



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Politécnica Superior de Gandia

Revisión del estado de la calidad del agua de los  
manglares del Refugio Nacional de Vida Silvestre Isla  
Corazón y Fragatas (Manabí -Ecuador)

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Evaluación y Seguimiento Ambiental de  
Ecosistemas Marinos y Costeros

AUTOR/A: Vera Pilay, José Vicente

Tutor/a: Gómez Benito, Carmen

Cotutor/a: Catalá Icardo, Mónica

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023

## ***Agradecimientos***

Agradecerle ante todo a mis tutoras Carmen Gómez y Mónica Catalá, grandes profesionales que, desde un comienzo, fueron incondicionales y predispuestas a ayudarme. Gracias infinitas por ser pacientes conmigo y brindarme una guía. He aprendido mucho con ustedes, siempre asegurándose que todo salga muy bien. Reitero mis agradecimientos por la amistad brindada.

A Elio Lesini padre de corazón, a mi mamá, mis hermanos Milena, Alan y Simone que siempre me apoyaron en todas las decisiones y agradecer a ellos por el financiamiento de este trabajo que es un inicio para la obtención de bases en futuros estudios de un área de protección tan importante para los ecosistemas costeros y marinos alentándome desde la distancia para poder conseguir el objetivo anhelado.

A la Universidad Politécnica de Valencia en general por permitirme ser partícipe de su institución. Estaré siempre agradecido por todo lo que pude aprender; eternamente agradecido por la experiencia vivida.

## RESUMEN

Con el fin de proteger los manglares del estuario del Río Chone, en Ecuador, en 2002 se declaró la zona protegida bajo la denominación Refugio de Vida Silvestre Isla Corazón y Fragatas (REVISICOF), que abarca 2.812 hectáreas de planos intermareales y bosques de mangle. No obstante, el refugio se encuentra rodeado de camaroneras y viviendas sin un adecuado sistema de alcantarillado. Con el fin de valorar la situación actual de la zona, en este Trabajo Fin de Máster se han evaluado 17 parámetros físico-químicos en 7 puntos de muestreo situados en el REVISICOF. De acuerdo con los resultados obtenidos, el principal problema en el área del refugio son las elevadas concentraciones de metales pesados, que no cumple con los criterios de calidad para la preservación de la flora y fauna en aguas marinas y de estuario de Ecuador.

Aunque el resto de parámetros analizados se encontraron en valores que se pueden considerar normales o aceptables, cabe mencionar la gran acumulación de residuos sólidos en la zona, en especial envases de agroquímicos procedentes de las áreas de actividad agrícola de la zona.

**Palabras clave:** Refugio Nacional de Vida Silvestre Isla Corazón y Fragatas; Ecuador; Mangle; Metales pesados; Calidad del agua.

## ABSTRACT

In order to protect the mangroves of the Chone River estuary in Ecuador, in 2002 the protected area was declared under the name *Refugio de Vida Silvestre Isla Corazón y Fragatas* (REVISICOF), which covers 2,812 hectares of intertidal flats and mangrove forests. However, the refuge is surrounded by shrimp farms and homes without an adequate sewage system. In order to assess the current situation of the area, in this Master's Thesis, 17 physical-chemical parameters have been evaluated at 7 sampling points located in the REVISICOF. According to the results obtained, the main problem in the refuge area is the high concentrations of heavy metals, which do not meet the quality criteria for the preservation of flora and fauna in marine and estuarine waters of Ecuador.

Although the rest of the analyzed parameters were found at values that can be considered normal or acceptable, it is worth mentioning the large accumulation of solid waste in the area, especially agrochemical containers from the agricultural activity in the area.

**Keywords:** Refugio de Vida Silvestre Isla Corazón y Fragatas; Ecuador; Mangrove; Heavy metals; Water quality.

# Índice

<b>1. Introducción.....</b>	<b>4</b>
1.1 Los manglares y su importancia .....	4
1.2 Descripción de la zona de estudio.....	7
1.2.1 Creación y desarrollo.....	7
1.2.2 Características físicas.....	13
1.2.3 Hidrología .....	13
1.2.5 Sedimentación.....	15
1.2.6 Flora y fauna.....	15
<b>2. Objetivos .....</b>	<b>18</b>
<b>3. Material y métodos .....</b>	<b>19</b>
3.1 Localización y características de los puntos de muestreo .....	19
Punto 1- .....	19
Punto 2.....	20
Punto 3 .....	20
Punto 4 .....	21
Punto 5 .....	21
Punto 6 .....	21
Punto 7 .....	22
3.2 Muestreo .....	23
3.3 Análisis de las muestras .....	24
<b>4 Resultados y discusión.....</b>	<b>26</b>
4.1 Búsqueda y revisión bibliográfica.....	26
4.2 Análisis de los parámetros físicos químicos en los distintos puntos de muestreo. ....	29
<b>5. Conclusiones .....</b>	<b>48</b>
<b>6 Bibliografía .....</b>	<b>50</b>

# 1. Introducción

## 1.1 Los manglares y su importancia

Los manglares son formaciones naturales de arbustos y árboles que albergan una gran cantidad de aves, peces, moluscos y crustáceos. Son áreas de reproducción y alimentación de muchas especies que representan una importante fuente económica para las comunidades locales (Goncalves, 2007).

Este entorno natural es un espacio que tiene la cualidad de ser pantanoso y supone una transición entre el área terrestre y el medio acuático donde, por tanto, existe una constante mezcla de aguas dulces y aguas marinas, y en el que predominan los árboles conocidos como mangles, que están ubicados en un suelo fangoso y aguas someras, como las bahías, estuarios y lagunas costeras (Ovacen, 2020). Los mangles se han tenido que adaptar a factores como la carencia de oxígeno y las altas concentraciones de sal en un entorno de anegamiento por el mar y por cuerpos de agua que desembocan en este ecosistema. Estos factores han contribuido a que los manglares constituyan uno de los ecosistemas más diversos del planeta, y que proporciona hábitats para una gran diversidad de organismos.

La funcionalidad del manglar en el medio ambiente es muy diversa. Como se ha indicado, la interacción de los procesos hidrológicos y geomorfológicos en los manglares es de vital importancia para poder entender su funcionamiento y para la toma de decisiones frente a la conservación de este ecosistema. El movimiento de las corrientes de aguas es un factor importante para la supervivencia de los manglares al aportar nutrientes a través de las mareas y los flujos que provienen de aguas arriba. Además, las corrientes transportan oxígeno disuelto a las raíces de las plantas y remueven el dióxido de carbono acumulado y los compuestos tóxicos sulfurosos.

Los manglares presentan una alta capacidad de degradación de la materia orgánica y tienen un papel importante en el reciclaje de nutrientes que provienen de fuentes naturales y antropogénicas. Destacan las funciones microbiológicas del manglar, y entre ellas las tres más importantes son: (1) La mineralización de la materia orgánica en condiciones anaerobias y microaerófilas (microorganismos que no necesitan niveles altos de oxígeno), con la intervención de bacterias sulfato reductoras que son de gran importancia en las capas anaerobias de los sedimentos del manglar; (2) el grado de fijación biológica de nitrógeno, que aporta entre un 40 a un 60% de los requerimientos de nitrógeno del ecosistema; y, (3) las comunidades microbianas de las rizosferas que se encuentran en el mangle, contribuyen a la degradación de la materia orgánica (Holguin, 2007).

Por otra parte, el manglar actúa como una protección contra los desastres naturales, ya que contrarresta de forma natural las inundaciones, la erosión de las áreas costeras, la intrusión salina y brinda protección ante el aumento del nivel del mar por su capacidad de acumular sedimentos. Además, es fuente generadora de nutrientes y de oxígeno y es un gran aliado contra el cambio climático, ya que mediante la fotosíntesis capta el CO<sub>2</sub>, fijando carbono en su biomasa, y libera oxígeno.

En el contexto de servicio ambiental, y para tener una idea clara de la contribución al ambiente en las zonas costeras ecuatorianas, se determinó que la cantidad de CO<sub>2</sub> almacenado en las especies de *Rhizophora mangle* ubicadas dentro del Refugio de Vida Silvestre Manglares del Estuario Río Esmeraldas, que es una de las áreas de mayor densidad de manglares en Ecuador, es de 446,94 ton/ha de CO<sub>2</sub> en un área de 1571 m<sup>2</sup> con una biomasa total de 909,52 ton/ha (Bruno, 2019).

Sin embargo, el entorno natural de los ecosistemas marinos y costeros es muy vulnerable a las actividades antropogénicas, que han aumentado significativamente en las últimas décadas por el desarrollo económico. Entre ellas, destacan la emisión de aguas residuales procedentes de actividades económicas como las camaroneras, que cambian constantemente su composición y son depositadas al cuerpo de agua; las actividades agrícolas que realizan un mal manejo de insumos agropecuarios y generación de desechos que son arrojados en las riberas de los ríos y transportados por las corrientes de aguas; o, la contaminación generada por la emisión de aguas residuales de origen doméstico, compuestos agroindustriales y metales pesados procedentes de diferentes actividades y que alcanzan, por lixiviación, los acuíferos.

La contaminación de fuentes hídricas por metales pesados, dada su toxicidad y persistencia en la biota, generan problemas medioambientales y de salud para las personas que se benefician de los ríos expuestos a la contaminación, así como problemas socioeconómicos por los gastos médicos generados por el consumo de agua no apta para el consumo humano, ya que con frecuencia la población no tiene ningún apoyo gubernamental para tratar los problemas de salud generados.

También, los plásticos son un residuo de múltiples actividades que tienden a acumularse y, por su composición, no se degradan, siendo su fragmentación a micro-plásticos y nano-plásticos inevitable. Su persistencia en ecosistemas como los manglares es mayor que en los suelos y, como consecuencia, generan cambios físicos negativos en las capas superiores (Sharma, 2017).

La problemática ambiental de la acumulación de desechos, que son arrojados a los cuerpos de agua natural, está vinculada al mal manejo de los residuos, de la cual los

municipios son los responsables. La contaminación generada por una mala gestión de residuos genera diferentes impactos, como el deterioro de la calidad del ecosistema, la mortalidad y morbilidad de las especies.

La erosión genética es otra problemática que se encuentra presente ante las actividades industriales y agrícolas, que se define como la pérdida o disminución de diversidad genética de los manglares por acciones en las que intervienen las actividades antropogénicas sobre la biota, como la expansión de áreas agrícolas, los asentamientos urbanísticos e introducción de plantas que no son endémicas.

Las pérdidas de los manglares están sucediendo en la mayoría de los países que los albergan, y la tasa de deforestación sigue en aumento en países en desarrollo (Duke, 2007). En la década de los 80, a escala mundial, los manglares ocupaban un espacio de 18,8 millones de hectáreas. Sin embargo, en el 2005 su superficie había disminuido a 15,5 millones de hectáreas, lo que supone una disminución del 20% del área de este ecosistema.

En el caso de Ecuador, según datos del 2014 del Ministerio del Ambiente, los bosques de mangles abarcan aproximadamente 150.000 ha y se encuentran afectados por la deforestación, llevada a cabo con el fin de obtener espacios para la construcción de camaroneras y para la expansión urbanística.

El desarrollo urbanístico altera los flujos hidrológicos y ciclos geomorfológicos, repercutiendo en la composición física, química y biológica del cuerpo de agua y generando una reacción negativa en cadena sobre el manglar. La sobreexplotación de los recursos naturales debida a actividades como las mencionadas, sin un debido control, alteran la cadena trófica y la funcionalidad del ecosistema del manglar.

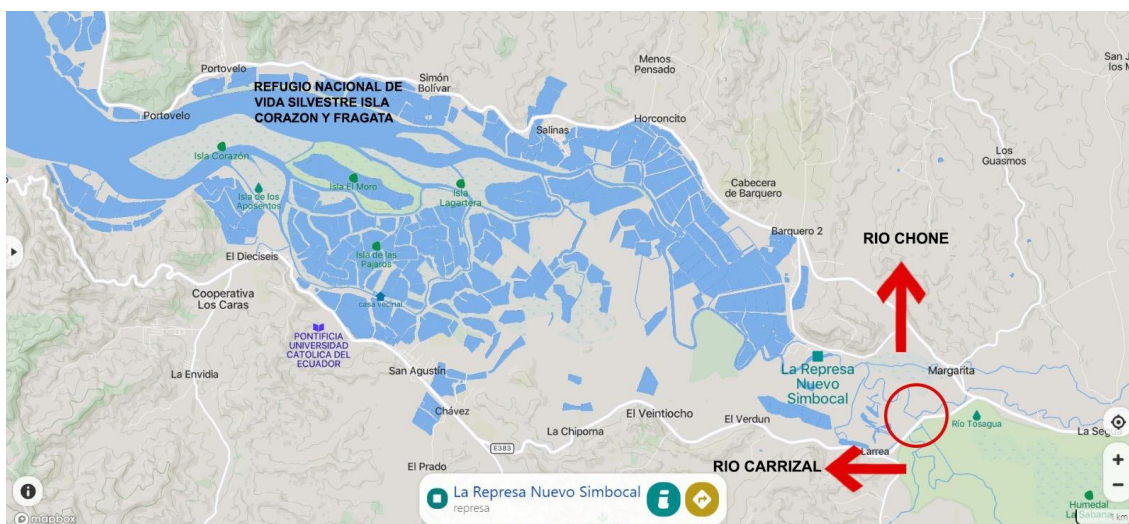




hidrográfica del Estuario del Río Chone. La represa Nuevo Simbocal ubicada en el cantón Chone a 18 km del Refugio de vida silvestre (Figura 2) tiene como objetivo el control del caudal para evitar riesgo de inundaciones y almacenamiento de agua en la época seca del año.

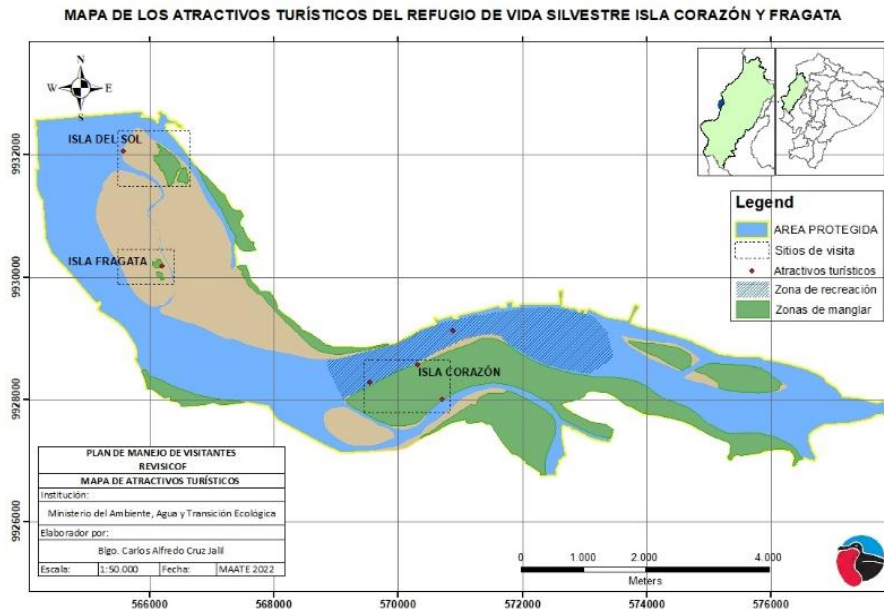
Bahía de Caráquez es uno de los asentamientos más poblados en los alrededores de la zona de área protegida con una población de 52.158 habitantes, mientras que San Vicente cuenta con aproximadamente 8.269 habitantes en el área urbana y 10.847 habitantes en la zona rural.

El Refugio de Vida Silvestre fue creado por Acuerdo Ministerial nº133 publicado el 27 de diciembre del 2002, con una extensión de 800 ha, y con la finalidad de conservar y proteger el importante ecosistema de manglar ubicado en la desembocadura del estuario del río Chone, pasando este a formar parte del Patrimonio Nacional de Áreas Naturales del Estado en la provincia de Manabí.



*Figura 2: Confluencia del Río Chone y Río Carrizal. Fuente: Extraído y modificado del Geo portal del Ecuador (2023)*

En noviembre del 2012 se amplía el área del Refugio hasta las 2.811 ha. En este momento, se incluye tanto la superficie del cuerpo de agua como la de los manglares. En la Figura 3 se muestra el detalle de la zona correspondiente al REVISICOF actualmente. Este refugio es una de las áreas de protección más importante de Ecuador.

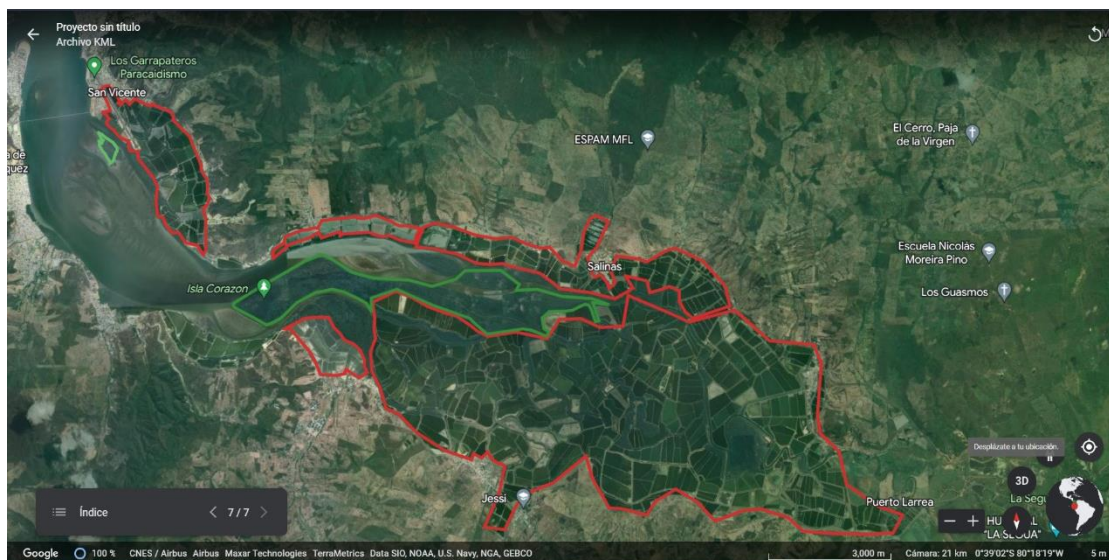


*Figura 3: Delimitación del REVISICOF. Fuente: (CRUZ, 2022)*

A principios de siglo pasado, el estuario del Río Chone, que actualmente constituye el REVISICOF, estaba rodeado de bosque de manglar y áreas salinas. Tenía una gran diversidad piscícola, y especies como el cangrejo rojo (Guariche) y conchas negras, además, la producción de frutales y la caza eran muy abundantes. Las comunidades ribereñas mantenían una economía de subsistencia basada en el uso del manglar, del cual extraían madera, carbón, peces y mariscos. El bosque de mangle del estuario era muy denso y extenso. Vivían allí especies de monos y lagartos que en la actualidad ya no existen. Las laderas de los cerros cercanos estaban cubiertas de un bosque extenso que, ya en los años 60, fue talado en gran parte para la construcción de carreteras o para dedicarlo al cultivo de algodón y maíz. Sin embargo, la falta de agua fue un problema para el desarrollo de la actividad agrícola.

A pesar de que las normativas del Ministerio de Defensa prohíben expresamente ocupar las bahías sin autorización, se han construido piscinas camaroneras, inicialmente en áreas salinas y luego ya ocupando zonas de manglar. Como consecuencia, las actividades tradicionales, como la pesca y la recolección de cangrejos, empezaron a disminuir, afectando a la subsistencia de las familias que vivían de estas actividades. La actividad camaronera fue en aumento lo que hizo que el gobierno ecuatoriano dictase la Ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre (24 de agosto de 1981), donde incluye a los manglares como patrimonio forestal del Estado (Luque, 2003).

En la Figura 4, las marcaciones de colorimetría rojo son las extensiones de las camaroneras que actualmente se encuentran en actividad en los alrededores de la REVISICOF y, los bordes delimitados de color verde, son el área de la isla Corazón y la Isla Fragatas formadas por manglares.



*Figura 4: Zonificación de las áreas ocupadas por piscinas camaroneras (delimitado por la línea roja) y de la zona de Isla Corazón y manglar (línea verde). Extraído y modificado de Google Eart (2022)*

En años posteriores estas primeras leyes se van reformulando (años 90) para conseguir una mejor protección de estas zonas. Así, en 1995, el Reglamento para la Organización, Conservación, Manejo y Aprovechamiento del Manglar, establece que en las áreas de manglar declaradas como bosques protegidos se permitirán, entre otras, actividades tradicionales no destructivas del manglar.

Estas condiciones hicieron que se pusieran en marcha proyectos comunitarios dedicados al cuidado del ecosistema de manglar. En el caso particular del estuario del Río Chone, tenemos el ejemplo de la Asociación de Pescadores de Portovelo. En este caso se apoyó la iniciativa, ofreciendo capacitaciones, infraestructura en la isla Corazón y un centro de interpretación en la comunidad de Puerto Portovelo. Derivado de estas iniciativas, a finales de 1998, se funda la Asociación Turística de Guías Nativos del Sendero Interpretativo del Manglar de Isla Corazón.

En el año 2014 se consigue poner en marcha el plan de manejo vigente, que consigue consensuar la delimitación de cuatro zonas diferenciadas: una zona de protección estricta, otra de uso turístico y recreativo, la zona de restauración y la llamada de amortiguamiento.

La zona de protección abarca un área de 2812 hectáreas de planos intermareales y un denso bosque de manglares. Esta zona de protección estricta ha sido determinada por

el Ministerio del Medio Ambiente. En ella, sólo se permiten actividades de investigación, monitoreo y visitas autorizadas por la administración del Área para fines educativos.

En la zona de uso turístico y recreativo, como su propio nombre indica, se permite el desarrollo de actividades turísticas y recreativas, así como infraestructura de servicios necesarios para el acceso, y disfrute de los visitantes, incluyendo las rutas de acceso.

En la zona de restauración se permiten actividades de restauración, monitoreo, educación y control.

Finalmente, la zona de amortiguamiento está conformada por el asentamiento poblacional, infraestructura camaronera y cabeceras cantonales (Sucre y San Vicente) que se encuentran en la rivera del estuario.

En el plan de manejo se identifican las amenazas directas a la zona y se cuantifican. En concreto, se señala especialmente el riesgo que supone la expansión de las granjas camaroneras en la zona de amortiguamiento, la contaminación por vertederos de residuos sólidos y aguas residuales de zonas pobladas, y el mal manejo de la cuenca del río Chone, incluyendo la construcción de represas que generan sedimentación y contaminación.

Establece cinco líneas de trabajo:

- 1) Manejo de la biodiversidad, proponiendo actuaciones que repercuten en la conservación de la flora y la fauna, así como el desarrollo de programas de investigación que proporcionen datos para adoptar los mejores modos de conservación.
- 2) Control y vigilancia de la zona, para asegurar el cumplimiento de las normas y leyes.
- 3) Uso Público y Turismo. Por una parte, se mantiene la infraestructura necesaria para estos usos y, por otra, se actúa controlando a los operadores turísticos y el uso de las áreas destinadas a este fin.
- 4) Educación y Participación Ambiental. Promover una cultura de respeto a la biodiversidad y al correcto manejo de los residuos, creando conciencia a través de la educación ambiental de la importancia del área protegida y de su conservación.
- 5) Administración y Planificación. En esta línea se busca el fortalecimiento y el desarrollo organizacional a través de capacitación del personal, infraestructura administrativa, etc. para el buen manejo del Área Protegida.

En la actualidad, el manglar está siendo reforestado y el turismo es una actividad importante en el área protegida, a la que se logra acceder mediante lanchas a motor.



Las visitas son dirigidas por guías comunitarios, que tienen la función de llevar a los turistas y realizar el recorrido en la zona de los manglares habilitadas para ello.

Otras actividades de las que depende la población y que se han podido recuperar son la pesca artesanal y recolección de mariscos en el área protegida, actividad que es controlada por los guardias del área del manglar, desde su recolección hasta la venta de variedades de crustáceos, incluyendo al cangrejo azul y el cangrejo rojo.

Por otra parte, Bahía de Caráquez tiene una planta de tratamiento de aguas residuales que tiene como objetivo reducir e inactivar organismos patógenos presentes en líquidos residuales y entornos contaminados y cumplir con la normativa ambiental de vertido de este tipo de residuos. Principalmente el volumen de aguas captado por la planta de tratamiento son aguas provenientes de los habitantes exceptuando las camaroneras. Bahía de Caráquez carece de industria, pero hay que recalcar la zona hotelera por la demanda de turismo de esta zona. En la Figura 5 podemos ver claramente por donde es la evacuación de las aguas tratadas que llegan al estuario. No obstante, existen también en la zona pequeños núcleos poblacionales que, a menudo, carecen de un sistema de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales.

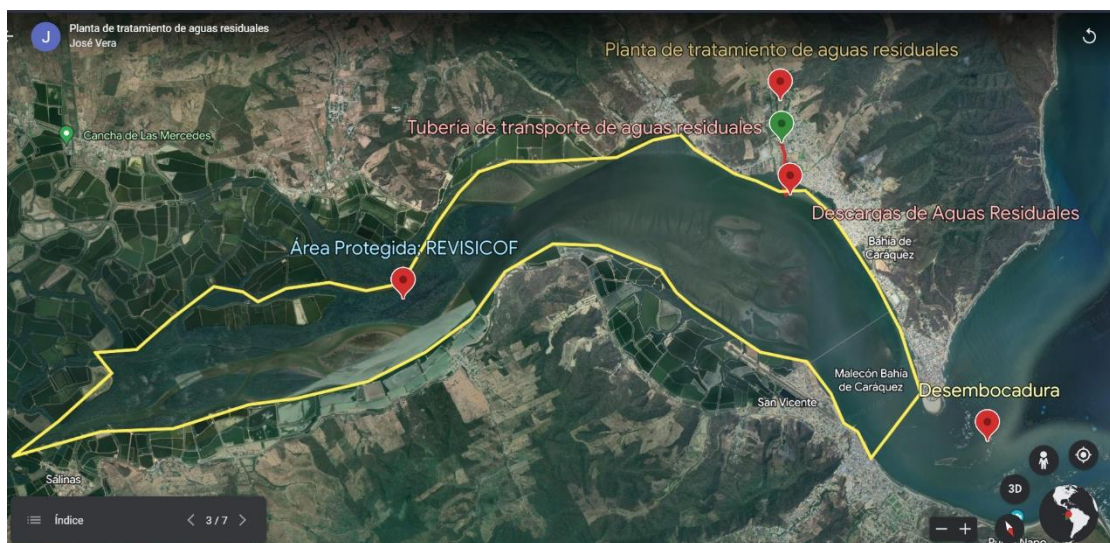


Figura 5: Ubicación de la planta de tratamientos de aguas residuales, Extraído y modificado de Google Eart (2022)

### **1.2.2 Características físicas**

La zona costera de Manabí central contiene alternancia de acantilados rocosos y de llanuras litorales de relleno con lagunas; el área en la que está ubicado el REVISICOF corresponde, desde el punto de vista geomorfológico, a un ambiente de transición marino costero. La morfología adyacente es principalmente montañosa, con vertientes poco inclinadas, y el valle central ha desarrollado un lecho de inundación amplio y plano.

### **1.2.3 Hidrología**

La principal cuenca hidrográfica de esta zona está conformada por el río Chone, que capta aguas de doce diferentes ríos que provienen de la cordillera costanera hasta desembocar en el Océano Pacífico. En el estuario, y debido a la gran cantidad de material que los ríos arrastran desde las zonas altas, es frecuente la formación de bancos de sedimentos. Las islas Corazón y Fragatas se formaron por la acumulación de este material en la desembocadura del río Chone (Díaz, 2012).

La extensión de estas ha ido en aumento debido al aporte de sedimentos. El suelo tiene una composición de lima, arcilla y arena que responde precisamente al depósito proveniente de las corrientes de las laderas.

El análisis de los procesos hidrológicos en estuarios marinos es objeto de un interés creciente en el ámbito científico para la conservación de los recursos hídricos. Los cambios ambientales afectan a los procesos hidrológicos provocando cambios en la dinámica estacional de la escorrentía y un incremento en los caudales. Se ha puesto de manifiesto cómo la conservación de los estuarios proporciona grandes ventajas desde el punto de vista de la preservación del medioambiente y, por lo tanto, de la vida, incluida las actividades económicas derivadas (Agencia de protección Ambiental de Estados Unidos, 2022).

El área de estudio cuenta como afluentes principales con el Río Grande, Río Mosquito o el Río Garrapata; toda esta área tiene un drenaje 2267 km<sup>2</sup>.

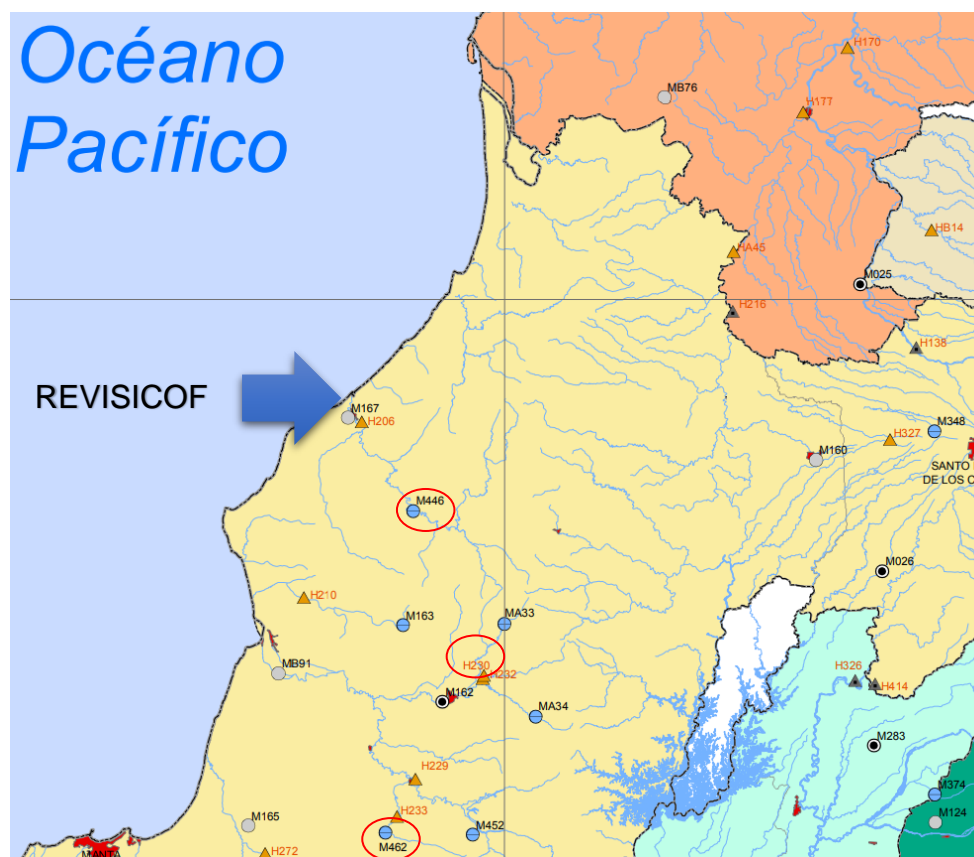
El Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INHAMI) proporciona datos sobre caudales y niveles máximos en el Estuario del Río Chone y el REVISICOF. Los caudales varían considerablemente, no solo dependiendo de la zona a la que nos refiramos sino también de la estación del año. Así, por ejemplo, los datos de la estación Mosquito, indican que los mayores caudales están alrededor de 5,2 m<sup>3</sup>/s, y se presentan entre febrero y marzo. Sin embargo, en la estación Carrizal se determinó que el mes con mayor caudal es marzo con 23 m<sup>3</sup>/s. Con respecto a los valores mínimos de caudal en

la estación de Mosquito, se producen entre junio y julio y están alrededor de  $1,1 \text{ m}^3/\text{s}$  y, para la estación Carrizal, el mes con menor caudal es julio con  $3 \text{ m}^3/\text{s}$ .

En cuanto a los niveles alcanzados, y solo a modo de ejemplo, se citan los datos de tres estaciones, cuya ubicación se muestra en la Figura 6:

- Estación Junín- **(M462)**. Nivel mayor 3,47m (marzo) y nivel menor 1,37m (diciembre)
- Estación Carrizal- **(M446)**. Nivel mayor: 4,00m (abril) y nivel menor 1,47m (noviembre)
- Estación Garrapata- **(H230)**. Nivel mayor): 5,07m (febrero) y nivel menor 0,15 m (octubre)

Estos datos indican las grandes variaciones que se pueden encontrar a lo largo del año.



**Figura 6.** Ubicación de la red actual de estaciones hidrometeorológicas. Los círculos rojos señalan las estaciones mencionadas en el texto. **Fuente:** Extraído y modificado de la página oficial del (Inamhi, 2017)

#### **1.2.4 Clima**

Según el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), los meses de más lluvias son del mes de noviembre a marzo con precipitaciones de 207,88 mm. Hay únicamente 2 estaciones, la más fría entre junio y noviembre con temperaturas entre 19 y 26 °C y la estación más cálida, entre diciembre y mayo, con temperaturas que varían entre 23 y 30°C. La velocidad del viento oscila entre 3,11 m/s y 3,07 m/s entre los meses de octubre y diciembre. La humedad relativa oscila entre el 89,6% en el mes de febrero y 84,5% en el mes de noviembre. El área de estudio presenta actividad sísmica e inundaciones por cambio climático o por efecto de la corriente de “El Niño”.

Habitualmente, las precipitaciones más fuertes hacen crecer los niveles en los ríos y la represa Simbocal generando problemas constantes, por lo que es necesario mejorar la gestión de los caudales de una forma adecuada para evitar las grandes inundaciones.

#### **1.2.5 Sedimentación**

El equilibrio en los procesos de arrastres de sólidos y su depósito son importantes para el mantenimiento del equilibrio en este ecosistema.

Existe una acumulación indeseable de sedimentos debido a distintos factores, como la disminución del caudal del río Chone por proyectos diversos como la presa del Simbocal y la desecación de tierras con el objetivo de usarla como tierra de cultivo. También la construcción de muros para camaroneras dificulta que los sólidos puedan seguir su camino al mar. Además, descargan diariamente entre 3,3 y 5,5 millones de metros cúbicos con gran cantidad de nutrientes y con una alta salinidad que aumenta la del estuario. Esto afecta negativamente a la calidad del agua y a los sólidos en suspensión que sedimentan más fácilmente.

#### **1.2.6 Flora y fauna**

La flora está compuesta principalmente por mangles, según se apunta en la bibliografía (Ministerio del Ambiente, 2014). Existen diversas variedades del árbol de mangle (*Rhizophora mangle*), como el Mangle Blanco, Negro, Concha y Rojo. En la Tabla 1 se muestran las principales variedades de mangle presentes en la zona del Refugio.

Las especies de mangles poseen adaptaciones morfológicas, que les permiten ocupar suelos inestables, y morfofisiologías, para adaptarse a ambientes salinos y también para poder intercambiar gases en substratos con bajas cantidades de oxígeno. Este árbol, gracias a las glándulas de sal situadas en sus hojas, puede eliminar el exceso de sal, mientras que sus raíces adventicias y los neumatóforos, que permiten el crecimiento de raíces aéreas, hacen posible el intercambio de oxígeno en el aire. Por otra parte, las



semillas tienden a germinar por adelantado antes de desprenderse del árbol de manera que, al caer al fango, tienen más probabilidades de crecer. Todas estas ventajas facilitan la adaptación de los manglares a su hábitat.

Tabla 1 Variedades de mangle en el área de REVISICOF

N°	FAMILIA	NOMBRE COMUN	NOMBRE CIENTIFICO
1		Mangle Rojo	<i>Rhizophora mangle</i>
2	<u>Rhizophoraceae</u>	Mangle Rojo	<i>Rhizophora harrisoni</i>
3		Mangle Rojo	<i>Rhizophora racemosa</i>
4	<u>Acanthaceae</u>	Mangle Negro	<i>Avicennia germinans</i>
5	<u>Combretaceae</u>	Mangle Blanco	<i>Laguncularia racemosa</i>

Fuente: Ministerio del Ambiente, 2014

Estas especies pertenecen a distintas familias botánicas, y cada una está adaptada a unas condiciones específicas. El mangle rojo es el más abundante y sus raíces forman grandes laberintos. En la figura 7 se muestra una imagen del Mangle Rojo.



Figura 7: Mangle Rojo (*Rhizophora mangle*); Ministerio del Ambiente, (2014)

Sin ánimo de hacer una descripción detallada, también hay que señalar que en las zonas ribereñas se pueden encontrar otras especies como la *salicornia*, una herbácea de la familia de Amaranthaceae o algarrobo (*Prosopis juliflora*).

Existen más de 60 especies de aves entre nativas, migratorias y congregatorias y que han sido identificadas dentro de la isla durante los diferentes meses del año. Además, no sólo se pueden encontrar aves sino también otras especies como iguanas, boas constrictor, murciélagos blancos, una amplia variedad de crustáceos, moluscos, y curiosos insectos. Quizás lo más singular e importante en cuanto a la fauna es que el área es un sitio de descanso y reproducción de gran cantidad de aves marinas y

playeras, entre las que destaca su importante colonia de fragatas. También es notable la existencia del ibis blanco, ibis morito, ostrero americano, garza azul, garza nocturna, cormoranes o los pelícanos (Brito, 2010).

Existe un registro, aún por confirmar pero que vale mencionar, del colibrí abejorro (*Acestrura bonbus*), especie amenazada a nivel mundial. También es interesante la presencia del Murciélago Blanco (*Ectophylla alba*), de la familia Phyllostomidae, dentro del Orden Chiroptera (Brito, 2010).

En la Tabla 2 se resume la avifauna más relevante que se puede encontrar en la zona del refugio.

Tabla 2 Avifauna del Refugio de Vida Silvestre Islas Corazón y Fragatas. Fuente: (Ministerio del Medio Ambiente 2014)

AVIFAUNA MÁS COMÚN EN EL REFUGIO DE VIDA SILVESTRE ISLAS CORAZÓN Y FRAGATAS		
1	Aguila pescadora	<i>Pandion haliaetus</i>
2	Aninga	<i>Anhinga añina</i>
3	Cigüeña cuellinegra	<i>Himantopus mexicanus</i>
4	Clarinero Coligrande	<i>Quiscalus mexicanus</i>
5	Cormorán neotropical	<i>Phalacrocorax brasilianus</i>
6	Cuco ardilla	<i>Playa cayana</i>
7	Fragata	<i>Fregata magnificens</i>
8	Gaceta bueyera	<i>Buculcus Ibis</i>
9	Gallinazo cabeciroja	<i>Cathartes aura</i>
10	Garcelita Tricolor	<i>Egretta Tricolor</i>
11	Garceta Grande	<i>Ardea alba</i>
12	Garcilla estriada	<i>Butorides striatus</i>
13	Garza Cocoi	<i>Ardea cocoi</i>
14	Garza nocturna	<i>Nycticorax nycticorax</i>
15	Garza nocturna cangrejera	<i>Nyctanassa violacea</i>
16	Ibis blanco	<i>Eudocimus albus</i>
17	Martín pescador	<i>Megaceryle torquata</i>
18	Mirasol menor	<i>Ixobrychus exilis</i>
19	Pájaro brujo	<i>Pyrocephalus rubinus</i>
20	Pelícano pardo	<i>Pelecanus occidentales</i>
21	Playero menudo	<i>Calidris minutilla</i>
22	Zarapito trinador	<i>Numenius plaeopus</i>

## 2. Objetivos

En estos momentos, la realidad en el Refugio es, como se ha descrito en el apartado anterior, de convivencia de las actuaciones de protección de la zona y de las actividades económicas sostenibles con otras actividades que se llevan a cabo de forma agresiva con el medio.

Por un lado, tenemos que se promueve el turismo verde, la pesca tradicional, etc. y por otro, estos conviven con actividades nocivas para la conservación del Refugio, desde las malas prácticas agrícolas, la actividad camaronera excesiva y practicada de forma agresiva con el medio, hasta la gestión de los recursos hídricos que provocan disminuciones de caudales y aumentos de los procesos de sedimentación.

Todo esto conlleva a que la situación del Refugio requiera de un control y vigilancia continuo de los niveles de contaminantes y el estado de sus aguas. En el presente trabajo fin de máster, se pretende realizar una revisión de los datos que aportan diferentes estudios sobre la calidad del agua a lo largo del tiempo y, a nivel práctico, realizar el análisis de diferentes parámetros físico-químicos significativos que aporten una visión de la calidad del agua en estos momentos. Este análisis no pretende ser exhaustivo ni representativo de las variaciones que puede sufrir la calidad del agua a lo largo del tiempo, ni tampoco de toda la superficie del Refugio, lo que requeriría de un estudio más prolongado en el tiempo y el espacio. Se pretende únicamente realizar una primera aproximación a la situación actual del refugio, que pueda servir como punto de partida para futuros trabajos.

Así pues, los objetivos que se pretenden cumplir se pueden concretar en:

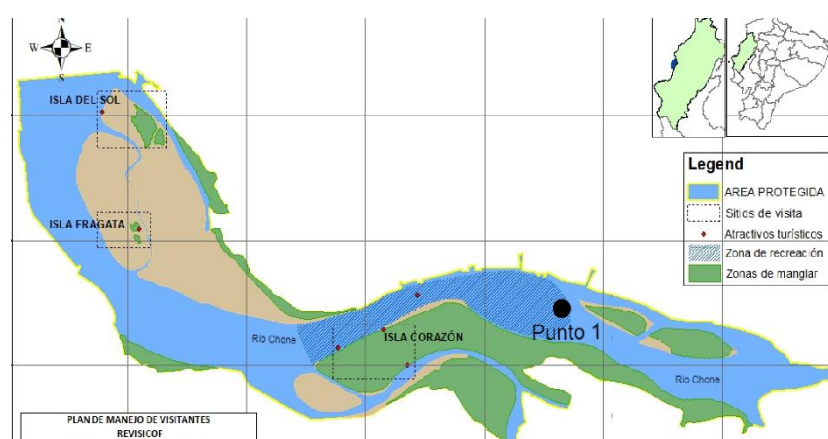
- Búsqueda y revisión bibliográfica de la información disponible relativa a los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que permitan conocer la situación de la calidad del agua de los manglares en Ecuador en general, y en la zona del REVISICOF en particular.
- Determinación de diversos parámetros fisicoquímicos en 7 puntos de muestreo entorno a la zona de manglar de Isla Corazón en el REVISICOF, que proporcionen una valoración inicial de la situación actual de la calidad de agua de la zona.

### 3. Material y métodos

#### 3.1 Localización y características de los puntos de muestreo

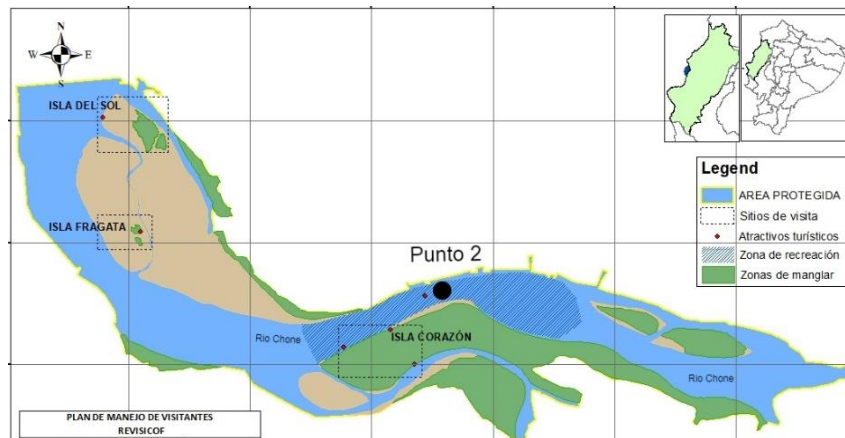
La zona de estudio comprende aproximadamente 18,9 Km del REVISICOF, en la que se realizó la toma de muestras de agua en un total de 7 puntos diferentes. El estuario está expuesto a constantes cambios de corrientes y diversas actividades antropogénicas que se realizan cerca del refugio natural y la más relevante es la actividad de cría de camarones. La zona absorbe escorrentía de los ríos Chone y Carrizal, que pueden contener contaminantes procedentes de los fertilizantes y plaguicidas usados en los cultivos y otros compuestos de las diferentes actividades llevadas a cabo aguas arriba. Además de los contaminantes aportados por los ríos, entorno al estuario también se llevan a cabo diferentes actividades antropogénicas como ya se ha comentado. Con el fin de caracterizar la zona, se seleccionaron para la investigación seis puntos de muestreo situados en los alrededores de la Isla Corazón y la isla Fragata y un séptimo punto en el interior de la zona del manglar, en una zona crítica donde se acumulan residuos sólidos que son transportados por las corrientes de agua provenientes del Río Chone.

**Punto 1-** Es el punto más cercano a la entrada de agua que proviene del Río Chone después de confluir con el Río Carrizal y con el Río Canuto (ver Figura 8) y, por tanto, transporta los residuos y contaminantes generados por las actividades agrícolas o de otros tipos desarrolladas aguas arriba. Nos sirve como indicador de las características de la corriente de agua que llega a la zona del estuario.



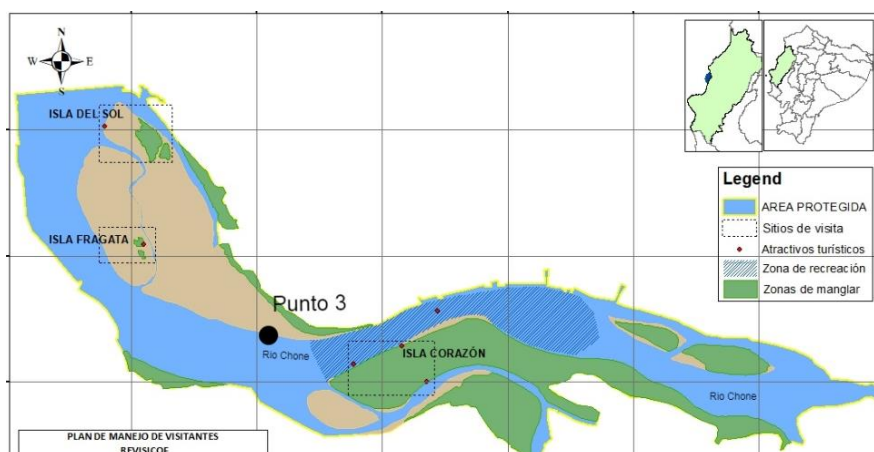
**Figura 8:** Situación del Punto 1 de muestreo en el área protegida. **Fuente:** Extraído y modificado de (CRUZ, 2022)

**Punto 2-** Este punto de muestreo está situado entre Isla corazón y la costa norte del estuario, en la zona más cercana de la casa administrativa del Ministerio del Ambiente y el punto de encuentro donde se realizan las actividades de turismo. En la zona hay, además, gran cantidad de piscinas camaroneras y asentamientos poblacionales cercanos, que vierten aguas residuales insuficientemente tratadas al estuario (ver figura 9).



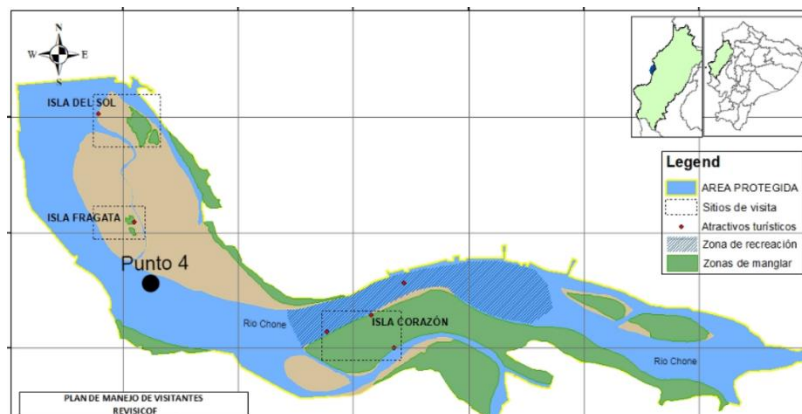
*Figura 9: Situación del Punto 2 en el área protegida. Fuente: Extraído y modificado de (CRUZ, 2022)*

**Punto 3** - Se encuentra como se aprecia en la Figura 10, en la zona situada entre Isla Corazón y la desembocadura, próximo a la línea costera en su parte norte. Es una localización situada tras una zona de gran concurrencia de piscinas de cría de camarones y donde el tránsito de lanchas es más intenso, por las visitas de los turistas. Pero, por otra parte, se sitúa tras la Isla corazón y los manglares, que podrían también actuar como un filtro natural.



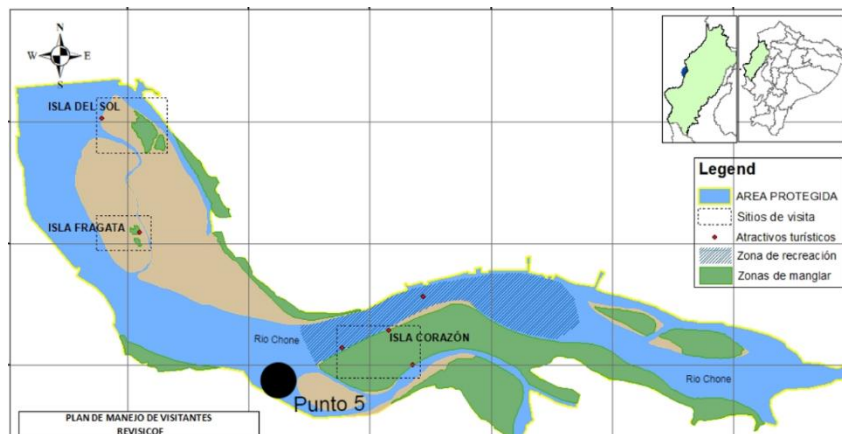
*Figura 10: Situación del Punto 3 en el área protegida. Fuente: Extraído y modificado de (CRUZ, 2022)*

**Punto 4** – Próximo a la Isla Fragata (ver Figura 11) es una zona donde existe una gran cantidad de piscinas para la cría de camarones, y es el punto más cercano de la toma de muestra a la desembocadura del estuario hacia el mar. En esta zona es donde se localizan mayoritariamente las aves endémicas del Refugio. Además, es el punto más cercano al punto donde son evacuadas las aguas residuales proveniente de la planta de tratamiento de Bahía de Caráquez (ver Figura 5).



*Figura 11: Situación del punto 4 en el área protegida. Fuente: Extraído y modificado de (CRUZ, 2022)*

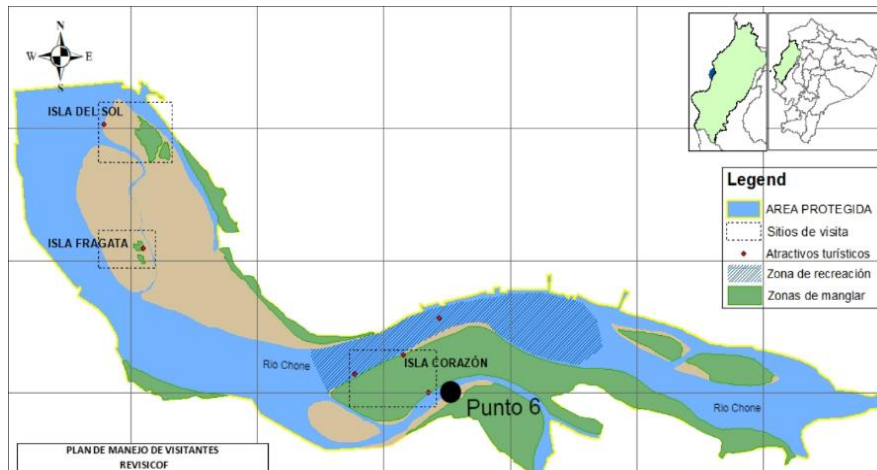
**Punto 5** –Esta zona es vecina al área de visita del Refugio y también cercana a la actividad de las camaroneras. Hay corrientes significativas hacia la desembocadura, por el estrechamiento que se produce entre la isla Corazón y la orilla (ver Figura 12).



*Figura 12: Situación del punto 5 en el área protegida. Fuente: Extraído y modificado (CRUZ, 2022)*

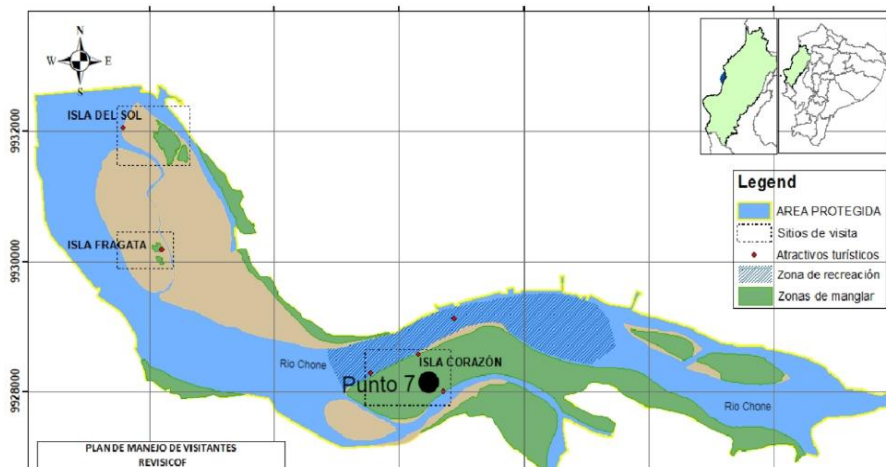
**Punto 6**- Se encuentra entre una zona con gran cantidad de camaroneras de la costa sur y la Isla Corazón (ver Figura 13). En esta zona circula agua constantemente por bombeos para el abastecimiento de las piscinas camaroneras, es la más cercana a la Isla Corazón, y es un punto crítico por la descarga constante de aguas residuales proveniente de las camaroneras hacia los manglares.





**Figura 13:** Situación del punto 6 en el área protegida. **Fuente:** Extraído y modificado de (CRUZ, 2022)

**Punto 7** - Este punto se sitúa en el centro de Isla Corazón, en el interior del manglar, y se considera crítico por la acumulación constante de residuos sólidos, plásticos en su mayoría, de gran tamaño provenientes del Río Chone y Carrizal. Se trata de residuos visibles correspondientes a múltiples plásticos de uso domésticos, uso agrícola, etc. Su situación se muestra en la Figura 14.



**Figura 14:** Situación del Punto 7 del área protegida. **Fuente:** Extraído y modificado de (Earthexplorer,2022)

En la Tabla 3 se recoge la situación exacta de cada uno de los puntos de muestreo y en el Anexo 1 se puede consultar una figura con la representación de los 7 puntos muestreados.

*Tabla 3: Localización de los puntos de muestreo y breve descripción del mismo*

<b>Puntos de muestreo</b>	<b>Coordenadas Lat./Long.</b>	<b>Descripción</b>
<b>1</b>	0°38'33.1"S 80°20'26.1"W	Entrada de la confluencia del Río Chone y Río Carrizal
<b>2</b>	0°38'28.7"S 80°21'45.6"W	Casa administrativa del departamento de Ambiente
<b>3</b>	0°38'27.8"S 80°23'15.7"W	Zona de recreación
<b>4</b>	0°37'28.9"S 80°24'02.8"W	Área más cercana a la desembocadura e Isla Fragata
<b>5</b>	0°39'08.1"S 80°23'05.7"W	Isla Corazón y área costera de Bahía de Caráquez
<b>6</b>	0°39'09.6"S 80°21'54.7"W	Estrecho entre camaroneras y la Isla Corazón
<b>7</b>	0°38'59.5"S 80°21'58.1"W	Centro de la Isla Corazón

### **3.2 Muestreo**

El muestreo se realizó el 8 de agosto del 2021, en los 7 puntos indicados, tras obtener la correspondiente autorización (Imagen 1). En una lancha a motor, el técnico encargado de la toma de muestras de agua y el autor de este TFM, se aproximaron a los puntos establecidos en el área de estudios. Al llegar al lugar añadimos a nuestro vestuario las medidas de seguridad correspondientes, vistiéndonos con guantes, botas y mascarilla, dado al fuerte olor de drenaje del área, para proceder a recolectar las muestras de agua, que se realizó a unos 50 cm de profundidad, en frascos de 500 ml de plástico estériles, lavados previamente con ácido nítrico. Se utilizaron 2 frascos por cada punto, muestreando un total de 14 réplicas, cerramos y rotulamos con la fecha y número de muestra. Las colocamos en un contenedor, previamente acondicionado a baja temperatura con gel refrigerante, hasta su destino en el laboratorio (menos de 12h) donde fueron analizadas las muestras.





*Imagen 1: Toma de muestra de agua y sondeo en el interior de los manglares de la Isla Corazón.*

### **3.3 Análisis de las muestras**

Se determinaron parámetros de calidad habituales incluyendo algunos metales pesados, de los que se sospecha su presencia en base a la revisión bibliográfica realizada y que son altamente contaminantes. Lamentablemente, no se pudieron incluir algunos parámetros como el cadmio, silicato, oxígeno disuelto, DBO, DQO, sulfuro de hidrógeno pese a que se entendía que podían ser significativos y que se usan en la valoración del agua para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuario. Sin embargo, la limitación del presupuesto nos obligó a dejarlos fuera del estudio.

Una vez en el laboratorio "ELICROM" se midieron los 17 parámetros fisicoquímicos seleccionados, empleando diferentes técnicas analíticas para su determinación. Los análisis se realizaron de acuerdo con métodos analíticos con validez oficial, tal y como se resume en la Tabla 4.

Las concentraciones de las muestras tomadas en este estudio se compararon con los Criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en agua dulce, marina y de estuarios establecidos por el Gobierno Ecuatoriano y que se recoge en el Anexo 2. Cuando un parámetro no aparecía citado en esta norma, se emplearon otros criterios para su valoración como se indicará en su momento.

**Tabla 4:** Parámetros y técnicas usada en el análisis de las aguas. SM: Método estándar.

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Técnica</b>	<b>Método de ensayo</b>
pH	pH	Electrometría	SM, 4500-H +B
Conductividad Eléctrica	( $\mu$ S/cm)	Electrometría	SM, 2510B
Salinidad	%	Electrometría	SM, 2520B
Turbidez	(NTU)	Nefelometría	SM, 2520B
Temperatura	°C	Termometría	SM, 2550 B
Solidos Suspendidos Totales	(mg/L)	Gravimetría	SM 2540D
Solidos disueltos totales	(mg/L)	Gravimetría	SM, 2510B
Nitritos	(mg/L)	Espectrofotometría	SM 4500-NO <sub>2</sub> -
Nitratos	(mg/L)	Espectrofotometría	SM, -NO <sub>3</sub> -E
Fosfato	(mg/L)	Espectrofotometría	SM, 4500- P E
Cromo (VI)	(mg/L)	Espectrofotometría	SM, 3113B
Coliformes Fecales	ufc/100mL	Número más probable	S.M Ed.23th 9223B
Coliformes Totales	ufc/100mL	Número más probable	S.M Ed.23th 9250B
Amonio total	(mg/L)	Espectrofotometría	SM, 4500-PE
Cobre	(mg/L)	Espectrofotometría	SM,3111B
Mercurio	(mg/L)	Espectrofotometría de absorción atómica	Standard Ed.21th 3120 B
Clorofila	(mg/L)	Espectrofotometría visible	Método tricromático

## **4. Resultados y discusión**

### **4.1 Búsqueda y revisión bibliográfica**

A continuación, se comentan los resultados obtenidos en distintos estudios de la calidad del agua de Manglares de Ecuador. Para la recopilación de información se realizaron búsquedas en diferentes revistas nacionales, como el repositorio institucional de la Universidad de Guayaquil, y en bases de datos como Scopus.

En primer lugar, se comenta el trabajo realizado sobre los suelos de la Reserva Ecológica Manglares Cayapas Mataje (REMACAM) en la provincia de Esmeralda (Ecuador), que estudia la contaminación por metales pesados, como una primera etapa para poder seleccionar y aplicar las medidas correctivas más adecuadas para mitigar su persistencia en el ecosistema. En el estudio se determinan distintos índices de polución, geo acumulación (Igeo), factor de enriquecimiento (EF), índice de carga contaminante (PLI), basándose en las concentraciones obtenidas en el análisis del suelo de la reserva y de fondo. Se determinó que el elemento con mayores valores de contaminación era el Cadmio (Cd) (Muyulema, 2021).

En estudios anteriores que se realizaron en afluentes de la provincia de Esmeraldas evidenciaron claramente la contaminación generada por metales pesados. El objetivo primordial del trabajo de (ECHEVERRÍA, 2019) fue determinar las concentraciones de metales pesados (Cd y Pb), en agua, sedimentos y raíces de *Rizophora mangle* en la Reserva Ecológica Manglares Cayapas Mataje, en los periodos del 2018 al 2019. Se determinó que las concentraciones de metales en las raíces de *Rizophora mangle* fue 24,25 mg/kg para plomo y 1,29 mg/kg para cadmio y se obtuvo un factor de concentración (FBC) de 0,70 para plomo y 0,89 para cadmio, por lo que se considera como una especie con la capacidad de retener plomo y cadmio.

En la provincia de Esmeraldas (Ecuador) no existe mucha investigación sobre sus manglares a pesar de ser áreas protegidas, sin embargo, Rebolledo y Jiménez (2012) demostraron la existencia de contaminación por mercurio en agua y sedimentos de varios ríos de la región pertenecientes al sistema hidrográfico Santiago-Cayapas, como consecuencia de la actividad minera. Encontraron altas concentraciones de mercurio en el Río Cachaví (0,0037 mg/L), Río Zapatillo (0,0034 mg/L), Río Santiago-Playa del Oro (0,0014 mg/L), Río Bogotá (0,0011 mg/L) y Río Tululbi (0,001 mg/L) (Jiménez, 2012). Estos resultados indican que efectivamente existe un problema grave de contaminación que necesariamente hay que resolver y también la necesidad de realizar más estudios de metales pesados en los estuarios de la provincia de Esmeraldas para testear su evolución.

Al analizar la concentración de Hg (mercurio) en raíces aéreas y absorbentes de mangle (*Rhizophora mangle* L.) en la zona costera de la provincia de El Oro, ubicada al suroeste del Ecuador, (Molina, 2019) se determinó que existen elevadas concentraciones de éste en todas las muestras que fueron evaluadas. Se estudiaron raíces aéreas y absorbentes recolectadas en cuatro puntos de muestreo y dos estaciones climáticas: en época seca y lluviosa. La mayor concentración de este metal pesado fue detectada en las raíces absorbentes en época de lluvias. Por otra parte, no se encontraron diferencias significativas en la concentración de Hg en los diferentes puntos de muestreo, aunque sí se evidenciaron diferencias entre los periodos seco y lluvioso.

Pernia y col. (2009) determinaron, a través del análisis de los datos obtenidos en estudios de varios autores, cuál era la situación en las regiones más importantes de manglares de Ecuador, respecto a la presencia de metales pesados en sedimentos. En la tabla 5 se presentan algunos de los resultados obtenidos para el mercurio, el cadmio y el plomo donde el color rojo indica que se exceden los límites máximos permisibles y el verde que se mantiene bajo la concentración permitida según la normativa ecuatoriana.

N°	PROVINCIA	LOCALIDAD	Cd	Pb	Hg
1	GUAYAS	Golfo de Guayaquil	2,82	5,74	0,12
2	GUAYAS	Isla Santay	0,87	8,98	ND
3	GUAYAS	Reserva Ecológica Manglares Churute	7,40	8,41	ND
4	GUAYAS	Estero Salado	4,33	51,63	1,65
5	EL ORO	Estero Santa Rosa	1,23	20,48	12,00
6	EL ORO	Estero El Macho	0,32	57,44	ND
7	EL ORO	Estero Huylá	ND	5,63	3,33
8	MANABÍ	Estuario del Río Chone	1,78	6,93	ND
9	MANABÍ	Estero Ébano	0,01	0,26	0,34

**Tabla 5:** Metales pesados en sedimentos por zonas de manglar del Ecuador, concentraciones en mg/kg. En rojo valores que exceden los valores máximos admisibles y en verde los que se sitúan por debajo de los mismos. ND no detectados. Fuente: (Pernía, 2019)

Según Tenelema (2016), las granjas de camarones en la provincia del Oro aplican fósforo para el crecimiento y conversión alimenticia nutritiva sin un control adecuado, deteriorando la calidad del agua no solo en las piscinas, sino también en los esteros. Este investigador detecto, p.e., concentraciones de fosforo en el efluente de camaroneras con valores máximos de 1,15 mg/L siendo el límite máximo permisible 0,5 mg/L. Es importante mencionar que existen camaroneras relevantes alrededor de la zona de protección de Las Islas Fragatas y Corazón y que están registradas y aprobadas

por el Instituto Nacional de Pesca del Ecuador (Ministerio de agricultura, 2017) . Las empresas camaroneras más significativas en la zona son las siguientes: Jefferson Antonio Loor Moreira, Dubeme CIA LTDA, Joaquín Elías Loor Briones y Compañía Camaronera Deymara S.A.

Pozo (2017) realizó un estudio en el año 2014 en el estuario del Río Chone para detectar la presencia de metales pesados, específicamente cadmio y plomo, tomando muestras de agua y sedimentos, donde se determinó que las concentraciones del cadmio (0,129 mg/L) y los niveles del plomo (0,21 mg/L) excedían los límites de la legislación ecuatoriana. Ambos parámetros claramente afectan el ecosistema de los estuarios.

El único trabajo realizado en nuestra zona de estudio corresponde a Delgado (2014). Esté realizó un estudio para determinar la calidad de agua de un tramo del estuario del Río Chone en la bahía de Caráquez en época húmeda y época seca, donde los parámetros analizados fueron: temperatura, salinidad, pH, turbidez, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días, y amoníaco, nitrito, nitrato, fosfato, oxido de silicio y sulfuro de hidrogeno. Entre otros, determinó que las altas concentraciones de amonio y sulfuro de hidrogeno encontradas estaban influenciadas principalmente por actividades antrópicas en la zona. Los valores del nitrato se dispararon especialmente en la zona interna del Estuario y en época lluviosa, llegando a estar por arriba del límite permisible. Esto puede ser debido a que la época lluviosa trae consigo escorrentías que arrastran suelo agrícola cargado de nutrientes hasta el estuario, lo que contribuye de manera significativa al transporte del mismo desde tierra hasta el estuario.

En cuanto al fosforo, los valores más elevados se obtuvieron en época seca, lo que se atribuyó a las descargas de aguas residuales domésticas. Cabe señalar, que el fósforo es habitualmente un nutriente limitante es los estuarios, por lo que un nivel elevado del mismo puede incrementar la producción de algas.

A través de la técnica estadística de Análisis de Componentes Principales (ACP), Delgado (2014) llegó a la conclusión de que las variables que más afectan a la estabilidad del sistema estuarino de Bahía de Caráquez son: nitrito, salinidad, temperatura, silicato y turbidez, las cuales tendrían un efecto significativo sobre la abundancia y composición de especies del estuario. El efluente que potencialmente estaría aportando mayores concentraciones de amoníaco es la descarga de aguas residuales de las pozas de estabilización municipal (ver en la figura 5). Cabe indicar que este estudio incluyó metales pesados en sedimentos, cromo y plomo y se determinó que se encuentran en el límite dictado por la normativa ecuatoriana. El mercurio en varios puntos sobrepasa el límite permisible, que según la normativa de Ecuador es de 0.1mg

/kg, con un intervalo de concentraciones que oscila entre 0,15 y 0,35 mg/kg en la época seca y en la época lluviosa entre 0,20 y 1,00 mg/kg.

Como se observa, el número de estudios realizados sobre los manglares en Ecuador es reducido y muestran claros síntomas de contaminación, que requieren de mayores esfuerzos para determinar el estado de los mismos y plantear estrategias de remediación.

#### **4.2 Análisis de los parámetros físicos químicos en los distintos puntos de muestreo.**

Se exponen a continuación los resultados obtenidos del muestreo y análisis realizado en los 7 puntos de medición, para los 17 parámetros fisicoquímicos seleccionados. En general, los resultados obtenidos se compararán con los criterios de calidad admisibles para la preservación de la flora y fauna en aguas marinas y de estuario recogidos en la normativa vigente, Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA), y que se resumen en el Anexo 2. Respecto a esta normativa decir que contiene indicaciones y criterios para distintos usos del agua. Para ciertos parámetros, no incluidos en dicho texto, se empleará los criterios de calidad de aguas para fines recreativos mediante contacto primario también resumidos en el Anexo 3.

En primer lugar, respecto a la presencia de materia flotante, decir que es un indicador que se aprecia a simple vista. Señalar que en el punto 7, situado en el interior del manglar se puede apreciar la existencia de materia flotante (imágenes 2 y 3). Se observaron principalmente envases de agroquímicos. Debido a su ubicación cercana a áreas urbanas y zonas turísticas, los manglares son susceptibles a la acumulación de residuos sólidos, como plásticos, vidrios, metales, y otros desechos humanos. Estos residuos pueden ser arrojados directamente en los manglares o pueden ser arrastrados por las corrientes de los ríos desde áreas habitadas hasta los ecosistemas costeros. El criterio de calidad de aguas para fines recreativos mediante contacto primario (ver Anexo 3) indica que la materia flotante debe estar ausente, por lo que se estaría incumpliendo con este criterio de calidad.



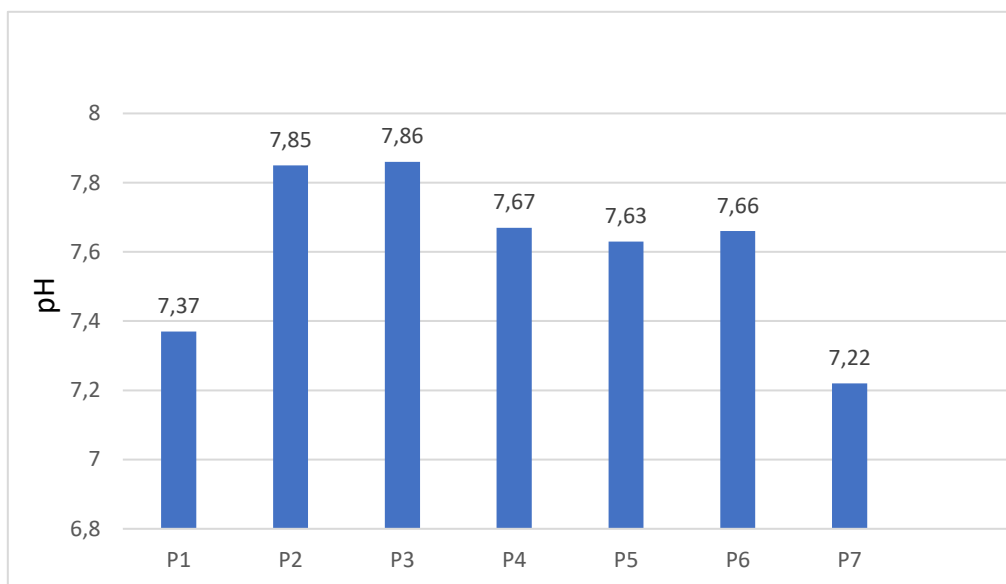


*Imagen 2: Residuos Sólidos recolectados en el interior del REVISICOF*



*Imagen 3: Minga realizada por voluntarios para la limpieza de la zona de manglar.*

El primer parámetro químico que se expone es el **pH**, cuyos resultados se muestran en la figura 15. El pH de un agua natural es dependiente de la concentración de CO<sub>2</sub> y de las características de los suelos que atraviesa, de modo que un pH alcalino indica que los suelos son calizos y el pH ácido que son silíceos. Los valores del pH entre 5 y 9 permiten condiciones de tolerancia para el sostenimiento de la biota marina (Sierra Ramírez, 2011).



*Figura 15: Representación gráfica de los valores de pH obtenidos en los diferentes puntos de muestreo.*

En todos los puntos de muestreo se obtuvieron valores de pH ligeramente alcalinos, entre 7,22 y 7,86. Estos valores son admisibles, ya que el criterio de calidad para la preservación de la vida acuática y silvestre en agua marina y de estuario se encuentran entre 6.5 y 9.5 (ver Anexo 2). El menor valor de pH se obtuvo en el punto 7, situado en el interior del manglar.



También se registró la **temperatura** en los diferentes puntos de muestreo, información recogida en la Figura 16. La temperatura se mantiene entre 21,7 y 21,8 °C en todos los puntos, excepto en el punto 7 que es de 21,2 °C. Aunque no es un cambio significativo en el cuerpo de agua, la menor temperatura puede deberse a que la cantidad de luz que llega al punto 7 (situado en el interior del manglar) es más reducida. Este parámetro no presenta un valor establecido en la normativa de la ley ecuatoriana para la preservación de flora y fauna.

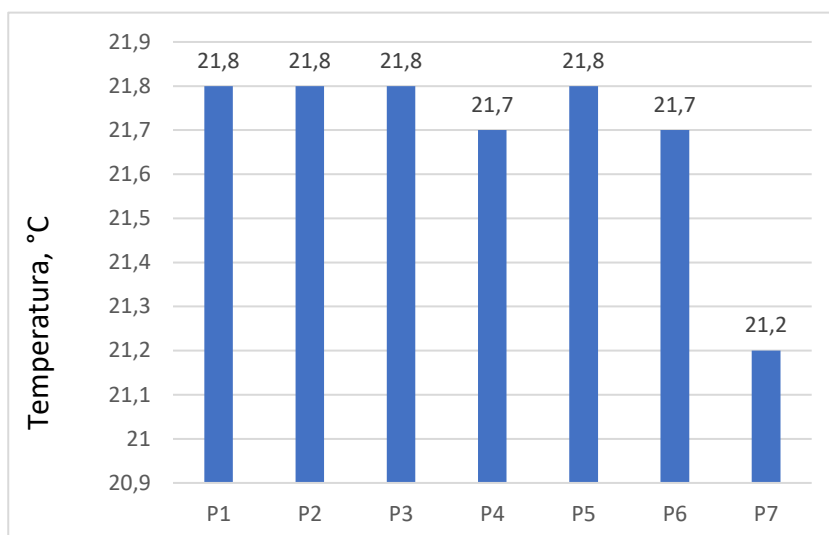
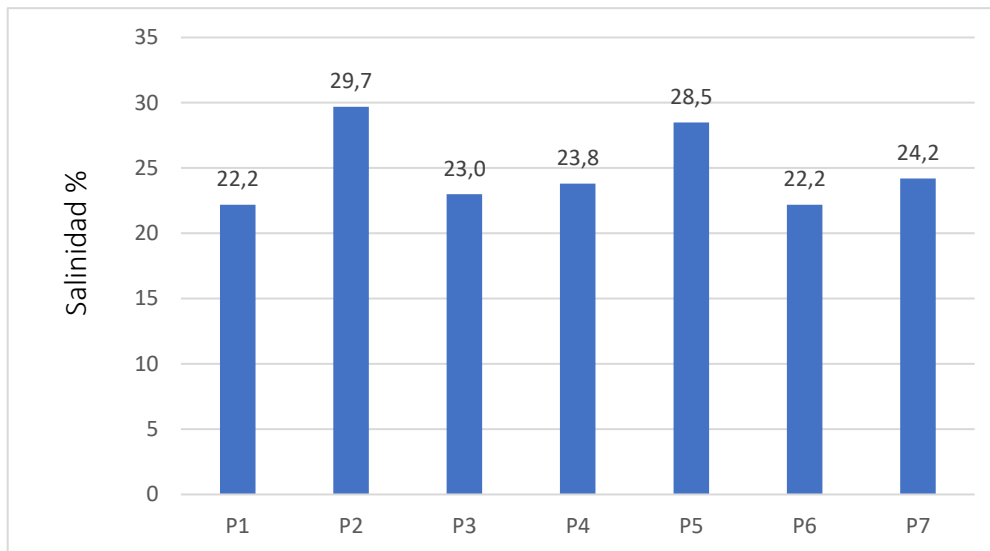


Figura 16: Temperatura en los diferentes puntos de muestreo.

La **salinidad** afecta sobremanera a la distribución de la hidrobiota en los manglares y las zonas más cercanas a la desembocadura costera (Sierra Ramírez, 2011). Los organismos de los manglares tienen distintas tolerancias y respuestas a la salinidad, pero, además, la salinidad también afecta a los niveles de oxígeno disuelto. A mayor salinidad en los manglares, el oxígeno disuelto del agua disminuye, lo que impacta negativamente en las poblaciones de peces, cangrejos y otros organismos acuáticos. Factores naturales pueden contribuir a los índices altos de salinidad en las muestras de agua: la evaporación intensificada debido a condiciones climáticas locales, como altas temperaturas y baja precipitación, puede concentrar las sales en el agua a medida que el agua dulce se evapora y la sal permanece. Pero independientemente de esto, también factores antropogénicos pueden afectar a la salinidad de las aguas. De hecho, la actividad camaronera contribuye a su incremento como ya se ha comentado.



*Figura 17: Salinidad en los diferentes puntos de muestreo obtenidas.*

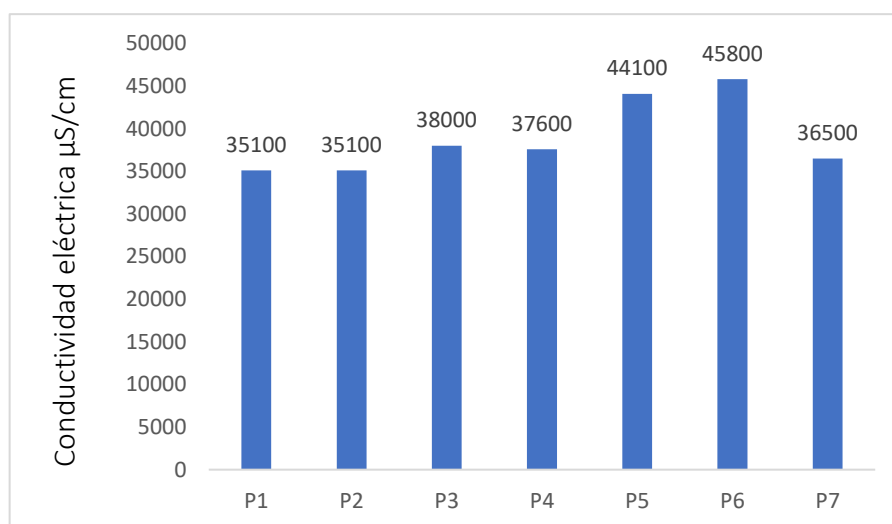
Habitualmente, la salinidad en un estuario es mayor cuanto más cerca nos encontramos a la desembocadura del mar u océano y menor aguas arriba. Sin embargo, como se observa en la Figura 17, los valores más elevados de salinidad se obtuvieron en los puntos 5 y 6, situados en la vertiente sur del estuario al final de Isla Corazón y a media altura, respectivamente.

Un factor a considerar es el aporte de parte de los minerales que se encuentran en los sedimentos y de aguas no tratadas procedentes de las camaroneras y de las zonas pobladas. En esta vertiente sur es donde se localiza la mayor concentración de camaroneras en la zona, como se muestra en la Figura 4. Es importante indicar que el parámetro Salinidad no se puede relacionar con la normativa ambiental vigente ecuatoriana, ya que no se establece un límite permisible para estuarios. (Blasco, 2003) menciona que los valores de salinidad en los estuarios pueden variar en un intervalo muy amplio, entre 0 y 36, intervalo en el que se situarían los valores obtenidos en nuestro estudio.

La **conductividad eléctrica** (expresada en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) es la medida de la capacidad del agua para conducir la electricidad y es un indicador de la presencia de iones disueltos, que pueden ser cationes, como sodio, potasio, calcio, magnesio, o bien aniones, como carbonatos, bicarbonatos, sulfatos y cloruros principalmente (Juarez, 2017). Por tanto, está relacionado con la salinidad comentada anteriormente.

La conductividad es un indicador del funcionamiento del sistema acuático que determina su diversidad biológica. A medida que aumenta la conductividad, la diversidad biológica en un ecosistema, como un manglar, tiende a disminuir, ya que muchas especies no pueden tolerar niveles altos de salinidad. Además, la osmorregulación, que es la

capacidad de los organismos para regular el equilibrio de agua y sal en sus cuerpos, se ve comprometida en condiciones de alta conductividad debido al estrés osmótico. Esto puede tener impactos negativos en la salud y supervivencia de las especies presentes. En ese orden de ideas y teniendo en cuenta a Roldán (2008), los cuerpos de aguas naturales tropicales poseen conductividades que oscilan entre 30 y 60 mS/cm, dependiendo de su productividad primaria.

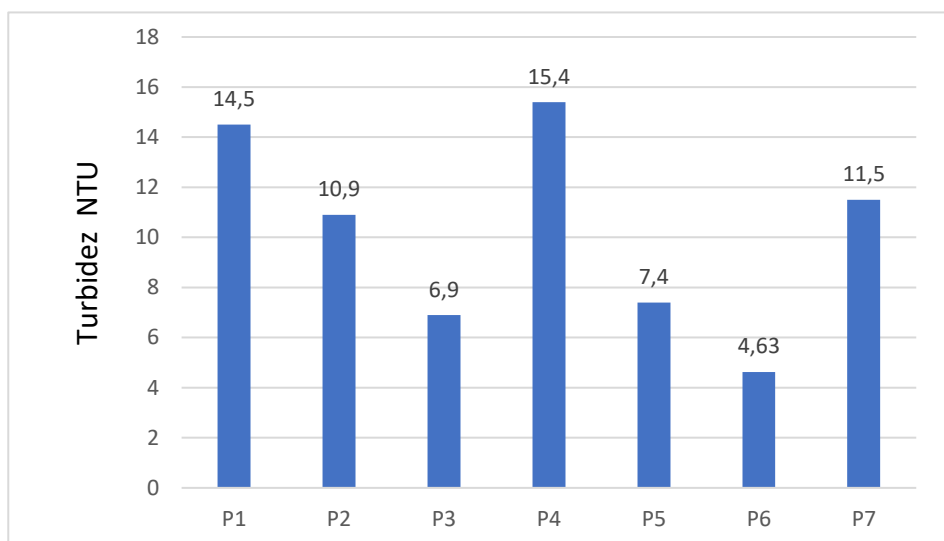


*Figura 18: Conductividad en los diferentes puntos de muestreo.*

De acuerdo con las muestras analizadas (ver Figura 18), se pueden identificar valores más pequeños, en torno a los 35000 µS/cm, en la mayoría de los puntos de nuestra zona de estudio, siendo el valor máximo detectado de 45000 µS/cm. Como cabía esperar, la forma de la gráfica coincide con la de la salinidad (Figura 17), registrándose los mayores valores de conductividad en los puntos 5 y 6, debido a los mismos factores que se han comentado para la salinidad.

**La turbidez** tiene relación con la dificultad de la luz para atravesar el agua debido a los materiales insolubles en suspensión, coloidales o muy finos e incluso microorganismos, que se presentan principalmente en aguas superficiales (Romero, 2009).

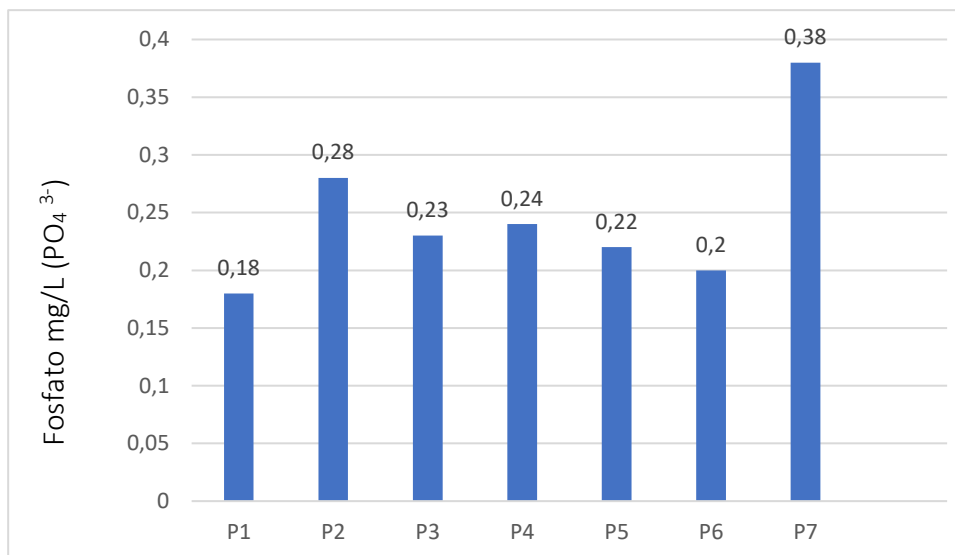
El constante aporte de aguas con sólidos suspendidos ocasiona que la turbiedad ascienda, provocando que la transparencia disminuya, y el sistema entre en desequilibrio y, como consecuencia, la actividad fotosintética de la vegetación acuática se ve alterada y no hay una producción adecuada de oxígeno (Roldan, 2008), lo que incide directamente en la producción primaria y en el flujo de energía dentro del ecosistema.



*Figura 19: Valores de turbidez en los diferentes puntos de muestreo.*

Los resultados de la turbidez, presentados en la Figura 19, muestran que el punto 6, con un valor de 4,63 NTU, es el que presenta el valor más bajo de turbidez, a pesar de ser un punto altamente influenciado por las camaroneras próximas. Por otra parte, los mayores valores de turbidez se registraron en los puntos 1 y 4. El primero se encuentra muy próximo a la desembocadura del Río Chone al estuario, lo que explica el elevado valor obtenido, ya que la corriente del río puede arrastrar una gran cantidad de partículas y, además, la corriente puede resuspender sedimentos del estuario. El punto 4 presenta un constante tránsito de lanchas, además de erosión hídrica, lo que podría explicar el incremento de turbidez. También la proximidad al punto de vertido de las aguas tratadas, a menudo insuficientemente, puede contribuir al incremento de turbidez. No existe un límite permisible para la turbidez en los estuarios en la normativa ecuatoriana.

Los iones **fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ )** son considerados como nutrientes para la vegetación, y su presencia en las aguas contribuye a la proliferación de algas en las mismas. En efecto, el exceso de fosfato y otros nutrientes hace que las plantas y otros organismos crezcan en abundancia. Durante su crecimiento y putrefacción, consumen gran cantidad del oxígeno disuelto y aportan materia orgánica (fango) en abundancia (Baird 2001), llevando a un proceso de eutrofización. Por otra parte, concentraciones inferiores a la mitad de su concentración de saturación (9.5 a 47.5  $\mu\text{g/L}$ ) pueden limitar el crecimiento del fitoplancton (Gillbricht, 1988). Se trata, por lo tanto, de un factor determinante de la calidad del agua. En la Figura 20 se recogen los resultados obtenidos en los puntos de muestreo.



*Figura 20: Concentración de Fosfato en los diferentes puntos de muestreo.*

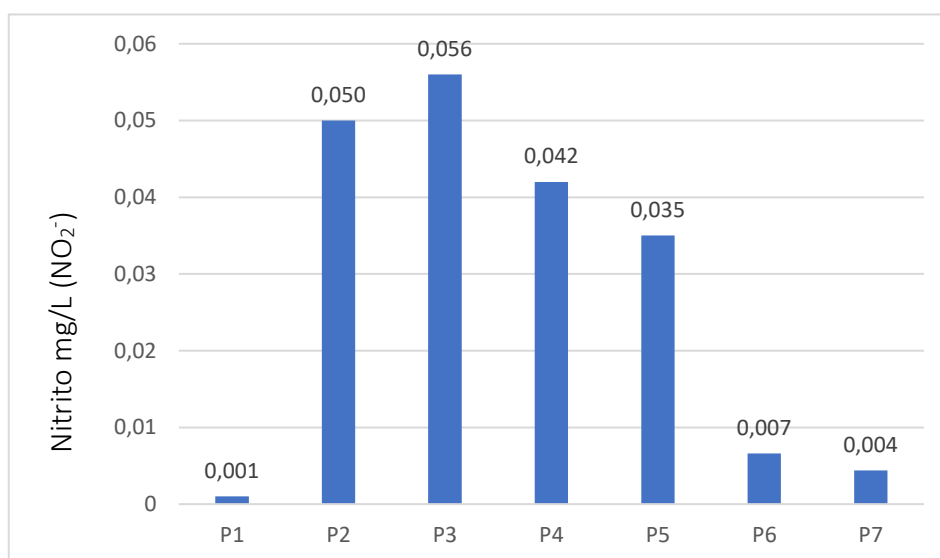
La concentración más elevada de fosfatos se encontró en el punto 7 del REVISICOF, mostrando un valor de 0,38 mg/L. Hay que mencionar que podría haberse presentado alguna circunstancia puntual relacionada con la acumulación de desechos, p.e. de envases de fertilizantes, que son transportados hasta la isla por las escorrentías y son retenidos por los manglares, como se pudo comprobar visualmente al tomar la muestra. El punto 2 le sigue con 0,28 mg/L de fosfatos. Es importante recalcar que este punto está cercano a vertidos constantes de aguas residuales, ya que es el punto más cercano a los asentamientos poblacionales próximos al punto de encuentro que no cuentan con un sistema de alcantarillado adecuado. Roldan (2008) en sus trabajos manifiesta que las descargas de aguas residuales y de las piscinas camaroneras, pueden influir en los resultados de fosfatos. También Delgado (2014) señala en su estudio que la procedencia de fosfato en la zona del REVISICOF puede estar relacionada con el vertido de aguas residuales. Otro factor a considerar es que el excremento de aves marinas es rico en fósforo, lo que también puede contribuir a los niveles registrados. De hecho, como se ha indicado al describir los puntos seleccionados, el punto 4 se sitúa en la localización en la que la concurrencia de aves es mayor.

Por otra parte, el valor más bajo de fosfato se obtuvo en el punto 1, situado en la desembocadura del río Chone, lo que parece indicar que la actividad agrícola aguas arriba no es una fuente destacada de fosfatos en la zona.

Cabe señalar que no existe para el fosfato ningún valor establecido en los criterios de Calidad admisibles para la preservación de la flora y fauna en aguas de la normativa ecuatoriana. En aguas naturales, la cantidad de fosfatos se encuentra habitualmente por debajo de 1 mg/L (CienciasAmbientales, 2004). En los puntos muestreados en ningún caso se aproximan a este valor. Cantidades superiores de estos nutrientes

contribuye a que las algas crezcan y consumen el oxígeno del medio acuático y provocan la desaparición de especies vegetales y animales. La concentración de 0,4 mg/L es un valor bueno/moderado según el Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre, del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente de España, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental (BOE, 2015).

Los iones **nitrito** ( $\text{NO}_2^-$ ) se encuentran presentes en el agua por el proceso de oxidación del amoníaco y la reducción de los nitratos. Es un indicador de que la contaminación es reciente, pues la estabilidad de esta especie es reducida, y su presencia en el agua no la hace apta para el consumo humano, ya que causa alteraciones en la hemoglobina.



*Figura 21: Concentraciones de nitritos en los diferentes puntos de muestreo.*

Las mayores concentraciones de nitrito se detectaron en los puntos 3 (0,056 mg/L) y 2 (0,050 mg/L). Por la ubicación de la toma de muestra, próxima a la costa norte del estuario dónde se encuentran los asentamientos poblacionales, se determina que su origen puede estar en las actividades de estos, sin despreciar el efecto de los constantes depósitos de aguas residuales proveniente de las camaroneras, como se refleja en los también elevados niveles registrados en los puntos 4 y 5 de muestreo. Por otra parte, el bajo nivel registrado en el punto 1, indica que las aguas provenientes del río Chone no son una fuente relevante de nitrito. No hay un criterio de calidad para aguas marinas y de estuario para nitrito en la normativa ecuatoriana (Anexo 2), pero para agua dulce la concentración máxima admisible sería de 0.2 mg/L, valor muy superior a los obtenidos en este trabajo.

El ión **nitrito** ( $\text{NO}_3^-$ ) de manera natural proviene de rocas que lo contienen o por la oxidación microbiana de material orgánico. En la mayoría de las aguas superficiales su concentración va en aumento debido al uso de fertilizantes y el constante vertido de aguas residuales domésticas (Sierra Ramírez, 2011). También la atmósfera es una vía importante de aporte de nitrógeno, debido a la deposición de partículas de nitratos.

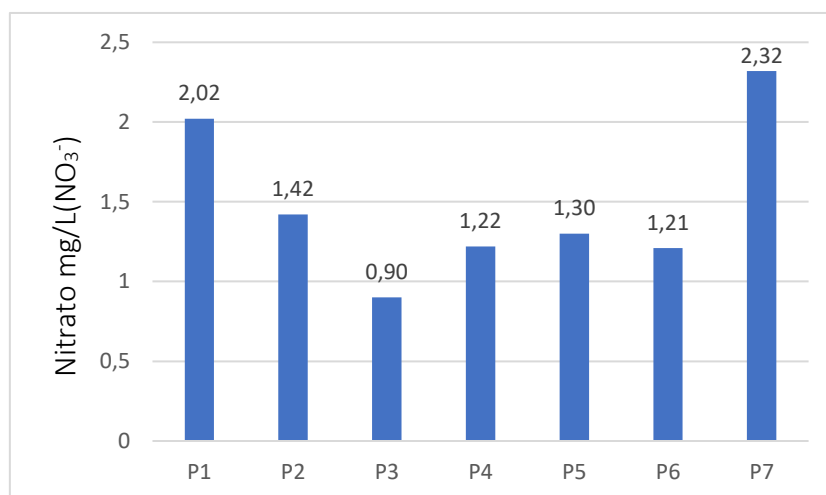
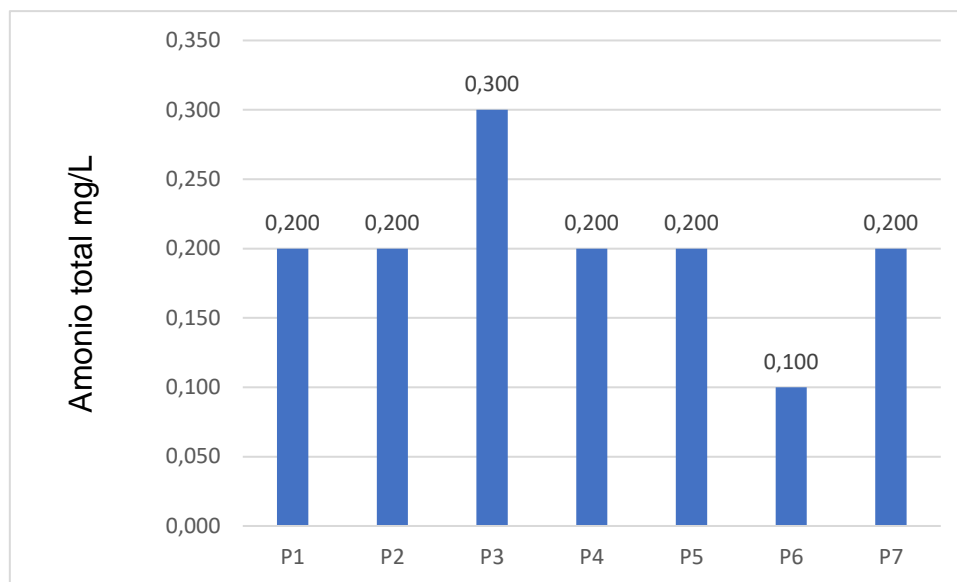


Figura 1: Concentraciones de Nitratos en los puntos de muestreo.

De nuevo, como ocurrió con los niveles de fosfato, el valor más alto de concentración de nitratos se dio en el punto 7 (2,32 mg/L) (ver Figura 22). Esta es el área dentro de isla Corazón, y existe un aporte de fertilizantes por la gran cantidad de residuos que son transportados y retenidos por los manglares. De hecho, en esta zona se observó una acumulación de recipientes plásticos, muchos de ellos correspondientes a fertilizantes, que podrían contener aún residuos de estos compuestos que serían liberados al medio poco a poco. El segundo punto con mayores valores de nitratos fue el punto 1 con una concentración de (2,02 mg/L), punto situado tras la desembocadura del Río Chone, posible origen del mismo que vendría arrastrado por el río y las actividades agropecuarias que tiene lugar aguas arriba, y por los vertidos de las camaroneras cercanas al área de estudio. Cabe señalar que los puntos situados tras el manglar presentaron concentraciones inferiores de este contaminante, lo que podría estar relacionado con la capacidad del manglar para su eliminación.

Este indicador está considerado en Criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en agua marina y de estuarios (ver Anexo 2) con una concentración máxima permisible de 200 mg/L, valor muy superior a las concentraciones registradas en los puntos muestreados, lo que indicaría que no es un parámetro preocupante en la zona.

El **nitrógeno amoniacal total** (expresado como  $\text{NH}_4^+$ ) en aguas superficiales proviene principalmente de la degradación natural de la materia orgánica presente en la naturaleza. Es uno de los componentes transitorios en el agua, porque es parte del ciclo del nitrógeno y se ve influido por la actividad biológica (González, 2013). Pero también la actividad antropogénica, y principalmente la actividad agrícola, es una fuente importante de este compuesto.



*Figura 23: Concentraciones de Amonio en los puntos de muestreo.*

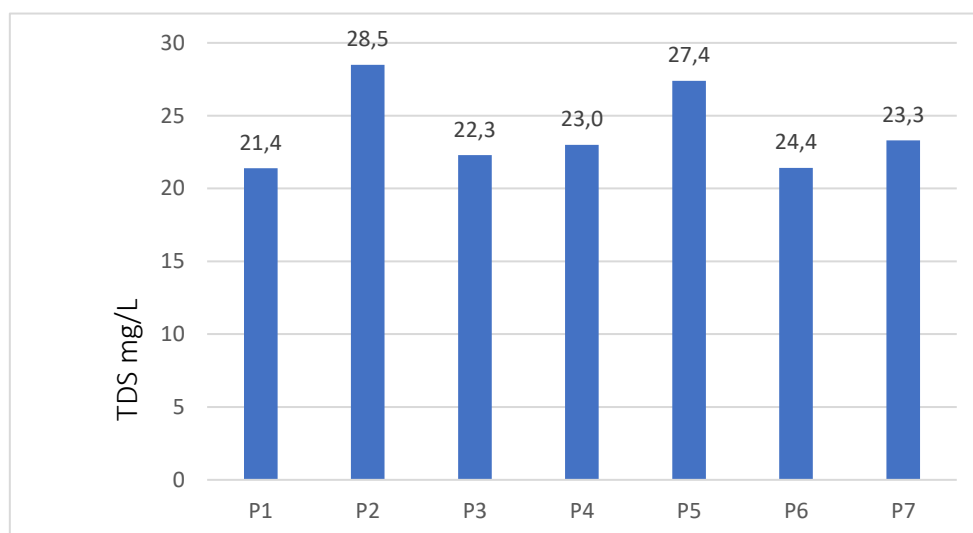
Como se muestra en la Figura 23, el valor máximo de la concentración de ion amonio se localizó en el punto 3 (0,3 mg/L) y el menor en el punto 6, si bien no se observaron grandes diferencias en toda la zona.

En el Refugio, las descargas de aguas residuales y domésticas en el área pueden contribuir de forma prioritaria a los niveles de nitrógeno amoniacal, así como posibles vertidos procedentes de las camaroneras. El criterio de calidad en agua marina y de estuario (Anexo 2) establece un valor de 0,4 mg/L para amoníaco total, valor que no sería superado en el muestreo llevado a cabo en este trabajo.

Cabe comentar que los niveles de este compuesto se ha comprobado que pueden variar en función de la estación del año. Nuestro muestreo se realizó en la época seca, pero de acuerdo con Delgado (2014), los niveles de amonio encontrados en época de lluvia en el REVISICOF son más elevados, debido al arrastre de este compuesto desde los suelos agrícolas situados aguas arriba.



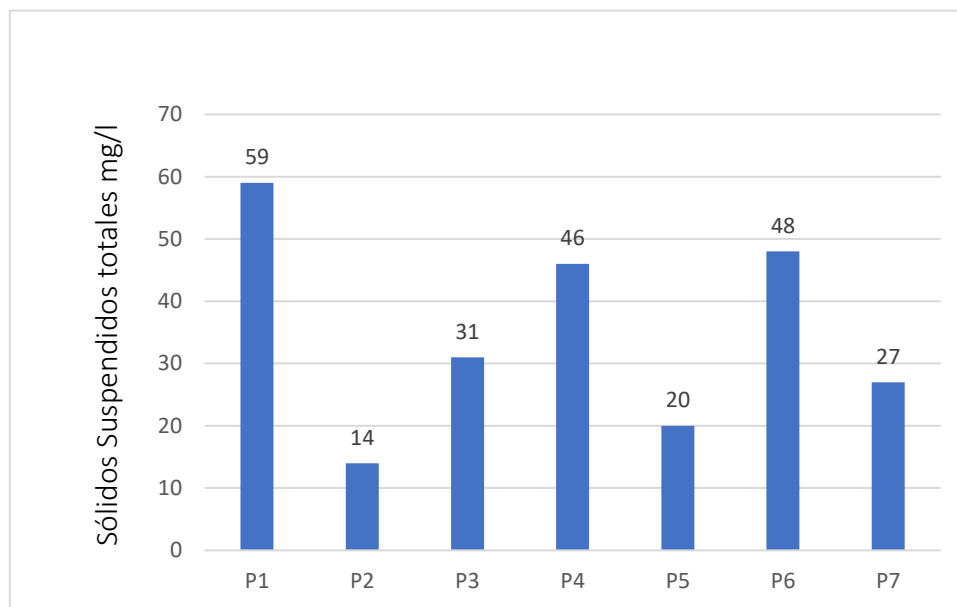
**Sólidos totales disueltos (TDS).** Las fuentes primarias de sólidos disueltos en las aguas receptoras son la escorrentía agrícola y urbana, las aguas que proceden de las montañas y la que viene de la lixiviación de la contaminación del suelo.



*Figura 24: Valores de los sólidos disueltos totales en los puntos de muestreo.*

Estos sólidos se corresponden principalmente con minerales y sales (como calcio, magnesio, potasio, sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos) y en menor proporción de materia orgánica. Las cantidades de sólidos totales disueltos obtenidas (ver Figura 24) fueron muy similares en todos los puntos de muestreo. El mayor valor se encontró en el punto 2 del área de estudio y presentó una concentración de 28,5 mg/L. Este punto puede ser el de mayor contaminación de materia orgánica que existe en la zona debido a su proximidad a la zona poblada, así como a la erosión hídrica causada por la corriente del cuerpo de agua y los sólidos desprendidos de los sedimentos del manglar. El hecho de que la salinidad y conductividad eléctrica en este punto no fuera muy elevada, parece indicar un carácter mayoritariamente orgánico de estos sólidos disueltos totales. El punto 5 tiene un valor cercano al anterior (27,4mg/L). Esta es una zona fuertemente influenciada por las camaroneras, donde la salinidad y conductividad eléctrica fueron mayores, lo que apuntaría al carácter iónico inorgánico de los sólidos disueltos totales determinados en este punto. Es importante mencionar que, para el parámetro de sólidos disueltos totales, no se ha establecido un criterio de calidad para estuarios en la normativa ecuatoriana.

**Sólidos suspendidos totales.** Este parámetro es utilizado para determinar cuantitativamente sustancias que no son capaces de disolverse en una muestra líquida, lo que incluye los elementos orgánicos e inorgánicos. Los sólidos suspendidos totales son los que se retienen en un filtro estandarizado.

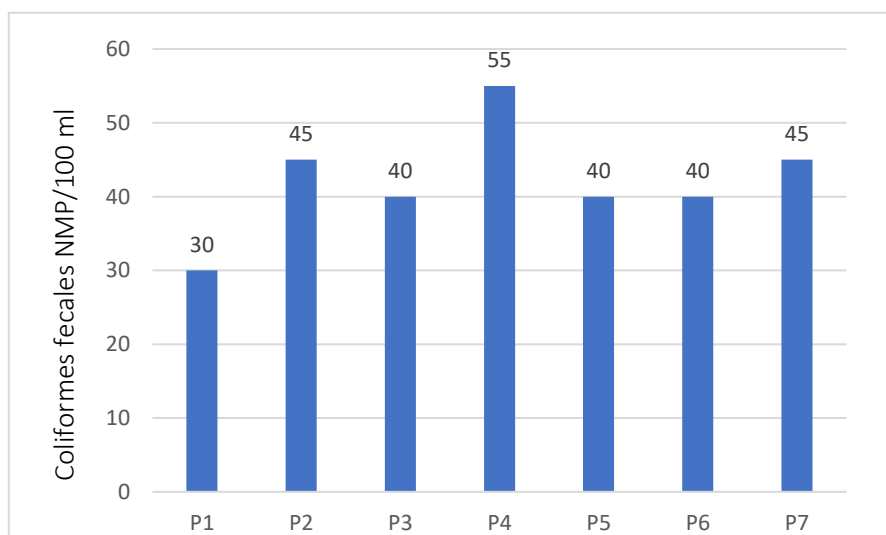


*Figura 25: Concentraciones de los sólidos suspendidos totales en los puntos de muestreo.*

En nuestro muestreo cabe señalar que los puntos con mayores niveles de sólidos totales disueltos son los que presentaron valores inferiores de sólidos suspendidos totales, lo que apunta a un origen muy diferente de unos y otros (ver Figura 25). En este caso, sólidos suspendidos totales, los valores más elevados corresponden al punto 1, situado en las proximidades de la desembocadura del Río Chone, por lo que este sería la fuente más importante, ya que arrastraría una cantidad importante de sólidos insolubles como consecuencia de la erosión de la cuenca fluvial. En el punto 6 la fuerte corriente de la zona podría provocar turbulencias responsables de resuspender partículas procedentes del fondo del estuario, así como el mayor tránsito de lanchas en el punto 4 ocasionaría el mismo fenómeno.

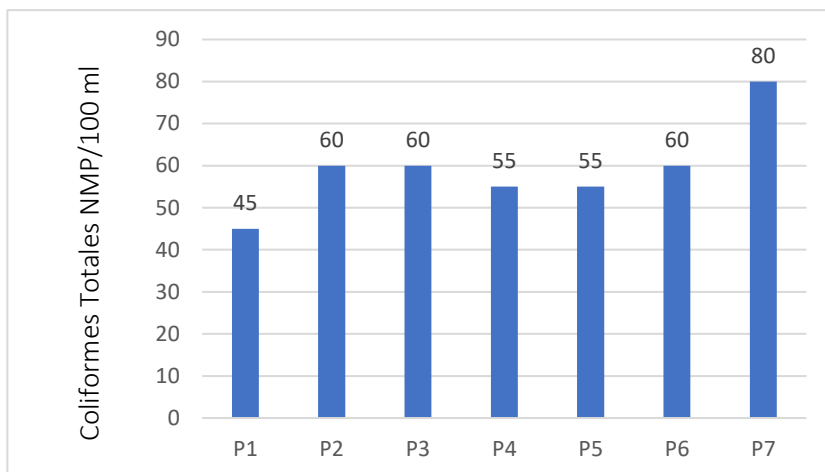
Este parámetro no se encuentra definido en la legislación de los criterios de calidad admisibles de la vida acuática en aguas marinas y estuarios resumida en el Anexo 2.

Las **coliformes** son una familia de bacterias que normalmente se encuentran en el suelo, animales y plantas, sin excluir a los humanos. La detección de la presencia de estas bacterias en el agua es un indicador de que se encuentra contaminada por desechos en estado de descomposición o aguas negras. Por lo general, se encuentran en la capa superficial del agua y en los sedimentados del fondo (Munn, 2004). La relación entre los coliformes fecales y totales sirve para determinar si la contaminación del agua es humana o animal. Si la mayoría de los coliformes son del tipo fecal en comparación con los coliformes totales, es probable que la contaminación provenga principalmente de fuentes fecales de origen humano. Por otro lado, si los coliformes totales son predominantes en comparación con los coliformes fecales, la contaminación podría tener un origen más diverso, incluyendo fuentes animales. En las figuras 26 y 27 se representan los resultados obtenidos en la determinación de los coliformes fecales y totales respectivamente.



**Figura 26:** Concentración de los coliformes fecales en los diferentes puntos de muestreo.

El valor más alto de coliformes fecales se obtuvo en el punto 4, lo que podría estar relacionado con diversos factores. Por una parte, la corriente podría traer coliformes provenientes de las descargas de aguas residuales de las zonas pobladas próximas al punto 2 y, por otra, este punto es el más cercano al punto de vertido de las aguas procedentes de la depuradora de la bahía de Caráquez (ver figura 5). De hecho, el punto 2, junto con el 7, serían los siguientes en cuanto al nivel de coliformes registrado. No hay un criterio de calidad establecido para estuarios en la legislación ecuatoriana (Anexo 2), pero cabe señalar que no se supera el Criterios de calidad de aguas para fines recreativos mediante contacto primario establecido por la legislación ecuatoriana, y que es de 200 NMP/100mL.

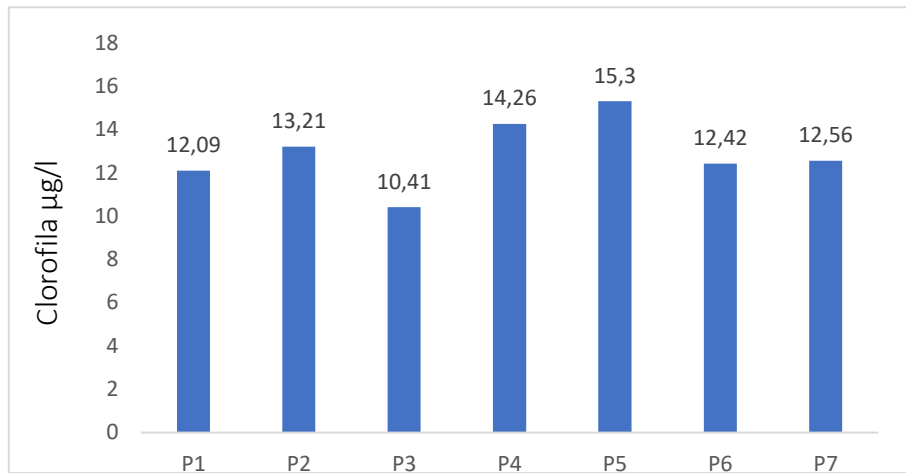


*Figura 27: Concentración de los coliformes totales en los diferentes puntos de muestreo.*

En cuanto a los coliformes totales el valor más alto se dio en el punto 7 con 80NPM/100 ml, donde es posible que se produzca una acumulación de los mismos, que podrían proceder de las camaroneras cercanas y de la zona poblada. En ningún punto se sobrepasan los 2000NPM/ 100 mL, establecidos como límites máximos permisible para aguas destinadas a fines recreativos mediante contacto primario (ver anexo 3).

Por otra parte, si comparamos los valores de coliformes fecales y totales, vemos que la contribución de los primeros es muy importante, lo que indica un claro aporte de aguas residuales de las viviendas que carecen de tratamiento adecuado.

La **Clorofila** es otro parámetro de gran importancia en la determinación de las características y la condición del agua (Desortová, 2007). La clorofila es un pigmento fotosintético presente en el fitoplancton que tiene como característica una coloración verdosa. Permite estudiar la actividad microbiológica ya que es un indicador natural de la producción primaria, habiendo una correlación entre la cantidad de clorofila y la cantidad de biomasa que hay en el agua. Es un excelente indicador de la contaminación por nutrientes; el fitoplancton en el agua siempre está presente, pero en las épocas en las que el sol es más fuerte, los sedimentos que aportan las aguas dulces son más ricos en nutrientes lo que hace que las concentraciones de fitoplancton sean mayores (Álvarez, 2012).



*Figura 28: Concentración de la clorofila en los diferentes puntos de muestreo*

La mayor concentración de clorofila en el área de estudio se dio en el punto 5 (ver Figura 28). Este punto es el que presentó niveles mayores de fosfato y nitrato, dos importantes nutrientes que favorecen la proliferación de algas, lo que explica la mayor profusión de clorofila.

Al igual que en el caso de los lagos y embalses, no existe un acuerdo generalizado sobre cuál es el mejor indicador para utilizar en la evaluación de lo que constituye un 'crecimiento molesto' de algas en estuarios o aguas costeras. Mos y col. (1987) recomendaron límites en las concentraciones de clorofila-a para controlar floraciones de fitoplancton; el límite sugerido fue un percentil noventa inferior a 15 µg/L de clorofila-a.

El **mercurio (Hg)** se ha usado desde la era antigua por el hombre y actualmente se emplea en varias industrias y productos. Zambrano (2017) manifiesta que el mercurio es un elemento con toxicidad elevada para la biota y los seres vivos y capaz de alterar la cadena trófica y la salud humana. En los últimos cien años ha aumentado su concentración en el ambiente. Es bioquímicamente activo, bioacumulable y destaca por su persistencia en el medio ambiente.

La ingestión de este elemento es perjudicial para los peces, crustáceos y animales piscívoros. Además, la exposición humana al mercurio puede causar irritación de la piel, obstrucción de las vías respiratorias y dosis bajas de mercurio pueden causar debilidad, pérdida de peso, diarrea, insomnio y fatiga, entre otras cosas (Villacis, 2017). Villacis (2017) afirma que el aumento de la salinidad puede aumentar la migración de metales, ya que los cationes Na y K pueden reemplazar a los metales pesados en los sitios de intercambio catiónico, mientras que los aniones cloruro y sulfato pueden formar compuestos más estables. Esto significa que la presencia de metales pesados en los estuarios cobra más importancia.

El mercurio una vez liberado a estuarios y ecosistemas marinos se transforman en metilmercurio un agente contaminante que es bioacumulable por peces y mariscos incorporándose en la cadena trófica.

En la Figura 29 se muestran las concentraciones de Hg en las muestras de agua en las diferentes áreas de la REVISICOF. Aunque no hay grandes diferencias en los valores obtenidos, se observa que los puntos 4, 5 y 7 mostraron los valores más elevados de mercurio (0,9 µg/L). Lo más destacable es que todos los puntos sobrepasan ampliamente el valor fijado en los Criterios de Calidad admisibles para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas y en aguas marinas y de estuario fijados por la normativa ambiental de Ecuador de 0,1 µg/L (Anexo 2), lo que resulta preocupante.

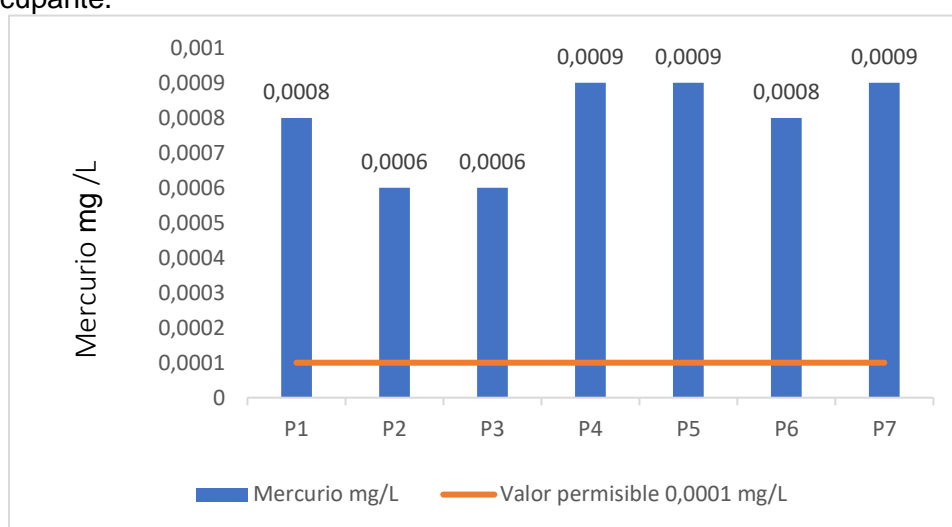


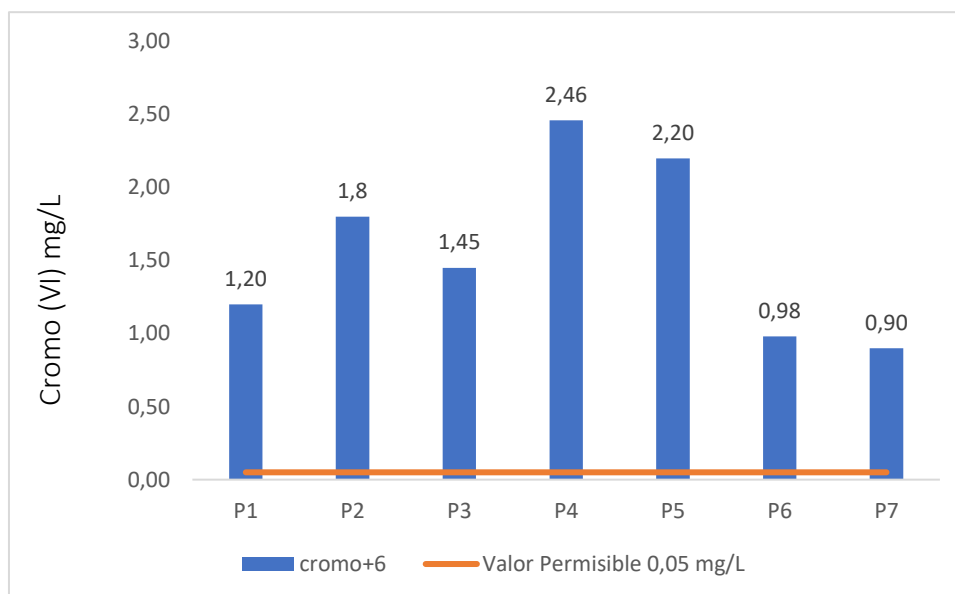
Figura 29: Concentración del Mercurio en puntos de muestreo y valor permisible según la legislación ecuatoriana.

Marín (2016) ya menciona que, aunque los agroquímicos que contienen Hg fueron prohibidos en Ecuador en 2005, dada su persistencia este puede seguir estando presentes y su registro es fundamental.

Molina y col. (2019) realizaron estudios de las raíces de los manglares para evaluar su capacidad para absorber metales pesados, en concreto mercurio. Los autores afirman que la acumulación del mercurio es mayor en raíces absorbentes. Esto parece demostrar la capacidad absorbente por parte de los manglares, que podrían actuar como un filtro natural para eliminar de metales pesados. En nuestro caso las concentraciones más bajas de Hg no se obtuvieron en las zonas centrales o posteriores al manglar.

El **chromo** es un elemento que ha sido identificado tanto como un micronutriente esencial, como un agente carcinogénico, dependiendo de su forma química (Katz, 1994), siendo el cromo (VI) la especie más nociva para la salud. Se puede encontrar en

las aguas residuales que provienen de una gran variedad de actividades industriales, además de estar presente en fungicidas. Estas actividades pueden dar lugar a descargas incontroladas de cromo a los cuerpos de agua o a través de la planta de tratamiento de aguas residuales municipales de Bahía de Caráquez que descarga en el estuario en las proximidades del punto 4, el que presentó valores más elevados, como se muestra en la figura 30.



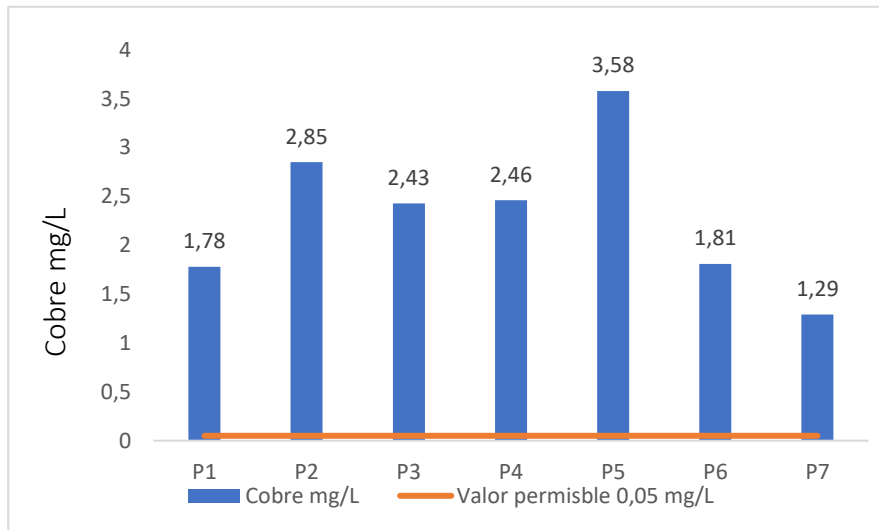
*Figura 30: Concentraciones del cromo (VI) en puntos de muestreo y valor permisible en la normativa ecuatoriana.*

No obstante, todos los puntos sobrepasaron el límite máximo permisible 0,05 mg/L de cromo total según la normativa ecuatoriana para aguas marinas y de estuarios (Anexo 2), lo que indica que este metal pesado es muy preocupante en la zona.

El **cobre** es un elemento traza que es esencial para la vida ecosistémica. Forma parte de la estructura de más de 30 enzimas y moléculas tales como hidrolasas, oxidasas, homocianina, metalogonias, etc (Harris, 1991). Sin embargo, a dosis altas el cobre es tóxico para los organismos, provocando considerables alteraciones fisiológicas e histopatológicas, y su efecto depende mucho de la especie y la concentración.

A la vista de la Figura 31, se determina que ninguno de los puntos muestreados cumple con la legislación ecuatoriana, en la que el límite máximo permisible de cobre en aguas de estuario es de 0,05 mg/L (ver Anexo 2). El sulfato de cobre es empleado como alguicida, lo que podría explicar su origen en la zona, ya que podría estar siendo usado por las camaroneras.





**Figura 31:** Concentración de cobre en los puntos de muestreo.

Respecto a la distribución de los metales en la zona de estudio, se observa, tanto para el cobre como para el cromo (VI), que las concentraciones más bajas se sitúan en las zonas próximas a los manglares (puntos 6 y 7) y en el agua que llega del río Chone (punto 1). Esto concordaría con el efecto filtrante que se ha atribuido a esta vegetación, y a que el agua se va contaminando al entrar en el estuario por las actividades que se desarrollan en él, especialmente la camaronera (ver Figuras 30 y 31).

Los elevados niveles de metales pesados obtenidos, coinciden con lo observado por otros autores en diversos estuarios y manglares de Ecuador, como ya se comentó en la sección 4.1, así como otros estudios realizados en las piscinas de camaroneras (Villacis, 2017). El estudio realizado en este trabajo incluye únicamente el estudio de la calidad del agua, aunque sería aconsejable, en el futuro, extenderlo a otros medios, como los sedimentos y el propio mangle, además de incrementar el número de puntos de estudios y ampliarlo en el tiempo. Respecto a las propiedades físicas y químicas de los sedimentos que se encuentran asociados con los manglares, se sabe que sirven como sumideros (Sundararajan y Natesan, 2010). Por ello, el estudio del mecanismo de acumulación de metales pesados en los sedimentos cobra cada vez más importancia (Botté ., 2010). Sin embargo, esta función de sumidero, tiene sus limitaciones, ya que altas concentraciones de metales pesados pueden tener impactos negativos en la eficiencia de los manglares y en los organismos que dependen de ellos.

## 5. Conclusiones

Los resultados de los análisis realizados en este estudio han aportado información valiosa del REVISICOF. Sin embargo, es preciso señalar que los resultados corresponden a un único muestreo y, por tanto, reflejan la situación de un momento puntual, con las limitaciones que ello conlleva. No obstante, hay algunos aspectos que han quedado patentes como resultado del estudio, destacándose a continuación aquellos que consideramos más relevantes.

- Se ha puesto de manifiesto que el principal problema en el área del refugio son las elevadas concentraciones de metales pesados, en concreto, los metales analizados fueron mercurio, cromo (VI) y cobre. Una vez revisada la normativa ecuatoriana, los valores presentes no cumple con los criterios de calidad para la preservación de la flora y fauna en aguas marinas y de estuario. Estos resultados coinciden con los obtenidos por otros autores en diversos manglares de Ecuador, mostrándose este como un problema recurrente en el país.
- Aunque el resto de parámetros se encuentran en valores que se pueden considerar normales o aceptables, hay que destacar la acumulación de residuos sólidos, en especial envases de agroquímicos procedentes de las áreas de actividad agrícola de la zona, la tala descontrolada de manglares, las granjas camaroneras y su constante vertiente de aguas residuales, todos ellos factores que han alterado la diversidad del ecosistema y su salud.
- La revisión bibliográfica realizada muestra la falta de información disponible sobre la calidad de las aguas de los manglares ecuatorianos y, en concreto, sobre el REVISICOF. Es necesario impulsar líneas de investigación que ayuden a conocer el estado real de la zona y a establecer el origen de los metales pesados, así como el efecto de estos sobre los organismos que viven en él, tales como cangrejos, conchas y peces que, además, son consumidos por el ser humano. También es importante estudiar el efecto de los metales pesados sobre los propios manglares, ya que se sabe que estos pueden acumular los metales pesados.
- Para diseñar estudios futuros, sería recomendable incrementar el número de muestreos, tanto en el espacio como en el tiempo, para determinar posibles variaciones estacionales y establecer, con mayor precisión la fuente de cada contaminante. Así mismo, sería recomendable ampliar el estudio a otros metales pesados y complementar los resultados con el análisis de sedimentos y biota.

Un estudio eco-toxicológico permitiría analizar la interacción entre los metales y la fauna y flora.

- Estableciendo los ODS del 2030 en relación al trabajo realizado; Proteger nuestros océanos debe seguir siendo la misión más importante. La biodiversidad costera y marina es vital para la salud de las personas y de nuestro planeta, también complementar la gestión sostenible de la pesca, la acuicultura y el turismo.

## 6 Bibliografía

- Álvarez, I. L. (2012). Analysis of chlorophyll a concentration along the Galician coast: seasonal variability and trends. *seasonal variability and trends. ICES Journal of Marine Science*, 69(5), 728-738.
- Ministerio del Ambiente (2014). *Plan de manejo Refugio de Vida Silvestre Isla Corazón y Fragata*. Ministerio del Ambiente, Portoviejo. Obtenido de <http://maetransparente.ambiente.gob.ec/documentacion/Biodiversidad/Documentos/PLAN%20DE%20MANEJO-%20REVISICOF-02-09-2014-ACTUALIZADO.pdf>
- Ministerio del Ambiente (2017). *TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DE MEDIO AMBIENTE*. Quito. Obtenido de <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/TULSMA.pdf>
- C. Baird, Química ambiental. España: Reverté, S.A, 2001.
- Brito, J. (2010). *estudio de impacto ambiental para actividades turísticas propuestas en el plan de interpretación ambiental para el refugio de vida silvestre isla corazón y fragatas ubicado en el cantón sucre en la provincia de Manabí*. Quito. Obtenido de [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/1643/1/43281\\_1.pdf](chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/1643/1/43281_1.pdf)
- BOE (2015). *Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental*. Obtenido de <https://www.boe.es/boe/dias/2015/09/12/pdfs/BOE-A-2015-9806.pdf>
- Bruno, K. (2019). *Evaluación de potencial de captura de carbono por la especie (Rhizophora mangle) mediante ecuaciones alométricas en el refugio de vida silvestre manglares del estuario río Esmeraldas*. Universidad Agraria, Guayaquil.
- Botté, S., & Freije, R. a. (2010). Distribution of Several Heavy Metals in Tidal Flats Sediments within Bahía Blanca Estuary (Argentina). *Water Air Soil Pollut.*, 210, 371-388.
- Colman R., D. G. (1991). *Assessment of indicators, data and environmental monitoring programs for Victorian coastal and marine environments*. Report to the Commissioner for the Environment by the Victorian Institute of Marine Sciences, Virginia.
- Ciencias Ambientales. (2004). *Determinación de fosfatos en aguas por espectrofotometría*. Universidad Pablo de Olavide. [En línea]. España, Sevilla. Obtenido de <https://www.upo.es/depa/webdex/quimfis/docencia/TAQ/curso0304/guiones0304.pdf>
- Cruz, C. (2022). *Plan de manejo de visitante Revisicof*. San Vicente.
- Delgado, M. (2014). *Fuentes de contaminación y calidad de agua en un tramo del estuario del río Chone, Bahía de Caráquez -2014*. Guayaquil. - <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/11697/1/TESIS%20Johnny%20Delgado%20M.%20%2821-07-16%29.pdf>

- Diaz, J. (2012). *Plan de accion del Biocorrector Estuario del Rio Chone Islas Corazon y Fragatas* . Obtenido de <https://docplayer.es/14827751-A-c-b-i-o-estuario-del-rio-chone-islas-corazon-y-fragatas-la-segua.html>
- Duke, N. M.-G. (2007). A world without mangroves? *Science*, 317, 41-42.
- ECHEVERRÍA, K. (2019). “*Metales pesados en agua, sedimentos y raíces de rhizophora mangle de la reserva ecológica manglares cayapas mataje, Provincia de Esmeraldas.*”. Ibarra. Obtenido de <https://dspace.pucesi.edu.ec/bitstream/11010/569/1/1%e2%80%9cMETALES%20PESADOS%20EN%20AGUA%2c%20SEDIMENTOS%20Y%20RA%c3%8dCES%20DE%20Rhizophora%20mangle%20DE%20LA%20RESERVA%20ECOL%c3%93GICA%20MANGL.pdf>
- Ecuador. (2007). *Revisión y actualización de la norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: RECURSO AGUA*. Quito. Obtenido de <https://www.cip.org.ec/attachments/article/1579/PROPUESTA%20ANEXO%201.pdf>
- Agencia de protección Ambiental de Estados Unidos . (2022). *EPA En español*. Obtenido de <https://espanol.epa.gov/espanol/los-estuarios>
- Gillbricht, M. (1988). Phytoplankton and nutrients in the Helgoland region. *Helgoländer Meeresuntersuchungen*, 42
- Goncalves, M. (2007). *Avicennia schaueriana, Laguncularia racemosa e Rhizophora mangle como bioindicadoras de poluição por metais pesados em ambientes de mangues*. *Eng. Sanit. Ambient*, 12, 440–445.
- González, L. (2013). *Nitrógeno amoniacal, importancia de su determinacion*. Obtenido de <file:///C:/Users/CDM%20JV/Downloads/334-Texto%20del%20art%C3%ADculo-482-1-10-20160721.pdf>
- Harris, E. (1991). Copper Transport: An overview. *Proc. Soc Med.*, 192, 139-140.
- Holguin, G. (2007). Microbiología del manglar y técnicas moleculares para su estudio. *Potencial Biotecnológico de microorganismos en ecosistemas naturales y Agroecosistemas*, 101, 94 -103.
- Inamhi. (2017). *Red de estaciones hidrológicas convencionales*. Quito. Obtenido de [https://www.inamhi.gob.ec/gisweb/TIPO\\_DE\\_CLIMAS/JPEG/TIPOS\\_CLIMA\\_ECUADOR\\_2017.jpg](https://www.inamhi.gob.ec/gisweb/TIPO_DE_CLIMAS/JPEG/TIPOS_CLIMA_ECUADOR_2017.jpg)
- Jiménez, R. y. (2012). Afectaciones a la calidad del agua en producto de la minería aurífera ilegal. *Primer Seminario Científico Internacional Medioambiente Economía y Desarrollo*. Obtenido de <https://doi.org/10.13140/2.1.4153.0563>
- Juarez, N. d. (2017 ). *Que es la conductividad* . HACH COMPANY . Obtenido de [https://latam.hach.com/cms-portals/hach\\_mx/cms/documents/Que-s-la-conductividad-Final.pdf](https://latam.hach.com/cms-portals/hach_mx/cms/documents/Que-s-la-conductividad-Final.pdf)
- KATZ, S. A. (1994). *The biological and environmental chemistry of chromium*. New York. Obtenido de <https://efaidnbnmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://digital.csic.es/bitstream/10261/35521/1/Cromo%20en%20Jarama%2c%20Limnetica%202003%20%2822%29%2087-100.pdf>

- Luque, M. (2003). *Isla Corazon*. Portoviejo. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/80026438/DATOS-ISLA-CORAZON>
- Marín, A. G. (2016). Mercury levels in sediments from the coast of El Oro. *Gayana*, 80(2), 147–153. Obtenido de <https://doi.org/10.4067/S0717->
- Ministerio de agricultura, g. a. (2017). *Camaroneras registradas y aprobadas*. Quito. Obtenido de [https://www.institutopesca.gob.ec/wp-content/uploads/2014/05/ACTUALIZA\\_CAMARONERAS\\_18AGOSTO2017.pdf](https://www.institutopesca.gob.ec/wp-content/uploads/2014/05/ACTUALIZA_CAMARONERAS_18AGOSTO2017.pdf)
- Molina, E. (2019). Mercurio en raíces aéreas y absorbentes de rhizophora mangle l. localizada en el litoral costero de la provincia de el Oro, Ecuador. *Int. Contam. Ambient*, 35(4). Obtenido de [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-49992019000400807](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992019000400807)
- Moss, A. (1987). *Studies of the trophic status of sub-tropical Queensland estuaries*. Dept Local Government, Brisbane,, Water Quality Section, Queensland.
- Munn, C. (2004). *Marine Microbiology: ecology and applications*. BIOS Scientific Publisher.
- Muyulema-Allaica, J., Canga-Castillo, S., & Pucha-medina, P. y.-R. (2021). Evaluación de la contaminación por metales pesados en suelos de la Reserva Ecológica de Manglares Cayapas Mataje (REMACAM)-Ecuador. *int. investig. innov. tecno*, 7(41), 40-61. Obtenido de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-97532019000600003](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-97532019000600003)
- Ovacen. (10 de septiembre de 2020). *Ecosistema*. Obtenido de <https://ecosistemas.ovacen.com/bioma/manglar/>
- Pernía, B., Mero, M., Cornejo, X., & Zambrano, J. (2019). Impactos de la contaminación sobre los manglares de Ecuador. *researchgate*. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/337424161>
- Pozo, F. (2017). Presencia de metales pesados cadmio y plomo en el estuario del rio Chone Manabi, Ecuador. *Revista Ciencia Unemi*, 10(24), 123-130. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6430728>
- Roldan G, R. J. (2008). *Fundamento de Limnología neotropical*. Medellín: Universidad de Antioquia. Obtenido de <https://repositorio.accefyn.org.co/bitstream/001/71/1/ACCEFVN-AC-spa-2008-Fundamentos%20de%20limnolog%C3%ADa%20neotropical.pdf>
- Romero Aguilar, M. C. (2009). Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 25 (3).
- Sharma, A. G. (2017). impacto del vertido a cielo abierto de residuos sólidos urbanos en las propiedades del suelo en región montañosa. *Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Tecnología de la Información de Jaypee*.
- Sundararajan, M. a. (2010). Environmental geochemistry of core sediments from Serthalaikkadu Creek East coast of India. *Environ Earth Sci*, 493–506. Obtenido de .Doi: 10.1007/s12665-010-0542-2.

- Swiss, J. (1984). *The effects of heated effluents on marine water quality*. Department of the Environment/Department of Fisheries and Oceans/Department of Environment/Department of Fisheries and Oceans/Department of, Ottawa
- Tenelema Chango, W. G. (2016). *Impacto ambiental en el cuerpo receptor de los efluentes de la camaronera Cayancas*. Guayaquil. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/15290>
- Tenelema Chango, W. G. (2016). *Impacto ambiental en el cuerpo receptor de los efluentes de la camaronera Cayancas*. Guayaquil. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/15290>
- Villacis, J. (2017). *Determinación de metales pesados (cadmio, plomo, mercurio y cromo) en sedimentos de piscinas camaroneras ubicadas en la comuna de Puerto Roma de la Provincia del Guayas.*. Guayaquil. <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/54544/1/D-76584%20Villacis%20Tagle%2c%20Jorge.pdf>
- Zambrano, R. G. (2017). El mercurio y sus consecuencias en la salud. *Revista Fuente Nueva Época*, 5(17).



El presente TFG está muy relacionado con los siguientes Objetivos de desarrollo sostenible (ODS):

**ODS 1 Salud y bienestar:** El TFG está estrechamente vinculado con la salud y bienestar, ya que la calidad del agua afecta a la salud de las personas que viven en este entorno, y que se abastecen y usan el agua del estuario para diferentes usos, además de realizar actividades de pesca, etc.

**ODS 6 Agua limpia y saneamiento:** La identificación de contaminantes en el agua es imprescindible para determinar la calidad del agua y poder emprender acciones para su mejora.

**ODS 13 Acción por el clima:** Los manglares actúa como una protección contra los desastres naturales, ya que contrarresta de forma natural las inundaciones y la erosión de las áreas costeras, siendo por tanto fundamental su protección.

**ODS 14 Vida submarina:** La conservación de la biodiversidad costera y marina tiene un alto grado de relación con el TFG realizado, ya que las aguas del estuario desembocan directamente al mar.

**ODS 15 Vida de ecosistemas terrestres:** La calidad del agua del estuario influye en los ecosistemas terrestres circundantes, especialmente en los manglares, que sostienen una gran biodiversidad.

Además de los anteriores, aunque en un grado inferior, se relaciona con los siguientes ODS:

**ODS 8 Trabajo decente y crecimiento económico:** La actividad camaronera, junto con la actividad turística, representan los dos principales pilares económicos de la zona en estudio, por lo que la calidad del agua del estuario que las alimenta resulta fundamental para determinar el crecimiento económico de la zona.

**ODS 10. Reducción de las desigualdades.** La baja calidad del agua de la zona, repercute en la pobreza del entorno, además de poder ser causa de diversas enfermedades, en una población ya de por sí empobrecida y que no puede acceder a un sistema sanitario adecuado. Todos estos factores dan lugar a importantes

desigualdades entre los habitantes de esta zona frente a otras que presenten mayor calidad.

**ODS 12. Producción y consumo responsables.** La presencia de contaminantes procedentes de diversas actividades antropogénicas y de residuos sólidos en la zona, principalmente provenientes del uso de agroquímicos, resulta altamente perjudicial para la zona. Es necesario un uso responsable de este tipo de productos para proteger la zona del REVISICOF.

**ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles.** Para que la comunidad que rodea la zona del REVISICOV sea sostenible, necesita poder tener acceso a un agua de calidad, de la que poder extraer recursos como la pesca u otros sin el peligro de contraer enfermedades.

**ODS 17. Alianzas para lograr objetivos.** Como ha quedado de manifiesto en el TFG, es necesaria la actuación conjunta de todos los agentes implicados (Ministerio, camaroneros, habitantes de la zona, personal del REVISICOF) para preservar este entorno natural.