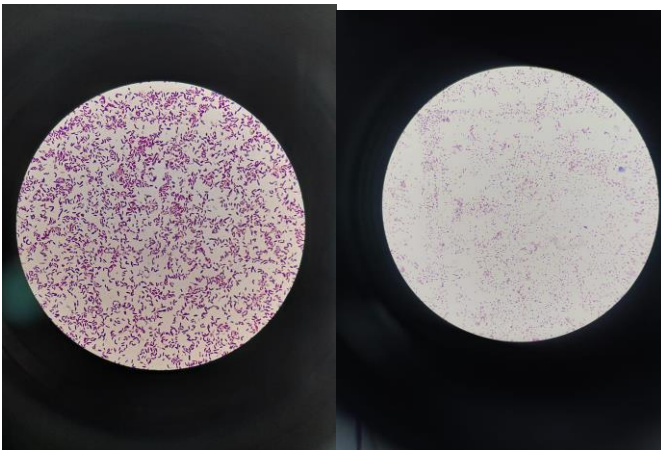
#### *Batería Bioquímica*



Fuente:(Morales y Fernández 2025)

### Anexo 2.

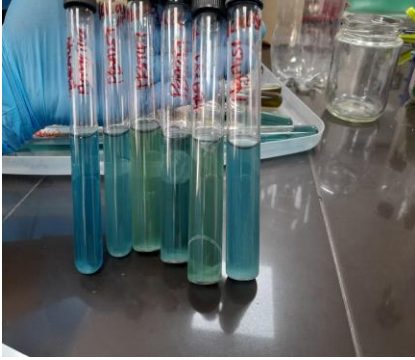
#### *Tinción de Gram*



Fuente:(Morales y Fernández 2025)

Anexo 3.

Azúcares



Fuente:(Morales y Fernández 2025)}

Anexo 4.

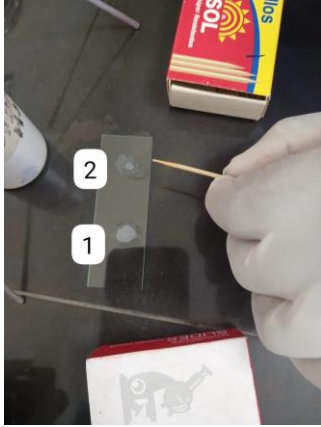
Filtración por membrana



Fuente:(Morales y Fernández 2025)







Fuente:(Morales y Fernández 2025)

Anexo 7.

*Envases con las muestras biológicas*



Fuente:(Morales y Fernández 2025)

Anexo 8.

*Morfotipos de muestras del mes de noviembre 2023*

B	C	D	E
Muestra	Morfotipo 1: Circular	Morfotipo 2: Puntiforme	Morfotipo 3: Irregular
BCA1S1	X		
BCA2S1	X		
BCA2F1	X		X
EMAD3F1	X		X
EMAD3F2	X	X	
NGA1S1		X	X
NGA2S1	X		
NGA2F1	X	X	
RMA2S1			X
RMA2F1		X	
PBA2S1	X		
PBA2F1	X		
IAA2S1	X		

Fuente:(Morales y Fernández 2025)

Anexo 9.

*Morfotipos de muestras del mes de febrero 2024*

B	C	D	E
Muestra	Morfotipo 1: Circular	Morfotipo 2: Puntiforme	Morfotipo 3: Irregular
BCA1S	X		
BCA2S	X		X
BCA2F	X		
BNA1S	X		
BNA2S	X		X
BNA2F	X		

Fuente:(Morales y Fernández 2025)

Anexo 10.

*Morfotipos de muestras del mes de marzo 2024*

Muestra	Morfotipo 1: Circular	Morfotipo 2: Puntiforme	Morfotipo 3: Irregular
ESA1S1	X		
ESA1S2	X		
ESA2S1		X	
ESA2S2	X		
ESA3S1	X		
ESA3S2		X	X
ESA1F1	COLONIAS BLANCAS Y AMARILLAS	X	X
ESA1F2	X		
ESA2F1	X		
ESA2F2	X		
ESA3F1	X		
ESA3F2	X		
RMA2S		X	
RMA2F	X		
IAA2S	X		

Fuente:(Morales y Fernández 2025)

Anexo 11.

Recuento de RCT y RCF y distancia de cada sitio de muestreo.

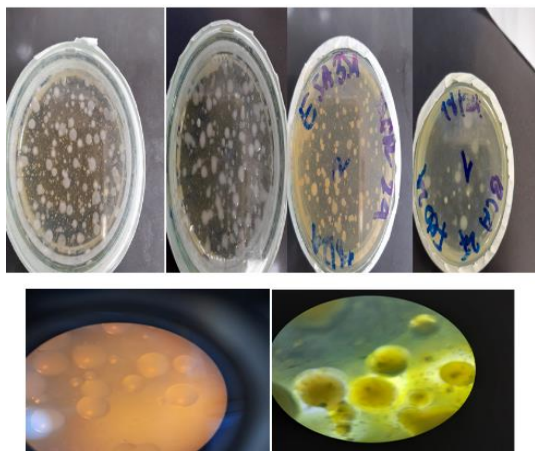
MUESTRAS	RCT	RCF	DISTANCIA_KM	GRUPO
NEGUANJE	570	18	24.16	OTRAS ZONAS
BAHIA CONCHA	390	23	11.84	OTRAS ZONAS
ISLA AGUAJA	190	16	708.793	OTRAS ZONAS
PLAYA BLANCA	290	110	576.285	OTRAS ZONAS
BAHIA GAYRA	450	236	19.46	OTRAS ZONAS
BAHIA TAGANGA	1430	70	2.995	OTRAS ZONAS
EMISARIO 1	1760	1500	0.05	EMISARIO
EMISARIO 2	1570	700	0.1	EMISARIO
EMISARIO 3	830	500	0.2	EMISARIO

Los recuentos de CT y CF son promedio de tres replicas biológicas.

Fuente:(Morales y Fernández 2025)

Anexo 12

Morfotipos encontrados



### Anexo 13

*colonias circulares aisladas en agar cromogenico*



(Morales y Fernández 2025)

### Anexo 14

*colonias puntiformes aisladas en agar cromogenico*



(Morales y Fernández 2025)

### Anexo 15

*colonias irregulares aisladas en agar cromogenico*





SEGUNDO MUESTREO												
Sitio de muestreo	DEX	XYL	GLU	SAC	LAC	MA L	GAL	CEL	AR A	FRUC	RH A	
Neguanje	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Bahía Concha	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Isla Aguja	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Playa Blanca	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Bahía Gaira	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Bahía Taganga	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Emisario 1	-	-	-	-	-	T	-	-	-	-	T	
Emisario 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Emisario 3	T <sup>G</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Isla aguja	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

(Morales y Fernández 2025)

Anexo 20

resultado método automatizado

Muestras	Resultado
Emisario 1	<i>klebsiella pneumoniae</i>

Emisario 2	<i>klebsiella pneumoniae</i>
Emisario 3	<i>klebsiella pneumoniae</i>
Bahía Taganga	<i>klebsiella pneumoniae</i>
Bahía Gaira	<i>cutaneotrichosporon mucoides</i>
Isla Aguja	<i>Klebsiella pneumoniae</i>
Playa Blanca	<i>klebsiella Spp</i>

(Morales y Fernández 2025)