

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar

Análisis físico químico y microbiológico del agua del estuario La Boquita-Valdivia durante la temporada de lluvias del año 2023 orientado al cuidado y preservación del recurso.

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Oceanográfico

Presentado por:

Loyda Damaris Torres Cedeño

Guayaquil - Ecuador

Año: 2023

Dedicatoria

El presente trabajo se lo dedico en primer lugar a mi primer amor, Dios, el centro de mi vida.

A mi yo de las incontables noches de aflicción que tuvo que hacer a un lado los “no puedes”, “en tus sueños”, “no tienes la capacidad”, para tomar valor, no rendirse y continuar durante este largo pero forjado camino lleno de valiosas experiencias y aprendizajes constantes.

A mis padres Roberto y Mirian por nunca dejar de creer en mí y apoyarme constantemente y a mi “Mami del Triunfo” que sé que amaría ver a su cachorrita brillar.

.

Agradecimientos

Mis agradecimientos infinitos a Dios, a mis padres y a mi familia por el soporte diario durante este duro camino.

A mi cómplice y amiga Tanya porque sin su magia inestimable y su colaboración este trabajo no hubiese sido posible.

Al Dr. Franklin Ormaza por la guía brindada durante la realización del presente trabajo.

A la Msc. Pamela Campi, Ing. Rafael Gonzáles e Ing. Elvis Espinoza por su apoyo y los conocimientos brindados.

Y finalmente, a todos los que pusieron su granito de arena para que este proceso fuera más llevadero.

Declaración Expresa

Yo Loyda Damaris Torres Cedeño acuerdo y reconozco que la titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, información no divulgada y cualquier otro derecho o tipo de Propiedad Intelectual que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada durante el desarrollo de su trabajo de titulación, incluyendo cualquier derecho de participación de beneficios o de valor sobre titularidad de derechos, pertenecerán de forma total, perpetua, exclusiva e indivisible a LA ESPOL, sin limitación de ningún tipo. Se deja además expresa constancia de que lo aquí establecido constituye un “previo acuerdo”, así como de ser posible bajo la normativa vigente de transferencia o cesión a favor de la ESPOL de todo derecho o porcentaje de titularidad que pueda existir.

Sin perjuicio de lo anterior los alumnos firmantes de la presente declaración reciben en este acto una licencia de uso gratuita e intransferible de plazo indefinido para el uso no comercial de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada durante el desarrollo de su trabajo de titulación, sin perjuicio de lo cual deberán contar con una autorización previa expresa de la ESPOL para difundir públicamente el contenido de la investigación, desarrollo tecnológico o invención.

Así también autorizamos expresamente a que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra o invento, por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual.

Guayaquil, 08 de septiembre del 2023.



Loyda Damaris Torres
Cedeño

Evaluadores



Firmado electrónicamente por:
FRANKLIN
ISAAC
ORMAZA
GONZALEZ

Ing. Jorge Espinoza

Profesor de Materia

Dr. Franklin Ormaza

Tutor de proyecto

Resumen

Los estuarios son cuerpos de agua importantes para el desarrollo de un sin número de especies acuáticas y terrestres e inclusive del ser humano ya que brinda un sin número de servicios ecosistémicos, sin embargo, no reciben la atención suficiente respecto a su calidad o a su preservación, mucho menos si estos son más pequeños de lo habitual. El presente trabajo presenta la primera caracterización y análisis de calidad del agua del estuario La Boquita, ubicado en la comuna Valdivia, Santa Elena, Ecuador, lo que será una línea base para futuras investigaciones de cuerpos de agua semejantes, así como también de información para la toma de acciones en pro del cuidado y preservación del mismo. Estas instrucciones servirán de guía para la preparación de los trabajos que se presentarán como requisito en el proceso de graduación de la Materia Integradora de la Unidad Académica. Se analizaron 11 parámetros entre químicos, físicos y microbiológicos empleando metodologías establecidas por EPA Y APHA, los cuales fueron comparados con rangos permisibles la normativa vigente TULSMA y trabajos científicos referenciales. Los resultados mostraron valores por fuera de los rangos establecidos para amonio, fosfato y oxígeno disuelto, evidenciando contaminación en el cuerpo de agua.

Palabras Clave: contaminación, hábitat, calidad del agua, monitoreo, conservación

Abstract

Estuaries are important bodies of water for the development of a number of aquatic and terrestrial species and even of the human being since it provides a number of ecosystem services, however, they do not receive sufficient attention regarding their quality or their preservation, much less if these are smaller than usual. The present work presents the first characterization and analysis of water quality of the La Boquita estuary, located in the Valdivia commune, Santa Elena, Ecuador, which will be a baseline for future investigations of similar water bodies, as well as information for taking actions for the care and preservation of it. These instructions will serve as a guide for the preparation of the works that will be presented as a requirement in the graduation process of the integrating subject of the Academic Unit. 11 parameters were analyzed between chemical, physical and microbiological using methodologies established by EPA And APHA, which were compared with allowable ranges the current TULSMA regulations and scientific referential works. The results showed values outside the established ranges for ammonium, phosphate and dissolved oxygen, evidencing contamination in the water body.

Keywords: *contamination, habitat, water quality, monitoring, conservation*

Índice general

Resumen.....	I
Abstract.....	II
Índice general.....	III
Abreviaturas.....	VI
Simbología.....	VII
Índice de figuras.....	VIII
Índice de Tablas.....	IX
Capítulo 1.....	1
1. Introducción.....	2
1.1 Descripción del problema.....	2
1.2 Justificación del problema.....	3
1.3 Objetivos.....	4
1.3.1 <i>Objetivo General</i>	4
1.3.2 <i>Objetivos Específicos</i>	4
1.4 Marco Teórico.....	5
1.4.1 <i>Estuario</i>	5
1.4.2 <i>Clasificación de Estuarios</i>	6
1.4.3 <i>Características físico-químicas y biológicas de un estuario</i>	7
1.4.4 <i>Calidad de agua</i>	10
1.4.5 <i>Estado del arte</i>	10
Capítulo 2.....	12
2. Metodología.....	13
2.1 Área de estudio.....	14
2.2 Reconocimiento del área de estudio.....	15
2.2.1 <i>Tipo de Estuario</i>	15

2.2.2	<i>Flora y Fauna</i>	16
2.2.3	<i>Población y Principales Actividades Desarrolladas en el Área de Estudio</i> 16	
2.3	Definición de Parámetros	18
2.4	Muestreo y análisis de laboratorio.....	19
2.4.1	<i>Parámetros “in situ”</i>	21
2.4.2	<i>Muestras de agua</i>	21
2.4.3	<i>Análisis de laboratorio</i>	22
2.5	Establecimiento de datos base	23
2.6	Análisis de posibles escenarios	24
2.7	Diseños conceptuales de solución propuestos	24
2.8	Propuesta seleccionada: Elaboración de un plan de monitoreo de estuarios 25	
2.8.1	<i>Criterios de selección</i>	25
Capítulo 3.....		27
3.	resultados y análisis	28
3.1	Tipo de Estuario	28
3.2	Establecimiento de datos bases.....	30
3.2.1	<i>Parámetros in situ</i>	30
3.2.2	<i>Nutrientes y clorofila a</i>	32
3.2.3	<i>Microbiológico: Coliformes totales y E. coli</i>	34
3.2.4	<i>Caracterización física-química y microbiológica del estuario La Boquita.</i> 35	
3.2.5	<i>Calidad del agua</i>	36
3.3	Análisis de posibles escenarios en virtud de parámetros alterados en el estuario La Boquita	37
3.4	Elaboración de un plan de monitoreo de estuario permanente. Caso de estudio: La Boquita	38

Capítulo 4.....	83
4. Conclusiones y Recomendaciones	84
4.1 Conclusiones.....	84
4.2 Recomendaciones	87
Referencias	89
Apéndices	93

Abreviaturas

ESPOL Escuela Superior Politécnica del Litoral

NOAA National Oceanic and Atmospheric Administration

RAMSAR Convención sobre los Humedales

APHA American Public Health Association

CSA Centro de Servicios para la Acuicultura

HACH HACH Company

TULSMA Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente

Simbología

DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
DO	Oxígeno disuelto
pH	Potencial de Hidrógeno
ug/L	Microgramo por litro
NMP/mL	Número Más Probable de colonias por mililitro
μM/L	Micromoles por litro
mg/L	Miligramo por litro
°C	Grados centígrados
m	Metros
psu	Power Supply Unit
NH ₄ ⁺	Amonio
PO ₄ ³⁻	Fosfato
NO ₃	Nitrato
NO ₂	Nitrito

Índice de figuras

Figura 1	Diagrama de estuario de barrera litoral	7
Figura 2	Variación de los parámetros estudiados en estuario de Río Rapel	11
Figura 3	Proceso estructurado para análisis físico-químico de estuarios en la costa ecuatoriana	13
Figura 4	Delimitación del área de estudio	15
Figura 5	Mapa de estaciones establecidas para el muestreo de análisis de agua ..	20
Figura 6	Propuestas consideradas en virtud de la problemática planteada	24
Figura 7	Criterios de evaluación considerados para seleccionar la propuesta a desarrollar	25
Figura 8	<i>Zona de estudio – diciembre del 2019</i>	28
Figura 9	Variación de A) la salinidad y B) oxígeno disuelto en pleamar y bajamar del estuario La Boquita	31
Figura 10	Variación de A) turbidez y B) temperatura en pleamar y bajamar del estuario La Boquita	32
Figura 11	Variación de A) nitrito y B) nitrato en pleamar y bajamar del estuario La Boquita	33
Figura 12	Variación de A) fosfatos y B) amonio en pleamar y bajamar del estuario La Boquita	34
Figura 13	Variación de A) Coliformes totales y B) E. coli en pleamar y bajamar del estuario La Boquita	35
Figura 14	Niveles de Organización de un Plan de monitoreo.....	40
Figura 15	Estaciones de muestreo - Estuario La Boquita.....	50
Figura 16	Oxímetro.....	52
Figura 17	Refractómetro.....	55
Figura 18	Lectura de salinidad en psu en un refractómetro	56
Figura 19	Disco Secchi.....	57
Figura 20	<i>Fotómetro XD 7000</i>	58
Figura 21	Sobres de reactivos.....	59
Figura 22	Cubetas en donde se colocan las muestras a analizar	59
Figura 23	<i>Vista del interior de espectrofotómetro. Lugar de colocación de cubeta</i> ..	62
Figura 24	Resultados - Incubación/Estación 8	67
Figura 25	Resultados - Incubación/Estación 1	68

Figura 26 Resultados dilución - Estación 1	69
Figura 27 <i>Acciones comunitarias para monitoreo</i>	82

Índice de Tablas

Tabla 1 Actividades desarrolladas en las zonas adyacentes al área de estudio	17
Tabla 2 Parámetros analizados y sus respectivas metodologías	18
Tabla 3 Estaciones de muestreo de calidad de agua	20
Tabla 4	29
Tabla 5 Caracterización del estuario La Boquita temporada húmeda 2023.....	35
Tabla 6 Posibles escenarios que pueden presentarse en el estuario La Boquita en virtud de los parámetros alterados	37
Tabla 7 Variables a evaluar en un estuario.....	42
Tabla 8 Parámetros analizados y sus respectivas metodologías	45
Tabla 9 Frecuencia de muestreo para cada parámetro	47
Tabla 10. Consideraciones para campaña de muestreo.....	47
Tabla 11 Consideraciones para establecer estaciones de muestreo.....	50
Tabla 12 Recolección y conservación de muestras de agua - técnicas.....	51
Tabla 13 Concentración máxima de oxígeno disuelto varía con la temperatura.....	54
Tabla 14 Factores que influyen análisis fotométrico	58
Tabla 15 Recomendaciones previo al inicio de ensayos de laboratorio.....	61
Tabla 16 Conversión de unidades UFC a NMP	71
Tabla 17 Medidas de seguridad en campañas de muestreo	72
Tabla 18 Costo referencial de equipos	76
Tabla 19 Costo referencial de reactivos.....	76
Tabla 20 Costo referencial para el plan de monitoreo mensual.....	77
Tabla 21 Costos referenciales para campaña de muestreo y análisis / Externo.....	79
Tabla 22 Actores claves en el proceso de monitoreo del estuario La Boquita.....	80

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción del problema

Los humedales estuarinos se distinguen por su fuerte conexión con el océano, ya sea de manera constante o temporal, como sucede con los estuarios. Sin embargo, independientemente de la situación, estos sistemas experimentan cambios constantes espaciales y estacionales, que dependen del balance de agua y la salinidad, regulados por los caudales de los ríos y el mar. Una de las características fundamentales de los humedales costeros es la existencia de gradientes, los cuales generan una gran heterogeneidad al proporcionar una variedad de hábitats para especies tanto costeras como continentales que interactúan entre sí (RAMSAR, 1971).

Serrano et al. (2013) establecen que esta composición refleja que los humedales estuarinos son lugares de gran biodiversidad, destacando especial y generalmente la presencia de numerosas especies de aves migratorias y demás especies. Además, ofrecen servicios ecosistémicos, que se definen como beneficios que contribuyen al bienestar económico y social de las personas que interactúan con el ecosistema a través de actividades directas e indirectas relacionadas con el humedal (TEEB., 2014). Estos servicios incluyen la provisión de alimentos y agua, la regulación de fenómenos como inundaciones, sequías, degradación del suelo y enfermedades, el soporte a través de la formación de suelos y ciclos de nutrientes, y servicios culturales como recreación, aspectos espirituales o religiosos, así como otros beneficios intangibles (Martín et al., 2016).

Sin embargo, acciones antropogénicas están poniendo en peligro los estuarios en todo el mundo. Entre estas amenazas se encuentran la explotación de los recursos naturales de los estuarios, la contaminación, la disminución de la vegetación, el drenaje del agua para el consumo humano y la falta de opciones económicas para las comunidades locales (NERRS, 2022). En Ecuador, las amenazas a los estuarios son aún más notorias debido a la

falta de planes de manejo desarrollados específicamente para estos ecosistemas, por lo cual es urgente evaluar su integridad a través de estudios físicos, químicos y ecológicos que permitan establecer planes de manejo que puedan ser implementados por los residentes de la región (FAP , 2021).

Bajo dicho contexto, el Centro Nacional de Recursos Costeros (CENAREC) ha presentado interés en la caracterización de parámetros del estuario “La Boquita” ubicado en la comuna Valdivia para la elaboración de una línea base de calidad física química de dicho cuerpo de agua, que les permita complementar el trabajo previo realizado en la zona y que bajo la generación de protocolos de monitoreo como resultado de dicha caracterización, el proceso se replique a lo largo de pequeños, medianos y grandes cuerpos de agua anexos a las zonas costera con fines de establecer un proceso que permita a las comunidades llevar un correcto Manejo Costero en virtud de conservar y gestionar de manera sostenible dicho recurso.

1.2 Justificación del problema

La Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica NOAA establece que los estuarios son zonas acuáticas y los entornos costeros adyacentes que generalmente se localizan en la confluencia de los ríos y el mar (NOAA, s.f.). Estos espacios albergan ecosistemas únicos de plantas y animales debido a que sus aguas son salobres, una combinación de agua dulce procedente de la tierra y agua marina salada. Es por esto que son considerados como uno de los ecosistemas más productivos del planeta. Muchas especies animales dependen de ellos para obtener alimento y como áreas de reproducción y anidación. Además, las comunidades humanas también se benefician de los estuarios para su sustento, recreación y empleo (Cai et al., 2021)

En virtud de las constantes presiones que reciben actualmente estos cuerpos de agua, nace la necesidad y la urgencia de salvaguardar aquellos sistemas que se encuentran aún en un buen estado ecológico y si es posible, recuperar aquellos que no presentan daños irreversibles. Puesto que si bien, su conservación es fundamental para la supervivencia de

numerosas especies, también brindan diversos beneficios para la comunidad antropogénica que se asienta en zonas aledañas a ellos (Bolund & Hunhammar, 1999). En este sentido, el estuario La Boquita es un ecosistema insuficientemente estudiado respecto a las actuales presiones antrópicas que recibe y los posibles impactos que puede causar sobre el ecosistema. Debido a esto no se encuentran registros previos que permitan realizar escalas comparativas de las condiciones de la calidad de agua del cuerpo hídrico en virtud del tiempo, ni mucho menos considerando parámetros físicos y químicos, lo cual es fundamental para establecer futuros mecanismos que permitan desarrollar un correcto manejo del recurso.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Analizar parámetros físicos y químicos de las aguas del estuario La Boquita, Valdivia temporada húmeda 2023 mediante levantamiento de data in situ de la zona para la elaboración de una línea base de calidad de agua en el estuario y un plan de monitoreo de estuarios orientada al cuidado y preservación del recurso.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Determinar parámetros físicos, químicos y microbiológicos del estuario La Boquita, mediante la toma de datos in situ y análisis de laboratorio para la caracterización del cuerpo de agua.
2. Establecer una tabla referencial de los rangos existentes de cada parámetro en el estuario en base a los valores obtenidos para la realización de un análisis comparativo con la normativa ecuatoriana vigente e identificación del estado actual del mismo.
3. Presentar posibles escenarios que pueden desarrollarse en el estuario en virtud de las actividades que se realizan en la zona y la alteración de parámetros para la comprensión y concienciación de las amenazas a las que está expuesto dicho cuerpo de agua.

4. Desarrollar un plan de monitoreo y caracterización de la calidad del agua en pequeños y medianos estuarios anexos a la costa ecuatoriana para la realización de campañas de cuidado y preservación del recurso en el futuro.

1.4 Marco Teórico

1.4.1 Estuario

La conceptualización que ha sido mayormente aceptada por la comunidad científica puesto que engloba no solo características geomorfológicas y físico- químicas sino también biológicas es la interpuesta por Perillo (1995) que menciona que:

Un estuario es un cuerpo de agua semicerrado que se extiende hasta el límite de influencia de la marea, dentro del cual el agua de mar penetra desde una o más conexiones libres con el mar abierto, o cualquier otro tipo de cuerpo de agua costero que es significativamente diluido con el agua dulce de escorrentía, y que puede sustentar especies biológicas eurihalinas durante una parte o todo su ciclo de vida.
(p.30)

La composición de un estuario de manera general viene dada por: estuario alto que se encuentra en la zona cercana a la desembocadura del río y está influenciada principalmente por la fuerza del río. Aquí se produce una acumulación de sedimentos gruesos y posteriormente se posicionan partículas más finas río abajo. Aunque la marea tiene cierta influencia, no hay una mezcla significativa con el agua marina. El estuario medio que corresponde al área intermareal. Es la parte central del estuario donde se equilibran las influencias tanto marinas como fluviales. Aquí es donde se depositan los sedimentos más finos. Finalmente se encuentra el estuario bajo en la zona más alejada de la desembocadura, en conexión directa con el mar. Aquí la energía dominante proviene de las olas y las mareas. Se caracteriza por la presencia de sedimentos gruesos y el transporte de sedimentos más finos hacia el interior del estuario (Zarza, 2021).

En este sentido, los estuarios son áreas de gran importancia biológica, ya que brindan hábitats diversos y productivos para una amplia variedad de especies, incluyendo peces,

aves, crustáceos, moluscos y plantas acuáticas. Además, los estuarios actúan como filtros naturales, ayudando a eliminar los sedimentos y los contaminantes transportados por los ríos antes de que lleguen al océano. En virtud de ello estos se distribuyen en distintos tipos de estuarios.

1.4.2 Clasificación de Estuarios

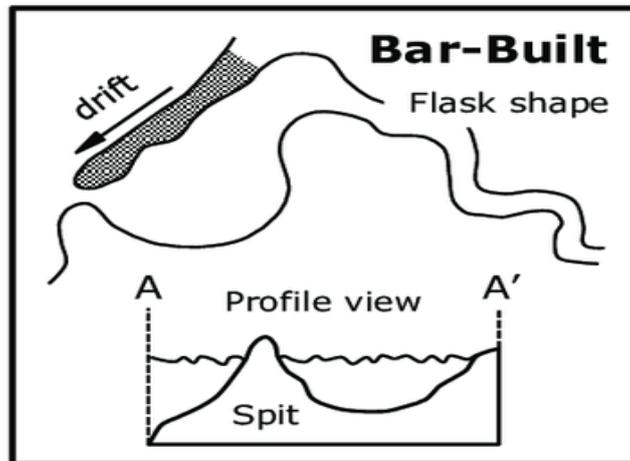
La clasificación de los estuarios se realiza en función de varias características principales en virtud de la relación entre la cantidad de agua de cuerpo fluvial durante las mareas y la cantidad de agua de la marea misma. Entre dichas clasificaciones se tiene por mezcla de agua, grado de salinidad, rango de marea, fisiografía, entre otros (Chango & Nacimba, 2015). En el presente trabajo de investigación se considera desglosar únicamente la tipología denominada “estuario intermitente de barrera litoral” puesto a que es el tipo de estuario que es analizado posteriormente.

Estuario de barrera litoral. Es un ecosistema costero que se destaca por la convergencia del agua dulce procedente de un río o sistema fluvial con el agua salada del mar, creando una amplia zona de aguas poco profundas resguardada por una barrera natural de arena y sedimentos que discurren en paralelo a la línea costera como lo muestra la figura 1. Este sistema geomorfológico actúa como una barrera física contra la acción directa de las olas y protege el litoral de la erosión costera, mientras que también crea un hábitat único y diverso para una amplia variedad de especies marinas, aves y flora adaptadas a las condiciones cambiantes de salinidad y mareas (Galván, 2014).

Perillo (1995) menciona que debido a las restricciones que presentan en su área transversal, las corrientes en estos cuerpos de agua pueden ser más rápidas en la boca, mientras que las secciones más anchas o en donde por lo general desembocan los ríos suelen disminuir rápidamente, por lo que recalca que el flujo del río es grande pero estacionalmente variable, sin embargo, arrastra consigo volúmenes considerables de sedimentos durante la temporada invernal.

Figura 1

Diagrama de estuario de barrera litoral



Nota. El gráfico inferior muestra un corte transversal al estuario evidenciando la marcada geomorfología de la barra litoral; por Alfonso Nebra, 2015.

Estuario Intermitente. Se hace referencia a estuarios intermitentes a aquellos que experimentan ciclos de apertura y cierre, en donde el flujo de agua dulce y salada difiere a lo largo del tiempo. Estos estuarios se conforman en regiones donde la disponibilidad de agua dulce fluctúa estacionalmente, lo que puede deberse a factores como las lluvias estacionales, la fusión de nieve o el flujo intermitente de ríos (Tomczak, 2000).

1.4.3 Características físico-químicas y biológicas de un estuario

La caracterización del agua de cuerpos estuarinos considera parámetros físicos, químicos y biológicos. Dichas características están sujetas a variaciones constantes que pueden incrementarse o decrecer respecto al tiempo, espacio y área en donde sean analizados. Por lo general los fenómenos que incurren en este proceso es el flujo de marea y la estratificación del cuerpo de agua (Chango & Nacimba, 2015). Es por ello que hasta la actualidad se considera que los sistemas estuarinos son muy complejos y que generan continuos cambios de hábitats para las especies que en el habitan.

1.4.3.1 Parámetros físicos

Temperatura. Este parámetro en los cuerpos estuarinos varía en virtud de la profundidad. Interviene en el proceso de fotosíntesis, así como también en los procesos metabólicos de las especies acuáticas por lo que un cambio brusco del mismo, puede perturbar la distribución y presencia de los organismos acuáticos en el sistema (Environmental Protection Agency , 2002).

Salinidad. Se refiere a la concentración de sales disueltas en el agua o en un medio acuático. Es un parámetro importante para el estudio de este tipo de ecosistemas, dado que afecta la composición química y física del agua, así como la vida acuática que puede habitar en ella (Alcaraz-Ariza, 2012).

Por lo general, en estuarios su distribución es gradual, es decir, los niveles más altos de salinidad se los encuentra en la desembocadura en donde la conexión con el mar abierto es predominante y esta decrece de manera longitudinal aguas arriba. Esto a su vez permite establecer la presencia de ciertos agentes patógenos que se adaptan a determinados niveles de salinidad (Environmental Protection Agency , 2002).

Turbidez. La importancia de análisis de este parámetro radica en la relación que posee respecto a la disponibilidad de oxígeno disuelto (OD) puesto que, este disminuye conforme la turbidez incrementa. Dado que es una medida que determina la pérdida de transparencia presenta una estrecha relación con la identificación de la cantidad de sólidos suspendidos presentes en el cuerpo de agua (estas pueden ser limo, arena, arcilla, o alguna otra partícula) (Environmental Protection Agency , 2002).

1.4.3.2 Parámetros químicos

Oxígeno disuelto. El oxígeno disuelto se refiere al oxígeno molecular (O_2) presente en una solución líquida, generalmente agua. Es la cantidad de oxígeno gaseoso que se encuentra disuelto en el agua y está disponible para ser utilizado por los organismos acuáticos (Sánchez, y otros, 2007).

El oxígeno disuelto es esencial para la vida en los ecosistemas acuáticos, ya que muchos organismos dependen de él para llevar a cabo sus procesos respiratorios. Puede variar según

varios factores ambientales, como la temperatura, la presión atmosférica, la salinidad y la actividad biológica (Sánchez, y otros, 2007).

Nutrientes. Los nutrientes en el agua son compuestos esenciales para el crecimiento de organismos acuáticos y plantas. Los principales nutrientes son nitratos, nitritos y fosfatos, fundamentales para el desarrollo de algas y plantas acuáticas. Sin embargo, altos niveles pueden causar eutrofización y problemas ambientales. Otros nutrientes incluyen amonio, amoníaco y silicatos, necesarios para ciertos organismos acuáticos. El equilibrio adecuado de nutrientes es crucial para la salud y biodiversidad de los ecosistemas acuáticos (Quintana, Trobajo, & Ramón, 1999).

Clorofila a. La clorofila a es la forma más común de clorofila y es la principal responsable del color verde característico de las plantas. Al medir la cantidad de clorofila a presente en una muestra de agua, se puede obtener información sobre la concentración de algas y la productividad biológica en ese cuerpo de agua. Esto es útil para monitorear la salud de los ecosistemas acuáticos y comprender su estado ambiental. Esta por lo general se detecta empleando espectrofotometría al igual que los nutrientes (Rivera, Zapata, Pinilla, & Donato, 2005).

1.4.3.3 Parámetros microbiológicos

Escherichia coli. (E. coli) en el agua es una señal de contaminación fecal y puede representar un riesgo significativo para la salud pública. La presencia de esta bacteria en el agua indica la posible contaminación por desechos humanos o animales, lo que puede deberse a sistemas de tratamiento de aguas inadecuados, aguas residuales sin tratar, o escurrimientos de aguas pluviales contaminadas (Becerra-Tapia & Botello, 1996).

Coliformes totales. Engloban un grupo más amplio de bacterias que incluyen a los coliformes fecales, pero también a otros coliformes que pueden encontrarse en el ambiente de manera natural. Aunque su presencia no indica contaminación fecal directa, se utilizan como indicadores generales de la calidad sanitaria del agua. Su detección sugiere la necesidad de realizar un análisis más específico para determinar si hay presencia de coliformes fecales y otros posibles patógenos (Becerra-Tapia & Botello, 1996).

1.4.4 Calidad de agua

La calidad del agua se refiere a la pureza y adecuación del agua para diversos usos. Se evalúa mediante parámetros físicos, químicos y biológicos, dado que estos evidencian la presencia o ausencia de contaminantes que pueden afectar la salud humana y el medio ambiente por lo que es crucial monitorear y mantener el agua dentro de estándares seguros para su consumo y conservación de ecosistemas. La gestión adecuada es esencial para proteger este recurso vital.

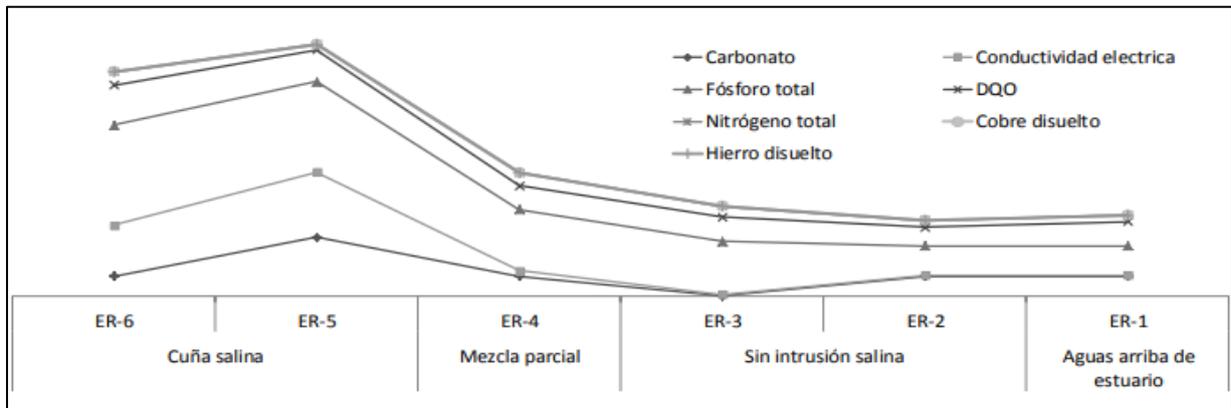
1.4.5 Estado del arte

Delgado et al., (2020) llevaron a cabo un análisis de la calidad de agua durante las temporadas húmeda y seca en cuatro estaciones a lo largo del estuario del Río Chone, Manabí, Ecuador para poder establecer características del agua teniendo efluentes de camarónicas anexas al estuario. Se analizaron doce parámetros entre físicos y químicos mediante equipos multiparamétricos y colorimetría, obteniendo como resultados valores dentro de los límites permisibles para salinidad, pH, nitrato y nitritos; sin embargo el DBO se mostró incrementado durante pleamar así como también otros nutrientes como nitrógeno amoniacal, sulfuro de hidrógeno, entre otros en bajamar, concluyendo que la marea tiene la capacidad de transportar contaminantes derivados de camarónicas en escalas espaciales y temporadas cortas, afectando así la calidad del agua del estuario.

Por otro lado, a nivel regional, existe un registro de delimitación y caracterización ambiental del estuario de la cuenca del río Rapel, Chile, para la elaboración de la norma secundaria de calidad del agua. La metodología empleada para la obtención de datos de calidad de agua y sedimentos se realizó en base a las “recomendaciones para el muestreo y preservación de muestras”, del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 21st Edition, 2005 y las normas chilenas, obteniendo que, el estuario del río Rapel muestra características de calidad de agua y sedimentos específicas. Las aguas son moderadamente alcalinas, con una buena oxigenación y salinidad creciente en dirección al flujo del agua.

Figura 2

Variación de los parámetros estudiados en estuario de Río Rapel



Nota. Por Aguado et al., 2017, Gobierno de Chile.

Los parámetros como conductividad, salinidad, DQO, fósforo total, nitrógeno total, clorofila "a" y sulfato, muestran una diferenciación gradual entre la zona alta y terminal del río Rapel, pero no se evidencia una clara diferencia para los demás parámetros analizados. El estudio también establece tres zonas para el seguimiento y monitoreo de la calidad de agua: una zona de agua dulce (sitios ER-1, ER-2, ER-3), una zona de transición entre agua dulce y salina (ER-4 y ER-5), y una tercera zona en la desembocadura (ER-6) como se muestra en la figura 2.

CAPÍTULO 2

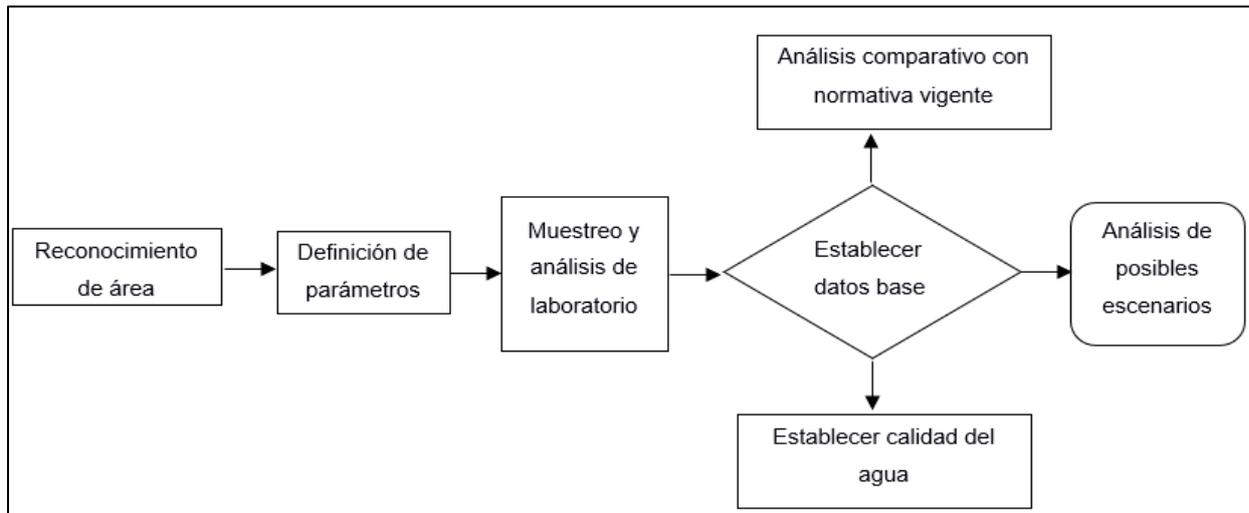
2. METODOLOGÍA

Una vez planteado el problema, se procedió a desarrollar conceptos de diseño que permitieran posteriormente proponer diseños conceptuales respecto a la ausencia de registros de parámetros para establecer el estado del agua del estuario La Boquita. Para ello se llevó a cabo lo siguiente: revisión de investigaciones previas respecto a la calidad del agua de estuario La Boquita o zonas circundantes, investigaciones previas respecto a las actividades que se desarrollan en la zona, un análisis de parámetros físicos, químicos y microbiológicos que permitiera caracterizar por primera vez el estuario y acercamientos con el cliente respecto a cómo abordar la ausencia de registros del cuerpo de agua.

El análisis de parámetros físicos, químicos y microbiológicos de las aguas del estuario La Boquita, se desarrolló mediante seis actividades primarias que se llevaron de manera secuencial como se muestra en la figura 3; estas son: 1) Reconocimiento del área de estudio, basada en la caracterización general física, florística y faunística del estuario así como demográfica respecto a la comuna adyacente a este; 2) Definición de parámetros a analizar en base a configuración del estuario; 3) Muestreo, en donde se detallan las consideraciones tomadas en cuenta para la toma de datos in situ, así como también la conservación y tratamiento de las muestras de agua para análisis de laboratorio; 4) Análisis de laboratorio; donde se plantean las metodologías empleadas para cada uno de los análisis realizados en los laboratorios pertinentes; 5) Establecimiento de datos bases; en base la toma de datos in situ y a los análisis de laboratorio de acuerdo sea el parámetro y el análisis comparativo con la normativa vigente; 6) Análisis de posibles escenarios respecto a las actividades que se desarrollan generalmente en las zonas costeras y su posible alteración en los parámetros analizados.

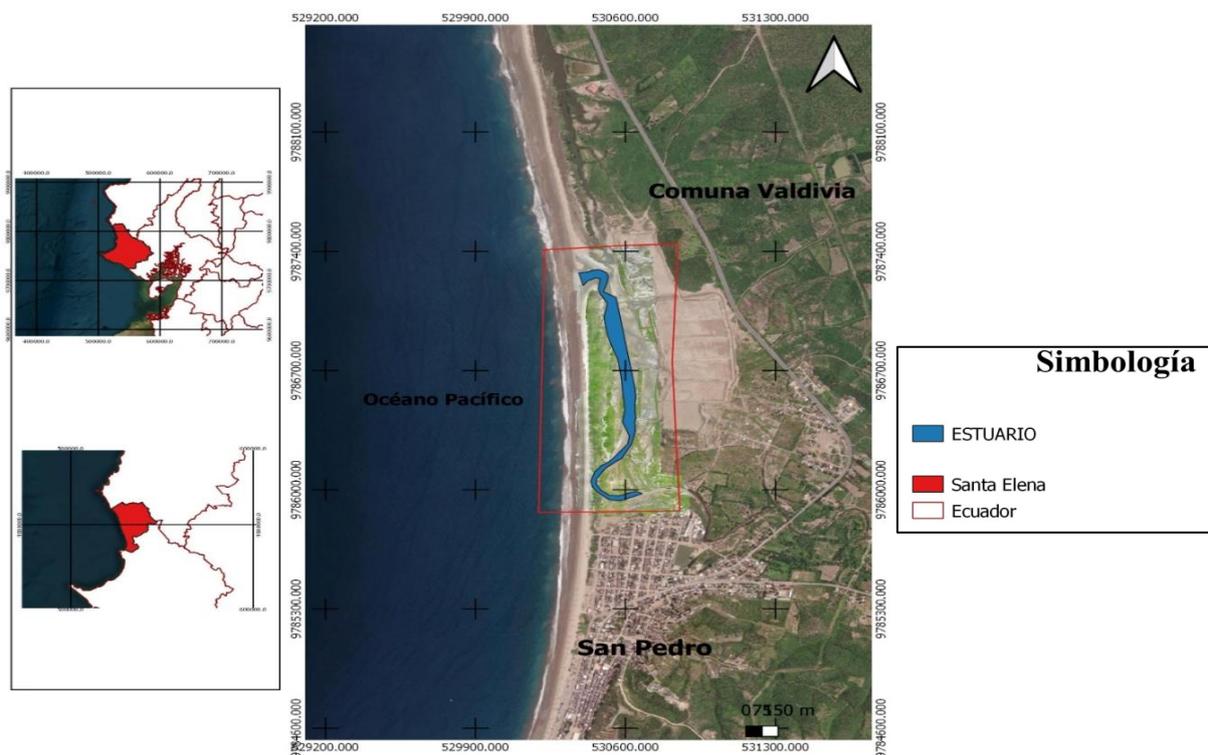
Figura 3

Proceso estructurado para análisis físico-químico de estuarios en la costa ecuatoriana



2.1 Área de estudio

El estuario La Boquita se deriva de la cuenca del Río Valdivia ubicado en la parroquia Manglaralto perteneciente al cantón de Santa Elena, Ecuador limitado al norte con Playa Bruja, al sur con la comuna San Pablo, al este con la comuna Sinchal y al oeste con el Océano Pacífico. Su ubicación geográfica es en la costa ecuatoriana según coordenadas dispuestas por el Instituto Geográfico Militar. Según Nieto y Regalado (2019) la cuenca del Río Valdivia posee 36 km de longitud con un ancho promedio de 2,9 km, con un régimen permanente extendiéndose sobre un área de 105 km² y una esorrentía media anual 77 m³/s respectivamente. Este nace en la comuna Loma Alta, continuando su recorrido hasta la desembocadura al mar en el sector noroeste de la comuna Valdivia; para fines del presente estudio sólo se analizó 1 Km de extensión tomado desde la desembocadura del estuario hacia aguas arriba como se muestra en la figura 4.

Figura 4*Delimitación del área de estudio*

Nota. El estuario La Boquita nace de la cuenca del Río Valdivia y desemboca hacia las aguas del Océano Pacífico. Recurso obtenido de QGIS, 2023.

2.2 Reconocimiento del área de estudio

Para el reconocimiento del área de estudio se realizó una salida de campo previa al establecimiento de parámetros a analizar, puesto que se necesitaba conocer a mayor profundidad la composición y dinámica del estuario, así como también destacar puntos relevantes como la flora y fauna presentes en el área e identificar las actividades que se desarrollan en la comuna adyacente; no obstante, dicha información también fue complementada con bibliografía referencial de la zona así como también con imágenes satelitales.

2.2.1 Tipo de Estuario

Para tipificar el cuerpo de agua analizada se pueden considerar un sin número de variables, sin embargo, para el presente estudio y gracias al reconocimiento previo se pudo discriminar ciertas variables debido a la caracterización del estuario. Las tipologías se

establecieron analizando la geomorfología adyacente del mismo mediante el uso de imágenes satelitales de Google Earth durante seis años diferentes considerando tanto temporada seca como húmeda. También se analizaron los valores de salinidad superficial para una estratificación general del estuario puesto que al ser un cuerpo de agua de poca profundidad no es significativo realizarlo en la columna de agua. No obstante, si el cuerpo de agua llegase a presentar una profundidad mayor a los cuatro metros es imprescindible dicho análisis.

2.2.2 Flora y Fauna

La presencia del estuario proporciona un ambiente acuático dulce-salado que brinda condiciones aptas para ciertas fases del ciclo vital de algunas especies acuáticas. De manera general, sobre la arena que enmarca al estuario se observó plantas con largos estolones, y más hacia el interior, fuera de la influencia del agua salada, se notó la presencia de arbustos tropicales. Entre la fauna observada en lugar se destacan las garzas blancas a lo largo de la zona de manglar, así como también especies de pequeños crustáceos como jaibas y cangrejos.

2.2.3 Población y Principales Actividades Desarrolladas en el Área de Estudio

Según el INEC (2010), la población asentada en la comuna Valdivia es de 4061 habitantes, donde 3040 personas se establecen en la zona urbana y 1021 en la zona rural. En cuanto a servicios básicos, el área cuenta con acceso a energía eléctrica, aunque no al 100% de cobertura. Además, dispone de agua potable entubada y alcantarillado, aunque este último solo abarca el 75% de la población. Se estima que el porcentaje que se excluye hace uso de pozos ciegos sin estudios previos vertiendo aguas residuales en dichas zonas. Por otro lado, las principales actividades desarrolladas identificadas fueron elaboración de artesanía, pesca, eviscerado de pescado y enlatadora de sardinas. Según Nieto y Regalado (2019) las actividades agrícolas, ganaderas y turísticas se desarrollan en menor porcentaje. A continuación, en la tabla 1 se realiza una descripción concreta de cada una de ellas.

Tabla 1*Actividades desarrolladas en las zonas adyacentes al área de estudio*

Actividad	Descripción
Artesanía y zapatería	El 70% de los habitantes de la comuna se dedica a dichas actividades, especialmente a la elaboración de sombreros de paja toquilla, artesanías en piedra arenisca, concha perla, tagua y papel reciclado.
Pesca	La pesca artesanal realizada en la comuna es reducida, por lo que aquellos. Actualmente solo existen 10 embarcaciones dedicadas de forma permanente a la pesca, con unos 30 pescadores aproximadamente.
Evisceradora	Dicha actividad depende de la producción de pesca. Poseen dos cisternas con las que abastecen el centro y cuatro cámaras de evacuación, que se emplean como recolectores de aguas residuales del proceso hasta que se llenan, se bombean y son depositados en las profundidades de la tierra. Los desperdicios de pescado son transportados a la Pampa (harinera) en Monteverde.
Enlatadora de sardina	El proceso de la enlatadora se encuentra a cargo de la empresa ENVASUR. Menciona Limones (2014) que dicha empresa evacua sus aguas residuales al mar, realizando sus actividades en condiciones deplorables y con infraestructura en mal estado.
Laboratorio de larvas y postlarvas	Aquagen es una empresa privada, se encuentra en el territorio desde el año 1999 y se encarga del mejoramiento genético marino, posee licencia ambiental.
Turismo	El turismo es muy escaso. En su mayoría se solventa por las visitas realizadas al museo Valdivia.
Agricultura	Realizan sembríos de ciclo corto, cultivan sandía, tomate, cebolla, pimiento, plátano y guineo, lechuga y col, cuenta con suficiente área para el cultivo, sin embargo, no se desarrolla por limitación de recursos hídricos.
Ganadería	Se basa en ganadería vacuna, no obstante, la ausencia de pasto la complica, los que se dedican a esta actividad tienen de 3 a 4 cabezas de ganado y su desarrollo es para la venta.

Nota. Adaptado de Nieto y Regalado, 2019

2.3 Definición de Parámetros

Este apartado se basó en la discriminación de parámetros a analizar de acuerdo a tres puntos importantes, la tipografía del estuario, la importancia del parámetro en la identificación de calidad de agua y, por último, las fuentes de posible contaminación que podrían estar alojando el cuerpo de agua y así poder identificar si los parámetros relacionados a su presencia se mostraban anormales. Cabe destacar que el número de parámetros puede incrementarse según los requerimientos y consideraciones del análisis. A continuación, en la tabla 2 se muestran los parámetros seleccionados y la respectiva metodología en la cual se basó su toma.

Tabla 2

Parámetros analizados y sus respectivas metodologías

	PARÁMETRO	UNIDADES	MÉTODO*	EQUIPO
IN SITU	Oxígeno Disuelto	mg/l	APHA Método 4500-O G	Oxímetro
	Salinidad**	psu	-	Refractómetro ATC TR-110
	Turbidez	m	EPA Volunteer Stream Monitoring: A Methods Manual. Chapter 5.5	Disco Secchis
	Temperatura del agua	°C	APHA Método 2550 B	Oxímetro
LABORATORIO CSA	Coliformes Totales	NMP/100 ml	APHA Método 9222 C	Placas Compact Dry por AOAC® y MICROVAL®
	Escherichia Coli	NMP/100 ml	APHA Método 9222 C	Placas Compact Dry por AOAC® y MICROVAL®
LABORATORIO RIO DE OCEANOGRAFÍA BIOLÓGICA	Amonios	µM/L	APHA Método 4500-NH ₄ -F	Fotómetro Lovibond XD 7000
	Clorofila a		APHA Método 10200 H	Fotómetro Lovibond XD 7000
	Fosfatos	µM/L	APHA Método 4500-P-C	Fotómetro Lovibond XD 7000

Nitritos	$\mu\text{M/L}$	APHA Método 4500-NO ₂ -B	Fotómetro Lovibond XD 7000
Nitratos	$\mu\text{M/L}$	APHA Método 4500-NO ₃ -B	Fotómetro Lovibond XD 7000

Nota. *Los métodos ingresados con “APHA” se derivan del Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater, 22nd Edition, 2012 y lo realizado por Ormazá y Villalba (1994)

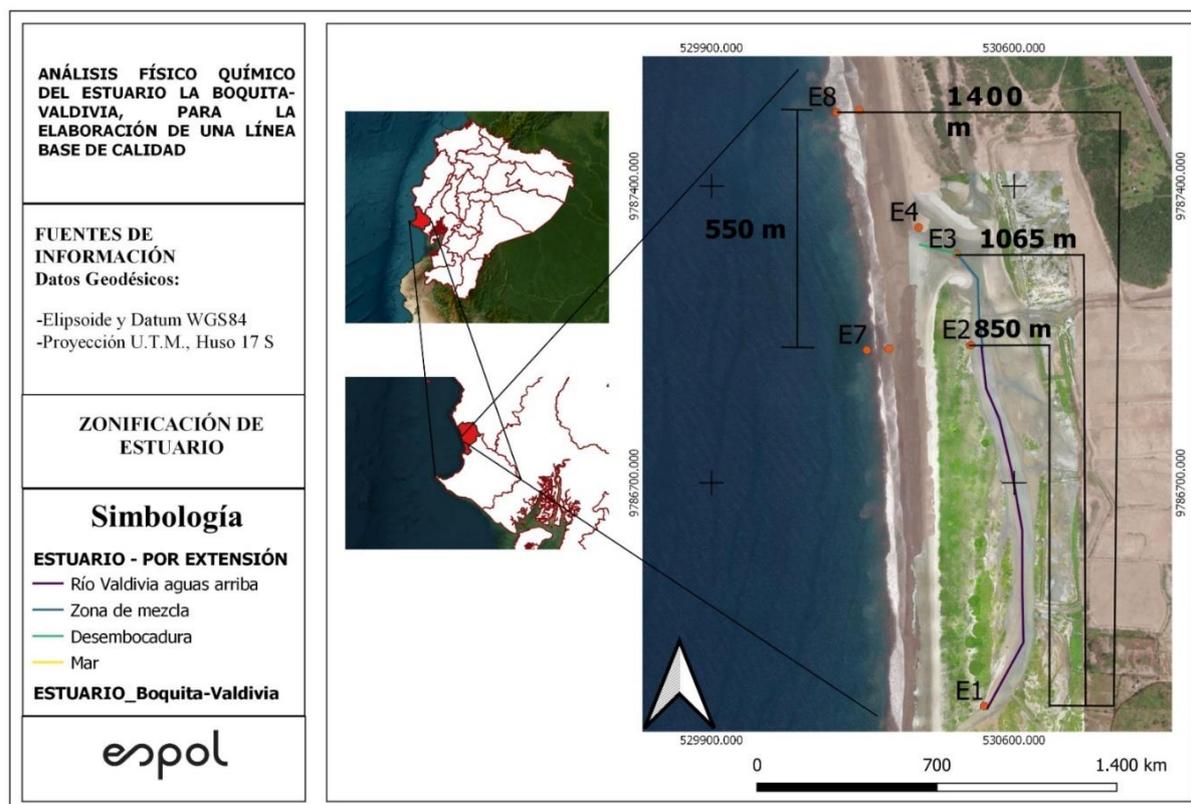
**Las muestras de agua fueron tomadas “in situ” pero el análisis se lo llevó a cabo en laboratorio.

2.4 Muestreo y análisis de laboratorio

La toma de parámetros in situ, así como las muestras de agua se llevaron a cabo en el mes de mayo del 2023 considerada temporada húmeda, en un rango mareal de sicigia presentando condiciones de marea de pleamar a las 07:00 y bajamar a la 13:00. Se establecieron ocho estaciones distribuidas y ubicadas en puntos estratégicos a lo largo del eje longitudinal del estuario, teniendo en consideración posibles fuentes de contaminación, así como también el flujo del río y la marea (zona de lavado) como se muestra en la tabla 3 y figura 5. Cabe destacar que no se hizo necesario el uso de embarcación puesto que la profundidad del estero era menor a los dos metros, sin embargo, en aquellos cuerpos de agua mayores a cuatro metros es indispensable el uso de embarcación acorde a las exigencias del cuerpo de agua para la respectiva toma de datos.

Figura 5

Mapa de estaciones establecidas para el muestreo de análisis de agua



Nota. La estratificación presentada se realizó en base en base a los valores de salinidad analizados. Recurso obtenido de QGIS, 2023

Tabla 3

Estaciones de muestreo de calidad de agua

Estación de muestreo	Descripción	Coordenadas UTM		Coordenadas Grados Decimales	
		x	y	Latitud	Longitud
E1	Río Valdivia, aguas arriba del estuario	530530.92	9786173.15	-1,93376	-80,72547
E2	Zona de Mezcla, estuario La Boquita	530500.08	9787024.82	-1,92605	-80,72575
E3	Zona de Mezcla, estuario La Boquita	530468.05	9787239.52	-1,92411	-80,72604
E4	Desembocadura	530379.09	9787302.39	-1,92354	-80,72684
E5	Mar (Océano Pacífico)	530310.29	9787016.52	-1,92613	-80,72746
E6	Mar (Océano Pacífico)	530241.49	9787578.77	-1,92104	-80,72808

E7	Mar (Océano Pacífico)	530259.29	9787012.96	-1,92616	-80,72792
E8	Mar (Océano Pacífico)	530189.30	9787574.02	-1,92109	-80,72855

2.4.1 Parámetros “in situ”

La toma de datos in situ se realizó mediante el uso de un balde lleno de agua en cada una de las estaciones establecidas previamente, esto con la finalidad de evitar la menor perturbación posible al introducir los equipos en el cuerpo de agua. Para ello el balde debió ser homogenizado previo a cada toma de muestra con el agua del sitio de muestreo, esto para evitar que queden residuos de la muestra anterior. Este se introdujo de manera vertical en la columna de agua hasta que estuviese dentro de ella con la finalidad de introducir únicamente agua superficial. Como se muestra en la tabla 2, los parámetros in situ registrados fueron temperatura del agua, turbidez y oxígeno disuelto.

Para el caso de la salinidad, se tomaron muestras de agua in situ, que posteriormente fueron analizadas en el laboratorio de Oceanografía Física empleando un refractómetro. Los procedimientos para cada uno de los parámetros se encuentran descrito en el plan de monitoreo expuesto en el capítulo 4.

2.4.2 Muestras de agua

Las muestras de aguas fueron tomadas directamente en el cuerpo de agua durante los pleamar y bajamar y almacenadas de acuerdo al tipo de análisis que se le realizaría. En botellas ámbar previamente lavadas y secadas fueron almacenadas aquellas muestras que serían empleadas para el análisis de nutrientes y clorofila a, mientras que en envases esterilizados y sellados fueron colocadas las muestras que serían utilizadas para el análisis microbiológico. Cada una de las muestras fue debidamente etiquetada con el número de estación, fecha, y el rango de marea en la que fue tomada y luego introducida a un ambiente frío para su conservación, el mismo que fue adaptado en una hielera. Dicha hielera debe conservar un ambiente con una temperatura de mínimo 5°C, hasta que las muestras lleguen al laboratorio y puedan ser colocadas en los refrigeradores a temperaturas inferiores.

2.4.3 Análisis de laboratorio

2.4.3.1 Nutrientes y clorofila a

El análisis de nutrientes se desglosó en nitritos, nitratos, fosfatos y amonios. Este se desarrolló en el Laboratorio de Oceanografía Biológica empleando como metodología principal la espectrofotometría. Para ello se realizó previamente un proceso de filtrado para cada una de las muestras y posteriormente se empleó el espectrofotómetro Lovibond XD 7500, el cual tuvo que ser adaptado a los procedimientos especificados en el manual correspondientes al uso de Reactivos HACH. Por otro lado, para que los resultados presentaran un mayor grado de confiabilidad, se realizó un duplicado (ver apéndice A) para cada una de las muestras con la finalidad de medir la precisión de la metodología empleada.

Cabe destacar que para el análisis de clorofila a, el filtro no fue desechado puesto que a partir de este se realizó el procedimiento de extracción de la clorofila de cada una de las muestras con la ayuda de un tubo de ensayo con acetona cubierto de papel aluminio para evitar el paso de la luz hacia el depósito. Este proceso debe de completarse con el reposo mínimo de 24 horas del tubo en un refrigerador a temperatura de 10°C. Finalmente se extrajo el filtro y se analizó en el espectrofotómetro las muestras de acetona.

En este punto, es importante considerar todas las normas de seguridad a implementar para el uso correcto tanto de instrumentos y reactivos como de laboratorio para evitar accidentes dentro del área de análisis y también alterar las muestras. Además, este tipo de análisis se lo debe de realizar en la mayor brevedad posible, puesto que una vez que esta es descongelada y expuesta a un ambiente abierto como lo es el laboratorio, puede verse contaminada. Los procedimientos específicos para cada uno de los parámetros descritos en esta sección se encuentran en el plan de monitoreo expuesto en el capítulo 4.

2.4.3.2 Microbiológico: Coliformes Totales y E. Coli

El análisis de las muestras respecto al componente microbiológico se realizó en el laboratorio de microbiología del Centro de Servicios para la Acuicultura (CSA) en colaboración con las personas encargadas de lugar. Dicho análisis se basó en la incubación de las muestras en un periodo comprendido de 24 horas a temperatura de 37 a 40°C. Para este

proceso se emplearon placas Compact Dry. Dicha metodología brindó información precisa del número de colonias tanto de E coli como de coliformes totales de una muestra específica. Estas se las distinguen por la coloración de los puntos (colonias) que se dejan ver en la placa luego del proceso de incubación. Los puntos rojos representan a las colonias de Coliformes totales y los puntos azules a las de E. coli. Sin embargo, dado a que el recuento para ciertas estaciones se dificultó por el excedente de puntos, se procedió a realizar diluciones de dichas muestras en relación de 9:1 de solución salina y muestra de agua respectivamente para poder realizar el respectivo conteo. Los procedimientos específicos para cada uno de los parámetros descritos en esta sección se encuentran en el plan de monitoreo.

2.5 Establecimiento de datos base

Una vez realizados los análisis de laboratorio, se pudo contar con la totalidad de los valores de los diferentes parámetros y se pudo establecer los rangos actuales que presenta el estuario. Dichos rangos fueron establecidos en virtud de la distribución de las estaciones que se les dio en la estratificación por gradiente de salinidad. Los valores máximos y mínimos no representan rangos de permisibilidad sino más bien rangos espaciales y temporales que se aspira sean empleados como objeto guía para futuras investigaciones, considerando que el valor máximo fue el mayor y el valor mínimo fue el menor identificado en la campaña de muestreo.

Obtenida dicha tabla se procedió a contrastar los valores establecidos con los rangos permisibles establecidos en la normativa vigente “Norma de Calidad Ambiental y descarga de efluentes: Recurso Agua” (TULSMA) empleando los *criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas marinas y estuarios*, así como también los *criterios de calidad para aguas con fines recreativos* considerando el inciso b que denota el *contacto secundario como deportes náuticos y pesca*. Así también, se emplearon otros referentes investigativos para establecer límites de permisibilidad para un estuario sin contaminación dado a que la normativa ecuatoriana no establecía dichos datos para parámetros como amonio y fósforo.

2.6 Análisis de posibles escenarios

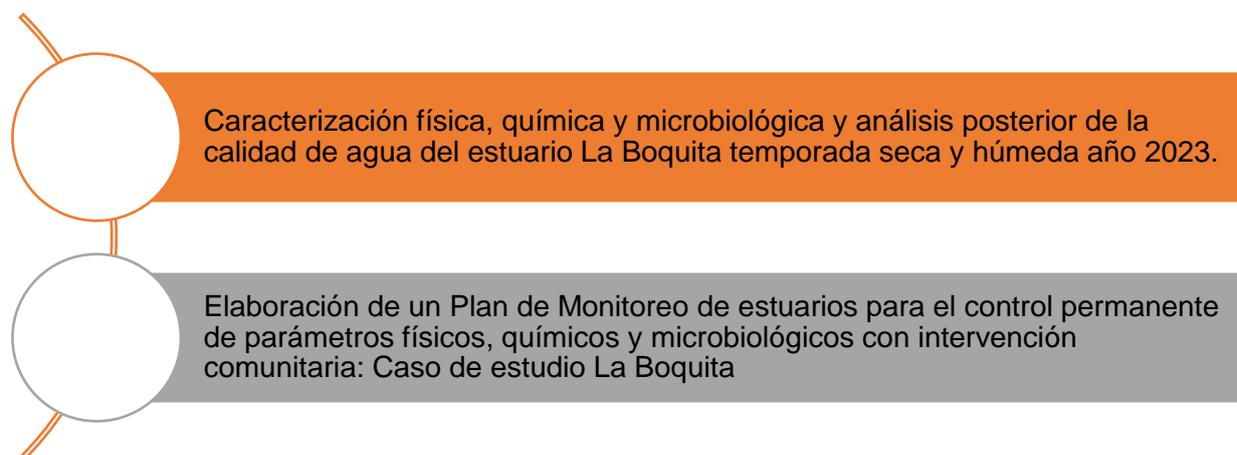
El análisis de posibles escenarios se realizó con la finalidad de poder exponer de manera sencilla a la comunidad adyacente de la zona al estuario, las amenazas a las cuales se encuentra expuesto el cuerpo de agua y los ecosistemas anexos al mismo con la incidencia de las actividades que se desarrollan en la comuna, así como de los efluentes que podrían presentarse en el futuro y de la importancia de conservarlo. Esto con la finalidad de que puedan en primer lugar concienciar respecto al gran valor natural, ecológico, económico que representan estos cuerpos de agua y a su vez empoderarlos a emprender acciones que permitan cuidar y preservar el recurso bajo la autonomía y voluntariado de la comuna en colaboración con la academia.

Estos escenarios permitieron establecer los posibles diseños conceptuales que se podrían desarrollar con la finalidad de enfrentar la necesidad de conocer el estado actual del agua del estuario la Boquita para tomar las respectivas acciones de cuidado y preservación por parte de la comunidad y solventar la ausencia de datos que no permite establecer socavar dicha necesidad.

2.7 Diseños conceptuales de solución propuestos

Figura 6

Propuestas consideradas en virtud de la problemática planteada

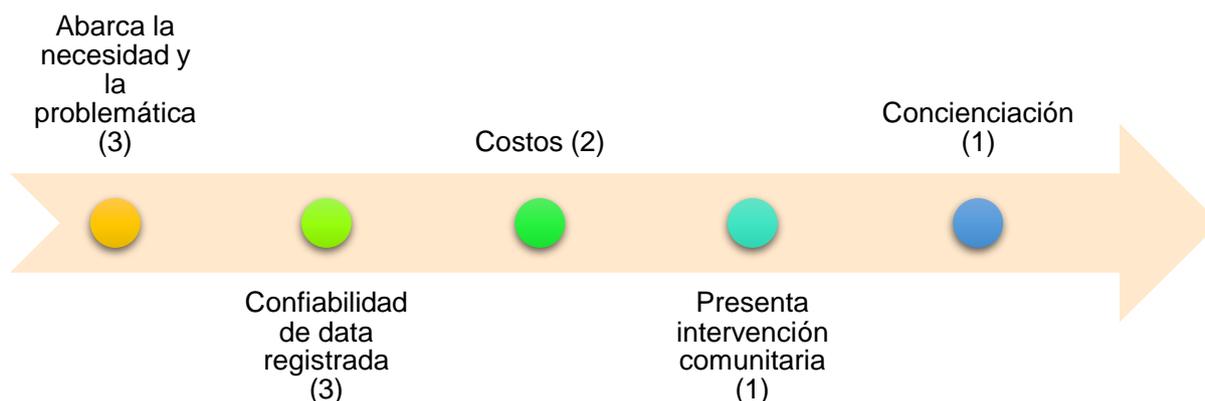


2.8 Propuesta seleccionada: Elaboración de un plan de monitoreo de estuarios

2.8.1 Criterios de selección

Figura 7

Criterios de evaluación considerados para seleccionar la propuesta a desarrollar



Nota. La ponderación propuesta suma una totalidad de 10 puntos. La propuesta con mayor puntuación en base a los criterios de evaluación procedió a ser desarrollada.

Una vez socializados los diseños conceptuales con el cliente, este aseguró que un plan de monitoreo engloba de manera más completa la caracterización de estos cuerpos de agua, ya que, si bien es cierto, no se rige únicamente a un registro de data sino a varios, de tal manera que se puede llegar a identificar como este se comporta en espacio y tiempo, así como también en el caso de ocurrir eventos extremos o anomalías en el medio en que se desarrolla; además de que se puede establecer de manera más acertada si está existiendo alteración alguna en la calidad del agua del estuario, con la ayuda de los registros permanentes y las normativas vigentes.

Se estableció que dicho plan podría replicarse en otros estuarios anexos a la costa en comunidades cercanas ya que los procedimientos pueden ser adaptados fácilmente a cualquier estuario. También se destacó la sección de intervención con la comunidad, en la que se prevé desarrollar propuestas de como la comunidad puede intervenir e interesarse por este tipo de estudios que también los benefician al ser parte de uno de los ecosistemas

anexos a estos cuerpos de agua y de los cuales deben ser los principales actores de cuidado y preservación del mismo, en virtud de garantizar la estabilidad tanto en las actividades productivas de la zona que dependan de este cuerpo de agua así como también de la salud de la comunidad.

Este se planteó en base a tres secciones: Primero, el análisis de calidad de agua que presenta los parámetros esenciales a analizar con sus respectivas metodologías y procedimientos a seguir, así como la frecuencia de las campañas de muestro, los criterios en los cuales se basa la designación de los puntos de muestreo y las consideraciones a seguir para la recolección y preservación de muestras en caso de requerirlo. Segundo, un análisis económico, en donde se dispuso de los costos tanto directos como indirectos de campañas de muestreo durante un año por periodos mensuales, con la finalidad de que los analistas tengan la libertad de seleccionar los parámetros a estudiar en base a su presupuesto dispuesto. Y, por último, la sección de intervención con la comunidad, en la que se desarrollaron propuestas de como la comunidad puede intervenir con acciones e interesarse por este tipo de estudios que también los benefician al ser parte de uno de los ecosistemas anexos a estos cuerpos de agua; así también se realizó un desglose de las posibles instituciones que deben interesarse en el asunto de cuidado y conservación de estuarios.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

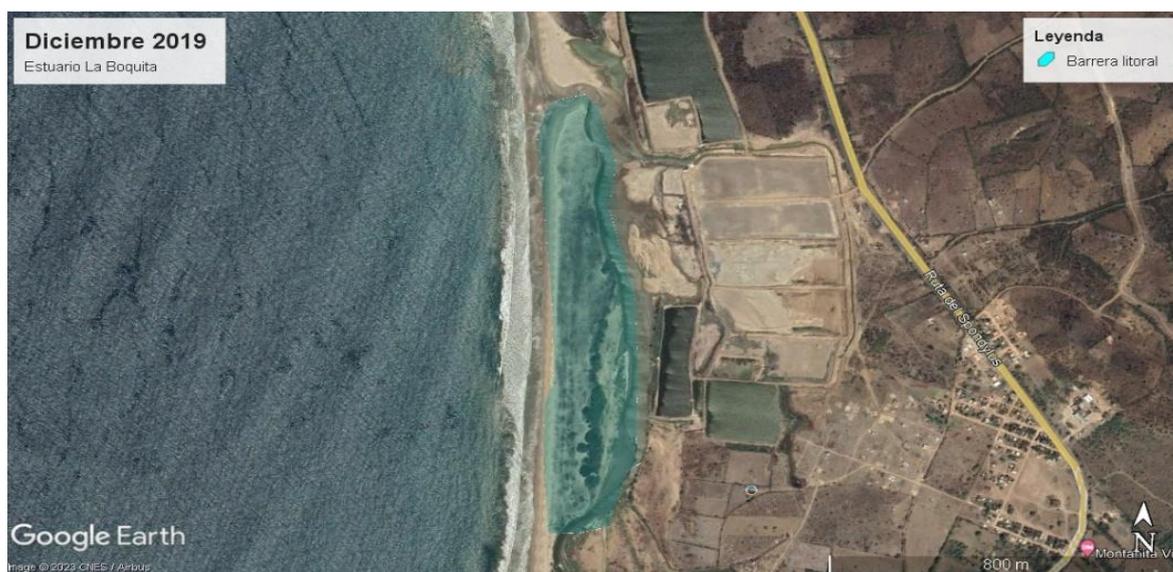
3.1 Tipo de Estuario

El cuerpo de agua localizado en el área de estudio, en el transcurso de los años, ha estado influenciado por la dinámica fluvial y mareal. La morfología de un estuario está dominada por la acumulación sedimentaria que está descrito por las mareas, al empujar hacia arriba el flujo de agua. Este proceso ha destinado que el comportamiento del cuerpo de agua sea intermitente entre la temporada húmeda y seca de la región debido al incremento y disminución del nivel del mar.

En la Figura 6, correspondiente a diciembre del 2019, muestra la estructura del estuario en el inicio de la temporada húmeda, distinguiendo la boca abierta del estuario y la existencia de una franja dunar, la cual se encuentra sombreada de color celeste, y se puede apreciar además la influencia de la marea sobre este como se muestra en los cuadros amarillos de la tabla 4.

Figura 8

Zona de estudio – diciembre del 2019



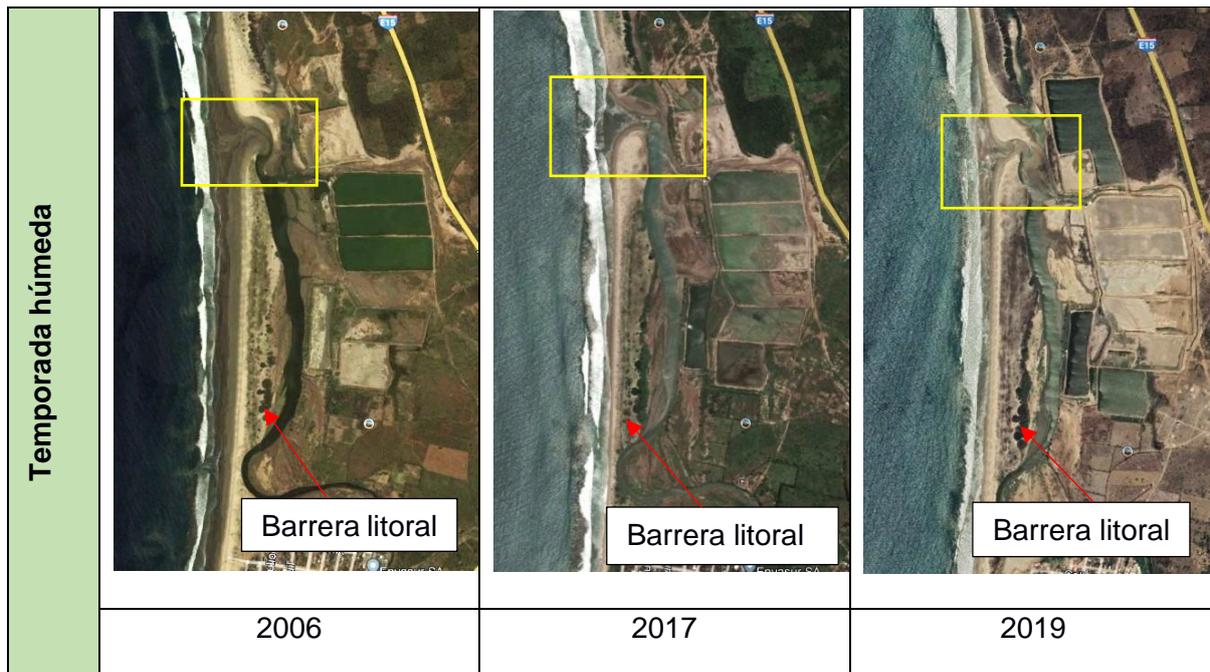
Nota. Imagen tomada desde la plataforma Google Earth (2019)

En la campaña de muestreo, se analizó que disminuía la influencia mareal a lo largo del eje longitudinal de la franja litoral, formando así una laguna o albufera, que es un lago de aguas someras y con baja salinidad separado del mar por una barra o flecha. Por otro lado, en temporada seca, el cuerpo de agua no tiene conexión directa con el mar, es decir, la franja litoral no llega a romperse por efectos de la marea como se muestra en los recuadros rojos en la tabla 4, debido al retroceso del nivel del mar, característico de esta temporada. En la Tabla 4, se muestran el área de estudio en diferentes años, acorde a la temporalidad.

Tabla 4

Zona de estudio en diferentes años, acorde a la temporalidad

Temporada seca			
	2012	2013	2016



Nota. Imágenes obtenidas en Google Earth (2019)

Por tanto, en temporada seca, es un cuerpo de agua encerrado que se comporta como laguna costera por el estancamiento de aguas, pero en época húmeda, por el incremento del nivel del mar y la mayor influencia de los procesos mareales, el extremo de la barra se rompe debido a la erosión ocasionada por el oleaje. De modo que, las mareas logran ingresar a la zona, generando una mezcla, ya marcando un gradiente de salinidad a lo largo del eje longitudinal, con características de estuario de poca profundidad debido al paulatino retroceso del nivel del mar, propio de la temporada húmeda de la región. Por lo que, el estuario puede clasificarse como: Estuario estacional de barrera litoral.

3.2 Establecimiento de datos bases

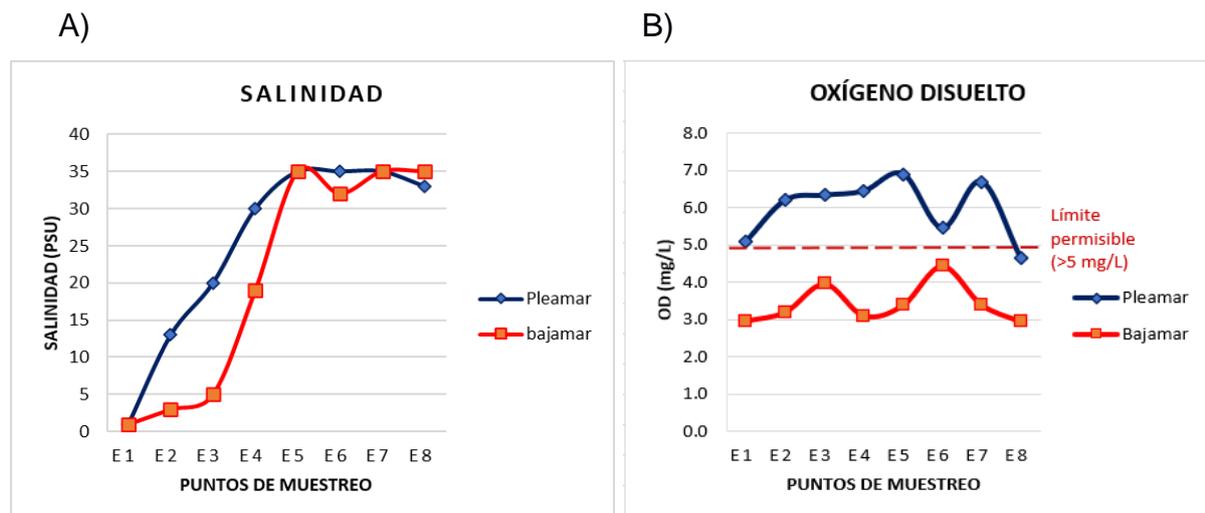
3.2.1 *Parámetros in situ*

Los valores de salinidad medidos en el estuario La Boquita incrementaron en dirección del flujo del agua, siendo menores en los tramos ubicados aguas arriba (Río Valdivia-E1) y mayores en la zona estuarina (zona de mezcla-E2, E3), justo antes de la desembocadura del río en el mar. Específicamente la salinidad presentó valores desde 0 psu hasta 35 psu, no obstante, el marcado descenso de esta en bajamar como se muestra en la figura 6A, deja entre ver la dificultad que presenta el mar para ingresar por la barrera litoral anexa al estuario.

Por otro lado, el oxígeno disuelto presentó fluctuaciones representativas respecto a los rangos mareales como se muestra en la figura 6B, presentando los valores más altos en pleamar y los más bajos en bajamar siendo el menor de 2.94 mg/l, no obstante, la tendencia a decrecer aguas arriba es evidente mostrando incluso valores fuera de los rangos establecidos por el TULSMA que refiere que dicho parámetro debe ser superior a los 5 mg/l en cuerpos de agua estuarinos. Si bien es cierto, las tomas se realizaron en sicigia por lo que se esperaba un escenario de mayores concentraciones debido a la acción de corrientes de marea (hidrodinámica), sin embargo, este comportamiento puede estar relacionado con la tendencia del parámetro de turbidez, que presenta un incremento significativo en los valores registrados aguas arriba del estuario como se muestra en la figura 7A según la transparencia del agua, puesto a que si bien es cierto la zona había sido erosionada por acción de la marea hasta la parte media de la zona de mezcla comprendida entre la E4 y E2, además que la coloración se tornaba un poco más oscuras aguas arriba. Por tanto, a menor transparencia del agua del estuario, menor oxígeno disuelto.

Figura 9

Variación de A) la salinidad y B) oxígeno disuelto en pleamar y bajamar del estuario La Boquita



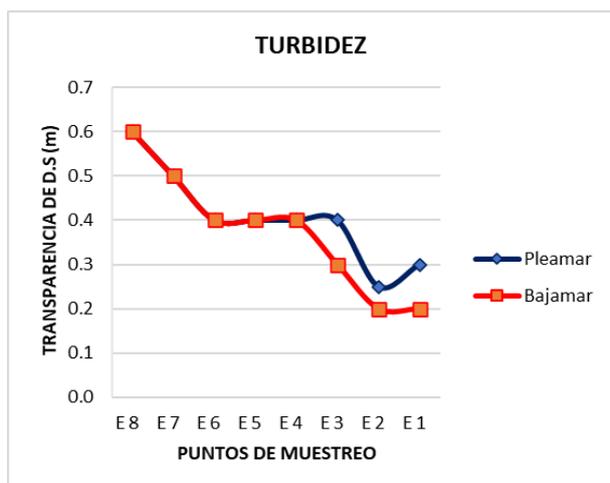
Con lo que respecta al parámetro de temperatura del agua, este mostró que las aguas del estuario en bajamar aún cuando estas presentan mucha variabilidad entre las estaciones

como se muestra en la figura 7B, posee mayores valores que en pleamar alcanzando los 31.6 °C, mientras que en pleamar las temperaturas toman un comportamiento casi lineal variando solo entre los 28°C y 29°C.

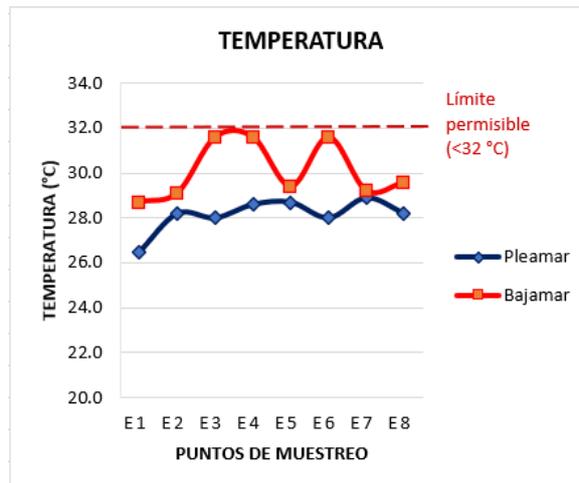
Figura 10

Variación de A) turbidez y B) temperatura en pleamar y bajamar del estuario La Boquita

A)



B)

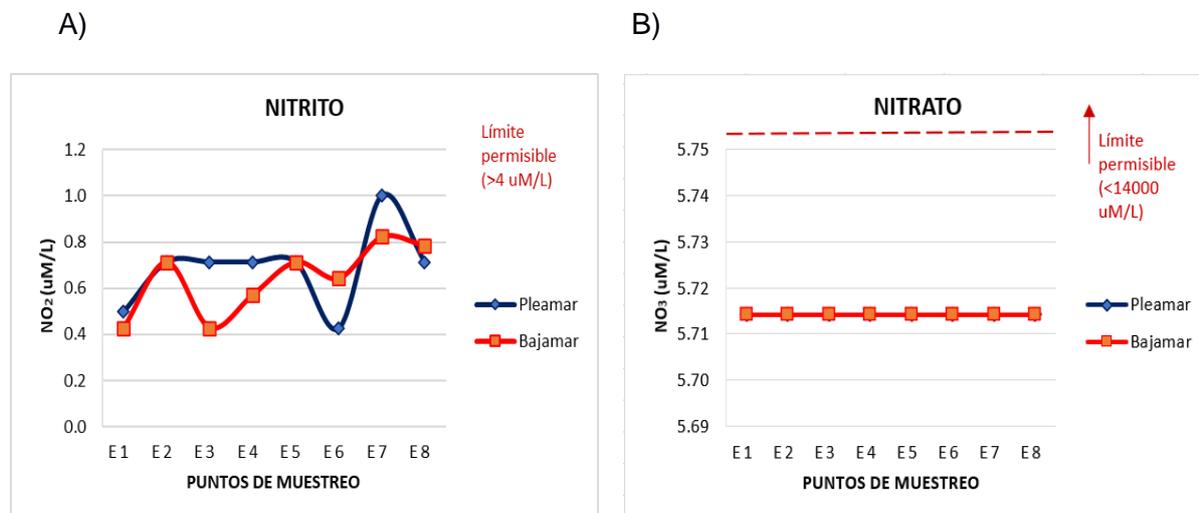


3.2.2 Nutrientes y clorofila a

Los valores identificados en cada uno de los nutrientes analizados presentaron rangos normales respecto al valor de límite admisible que expone TULSMA en referencia a nitritos (70 $\mu\text{M/L}$ en agua de mar y 4 $\mu\text{M/L}$ en ríos) y nitratos (14000 $\mu\text{M/L}$) como se muestra en la figura 8. En este sentido, los valores de nitritos obtenidos a lo largo del estuario muestran que el desarrollo de procesos activos biológicos (crecimiento, degradación, producción y procreación) se da en mayor proporción en las estaciones con menor intrusión salina, es decir, cercanas al río, los cuales muestran los valores más altos de dicho nutriente, alcanzando hasta 1 $\mu\text{M/L}$. Por otro lado, los nitratos presentaron rangos de detección inferiores a los que establecía la metodología empleada (<5.714 $\mu\text{M/L}$) por lo que se estima que estos son relativamente bajos, lo que permite establecer que al menos en el estuario no existen efluentes que contengan fertilizantes. Según Carmouze (1994), la velocidad de regeneración o formación del nitrato es, en general, menor que la de asimilación por los productores primarios, resultando en bajas concentraciones de nitrato en la columna de agua.

Figura 11

Variación de A) nitrito y B) nitrato en pleamar y bajamar del estuario La Boquita



Respecto a los fosfatos y amonio actualmente la normativa vigente no expone valores límites permisibles para estos cuerpos de agua, pero se pudo realizar un análisis interno respecto a dichos parámetros. Como se evidencia en la figura 9A, los valores de fosfatos mantuvieron una tendencia por debajo de los 5 µM/L en pleamar, sin embargo, un escenario muy diferente se presentó en bajamar puesto que se mostraron valores superiores de hasta 20 µM/L manteniendo variaciones constantes a lo largo del estuario. Según Noriega et al., (2009) en estuarios sin contaminación, las concentraciones normalmente deberían variar en torno a 0,81 µM/L, así también, la máxima concentración de fosfato no debe ser superior a 1,2 µM/L o 1,0 µM/L según Aminot y Chaussepied (1983).

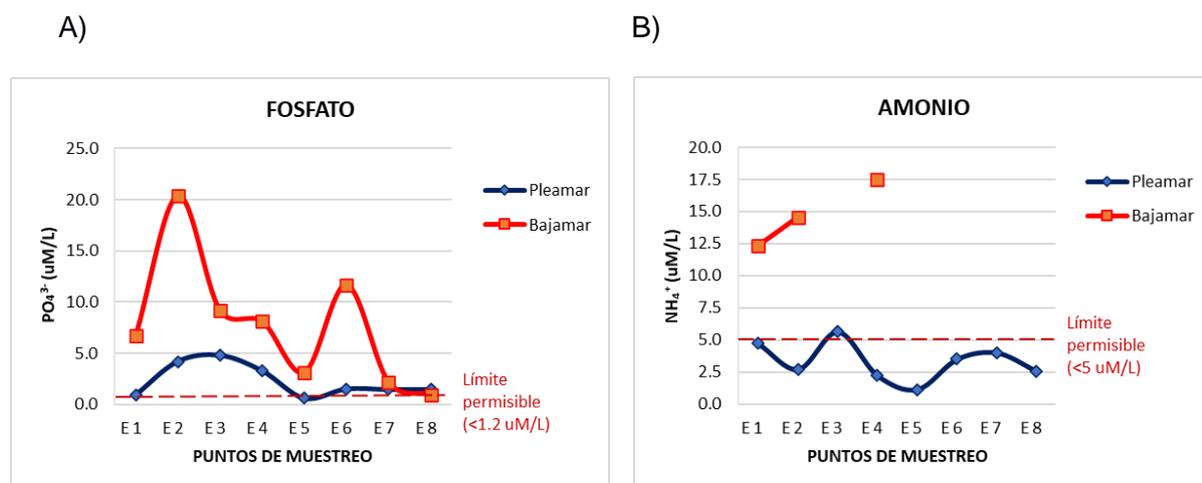
Por otro lado, los valores obtenidos para amonio se muestran por debajo de los 5 µM/L en pleamar, mientras que en bajamar a pesar de que ciertas estaciones presentaron valores por debajo de los de detección, se puede resaltar los altos valores encontrados en las estaciones 2 y 4 correspondientes a la zona de mezcla, así como también en la 1 superando los 10 µM/L como se muestra en la figura 9B. Day et al., (1998) y Grasshoff et al., (1999), citan una concentración de 5 µM/L de amonio como normal en ambientes estuarinos sin contaminación. Si bien es cierto, tanto el fosfato como el amonio son nutrientes importantes debido a su carácter limitante para el crecimiento del fitoplancton, sin embargo,

los rangos identificados en este cuerpo de agua indican que no están siendo asimilados por los organismos fitoplanctónicos existentes en el estuario.

Es así que, las bajas concentraciones de oxígeno disuelto, contrastaron con altas concentraciones de compuestos fosfatados. Es posible que los procesos de biodegradación ocurrieran a lo largo de los ríos, llegando dicha materia orgánica a la zona de confluencia totalmente mineralizada, pero también puede ser indicativo del incremento en los aportes antropogénicos directos e indirectos, mismos que llegan hasta el estuario por la descarga de los ríos producto de las mayores precipitaciones, lo que a su vez puede estar asociado a los bajos niveles de actividad biológica identificados en base a los valores registrados de clorofila-a.

Figura 12

Variación de A) fosfatos y B) amonio en pleamar y bajamar del estuario La Boquita



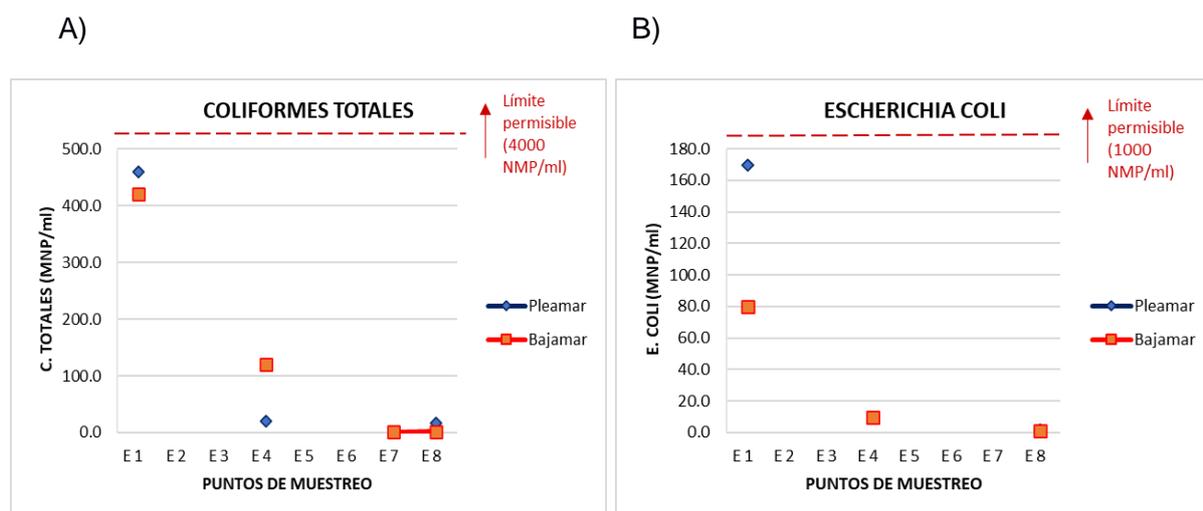
3.2.3 Microbiológico: Coliformes totales y *E. coli*

Respecto a los parámetros que reflejan contaminación por bacterias provenientes de heces tanto de origen animal como humano, estos mostraron valores por debajo del límite permisible (1000 NMP/ ml para *E. coli* y 4000 NMP/ ml para coliformes totales), no obstante, si es importante recalcar que los mayores valores se identificaron en las estaciones más cercanas a la zona de río, es decir, E1 y E2, presentando un valor máximo de 500 NMP/ ml como se muestra en la figura 10, lo que pone en evidencia que tal vez si es necesario establecer un punto de muestreo por encima de E1 para establecer el comportamiento de

este parámetro con la nula influencia de marea. Cabe destacar que la toma de muestra de estos parámetros se realizó en zonas que evidencian efluentes o posibles ramificaciones de agua externas al estuario.

Figura 13

Variación de A) Coliformes totales y B) *E. coli* en pleamar y bajamar del estuario La Boquita



3.2.4 Caracterización física-química y microbiológica del estuario La Boquita.

La siguiente caracterización se encuentra sometida a variaciones espacio-temporales ya que los valores que se presentan son referentes únicamente a la temporada húmeda respecto a las ocho estaciones de muestreo establecidas previamente a lo largo del estuario.

Tabla 5

Caracterización del estuario La Boquita temporada húmeda 2023

Caracterización del estuario La Boquita						
Parámetro	Unidad	Mínimo	Máximo	Límites permisibles	Estado	Estaciones afectadas
Amonio	uM/L	1.14	17.5	<5	Anormal	E1, E2, E3, E4
Clorofila a	Ug/L	0.011	0.766	No establecido	--	
Coliformes totales	NPM/100 ml	16	460	4000	Normal	N/A

Escherichia coli	NPM/100 ml	No detectable	170	1000	Normal	N/A	
Fosfato	uM/L	3.29	6.677	<1.2	Anormal	Todas	
Nitrato	uM/L	<5.71	<5.71	14285	Normal	N/A	
Nitrito	uM/L	0.428	0.785	AD 4	AM 70	Normal	N/A
Oxígeno disuelto	mg/L	2.94	6.7	> 5	Anormal	Todas (bajamar)	
Salinidad	psu	<1	35	---	Normal	N/A	
Temperatura del agua	°C	28	26.5	< 32	Normal	N/A	
Turbidez*	m	0.2	0.6	No establecido	De interés**	E1, E2, E3	

*Medido en virtud de transparencia con Disco Secchis

**De interés: Los niveles reportados se encuentran cerca de los límites de permisibilidad.

AD: Agua dulce AM: Agua de mar

3.2.5 Calidad del agua

Como se mostró en la tabla 4, de los once parámetros analizados, tres de ellos mostraron valores por fuera de los rangos que caracterizan a un estuario como un cuerpo libre de contaminación según la normativa vigente ecuatoriana y trabajos bibliográficos referenciales, sin embargo, en base a ello no es posible establecer que la calidad del agua del estuario es mala, puesto que para esto se requieren más campañas de muestreo para corroborar que dichas alteraciones son constantes o si únicamente están sujetas a un espacio-tiempo determinado, en este caso temporada húmeda 2023, en las ocho estaciones previamente establecidas, así como también verificar que ciertamente los parámetros restantes no muestran alteración alguna. No obstante, considerando que el estuario analizado es intermitente y que únicamente presenta zona de lavado en la temporada seca, si es necesario prestar mucha atención a los parámetros alterados ya que estos se muestran alterados aun cuando dicha zona de lavado existe y se podrían incrementarse aún más e incluso interferir en los procesos biológicos que se desarrollan en el cuerpo de agua.

3.3 Análisis de posibles escenarios en virtud de parámetros alterados en el estuario La Boquita

Tabla 6

Posibles escenarios que pueden presentarse en el estuario La Boquita en virtud de los parámetros alterados

Análisis de posibles escenarios en el estuario La Boquita			
Parámetro	Posibles fuentes de alteración	Afectaciones en el medio	Impactos en la comunidad
Incremento de niveles de fosfato en el estuario	Agricultura, ganadería, aguas residuales de plantas de tratamiento, escorrentía urbana, sistemas sépticos improvisados, camaroneras, laboratorios de larvas	<ul style="list-style-type: none"> • Eutrofización • Hipoxia • Introducción de patógenos 	<ul style="list-style-type: none"> • Muerte de especies acuáticas que habitan el estuario • Pérdida de espacio apto para pesca • Devaluó de las zonas aledañas por mal aspecto
Incremento de niveles de amonio en el estuario	Agricultura, desechos humanos (que se pueden descomponer), descarga industrial	<ul style="list-style-type: none"> • Introducción de patógenos • Hipoxia 	<ul style="list-style-type: none"> • Amenaza a la salud de los consumidores de mariscos. • Muerte de especies acuáticas en el estuario • Cierre de playas y áreas de pesca
Bajos niveles de oxígeno disuelto	Plantas de tratamiento de aguas residuales, residuos de evisceradora, residuos de enlatadora, laboratorio post larvas, construcción, escorrentía urbana, agricultura	<ul style="list-style-type: none"> • Asfixia de especies bentónicas • Reducción en el crecimiento de las especies en el estuario 	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción en la cosecha de crustáceos. • Muerte de especies acuáticas en el estuario • Pérdida de medios de subsistencia de los pescadores artesanales
Incremento de la turbidez o reducción de transparencia	Planta de tratamiento de aguas residuales, construcción, escorrentías, erosión de las zonas anexas, Transporte de sedimentos, ganadería, agricultura, exceso de nutrientes	<ul style="list-style-type: none"> • Introducción de patógenos, contaminación y nutrientes. • Incremento de la temperatura del agua • Reducción de luz para fotosíntesis 	<ul style="list-style-type: none"> • Incremento de erosión de zonas circundantes al estuario • Pérdida de atracción turística del estuario • Afectación en la pesca

Nota. La distinción por colores representa el grado de interés que se les deberá otorgar a los parámetros descritos en futuros monitoreos respecto a los resultados obtenidos ■ Interés alto de monitoreo, ■ Interés medio de monitoreo.

3.4 Elaboración de un plan de monitoreo de estuario permanente. Caso de estudio: La Boquita

PLAN DE MONITOREO PERMANENTE DE ESTUARIOS



1. ANTECEDENTES

Los cuerpos de agua que forman parte del borde costero y que a largo o mediano plazo desembocan en el mar, juegan un papel importante dentro del equilibrio de las zonas costeras, pues representan un gran valor para el desarrollo de las comunidades costeras. Estos espacios albergan una extensa variedad de peces, crustáceos, aves, etc., vida silvestre que, mediante actividades de pesca y recolección, sirven para la alimentación local y la venta de productos.

Concretamente, la flora circundante de los ecosistemas estuarinos ofrece diversos servicios ambientales que son de gran interés para el desarrollo de las comunidades cercanas, sin embargo, estos cuerpos de agua a lo largo de los años han experimentado deterioro en la calidad del agua. Tal es el caso del estuario Atacames, en el cual, el Instituto Oceanográfico de la Armada, en el año 2002 llevó a cabo un estudio de caracterización de la calidad de aguas del río Atacames, en donde se evidenciaba que el ecosistema del río se encontraba contaminado. (Rodríguez, 2002) Otro estudio de calidad y cantidad de agua de la cuenca alta, media y baja; llevado a cabo por la Universidad Técnica Luis Vargas Torres, concluyó que, debido a actividad antrópica directa, el agua de la parte baja del río no es apta para consumo humano. (Martínez, 2014)

Otra gran representación corresponde al estuario del río Chone que, en el 2014, estudiantes de la Escuela Politécnica del Litoral, a través de estudios y caracterización, concluyeron que existe alteración en variables fisicoquímicas del cuerpo de agua, por la presencia de actividad antropogénica, lo que tendría un efecto significativo sobre la abundancia y variedad de especies. (Delgado J. M., 2014)

2. ALCANCE

El común denominador de los estudios llevados a cabo a lo largo de los años en los ecosistemas estuarinos corresponde a la contrastación de variables analizadas en el curso de la caracterización, con aquellas que se han realizado en años anteriores, de modo que se diferencie el comportamiento de las condiciones del cuerpo de agua acorde a la temporalidad.

Sin embargo, con la ausencia de datos que permitan la caracterización de los diversos cuerpos de agua que conectan con el mar, el análisis de calidad no puede desarrollarse. Entonces, es necesario desarrollar protocolos para el monitoreo y la caracterización de la calidad del agua en toda la costa y en áreas específicas para recopilar e interpretar la información monitoreada.

3. OBJETIVO

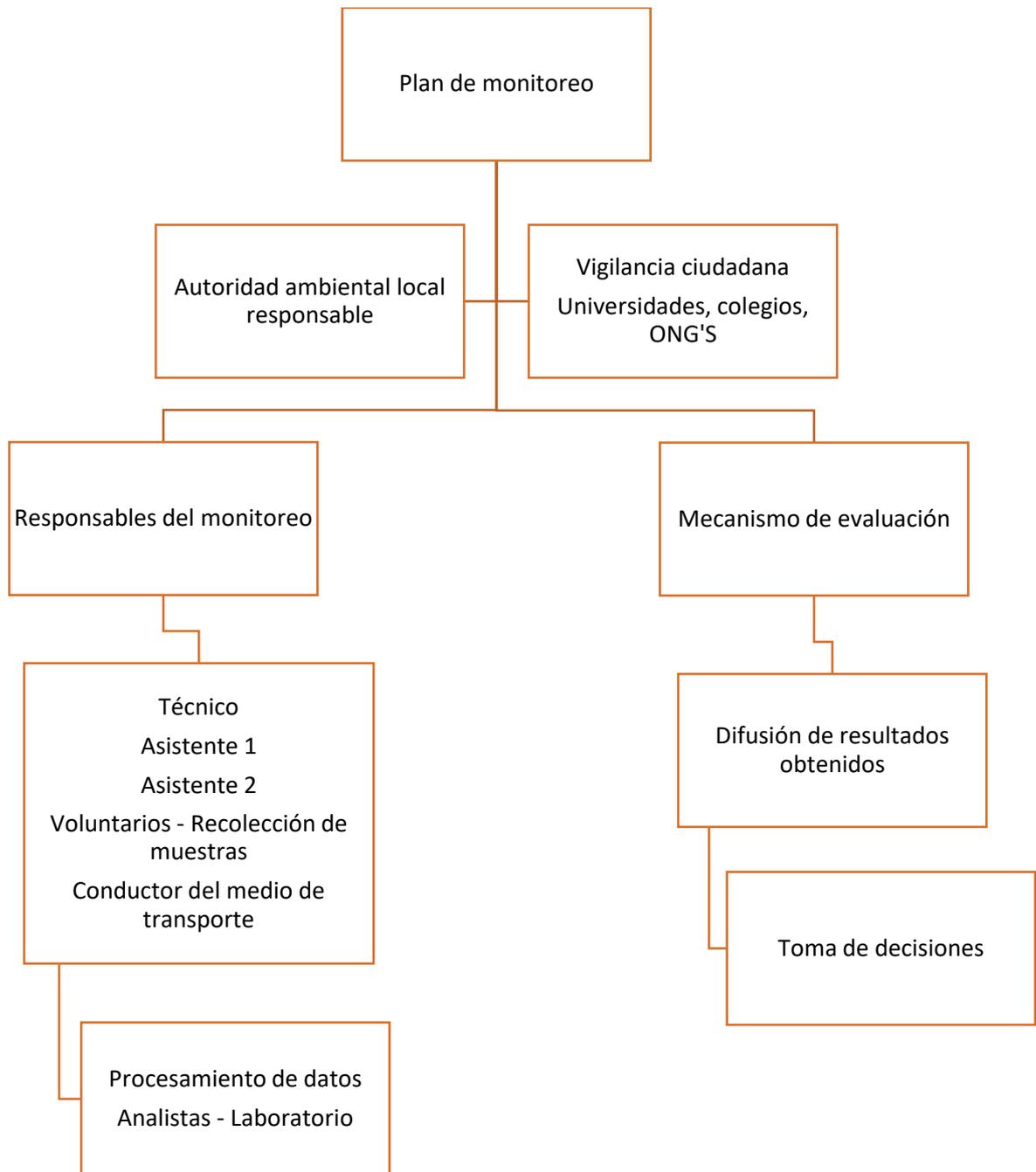
Establecer los procedimientos técnicos para el monitoreo de la calidad del agua en estuarios de poca profundidad, acorde al ciclo de mareas; y definir los parámetros fisicoquímicos, frecuencia y métodos de muestreo para desarrollar el análisis de calidad de agua.

4. NIVELES DE ORGANIZACIÓN

Para la adopción, implementación y ejecución del plan de monitoreo de calidad de agua, es indispensable la interrelación entre autoridades locales, educativas y el involucramiento de la comunidad local, como se muestra en el siguiente esquema.

Figura 14

Niveles de Organización de un Plan de monitoreo



5. PARÁMETROS PARA MONITOREAR

Los parámetros destinados a evaluación en un estuario se establecen en base a la interrelación e importancia en este tipo de ecosistema, los cuales se desglosan en la **Tabla 1**, acorde a la relevancia de cada parámetro en los procesos biológicos propios del cuerpo de agua.

Tabla 7

Variables a evaluar en un estuario

VARIABLES		UNIDAD	Alteración	PROCESOS BIOLÓGICOS AFECTADOS
Oxígeno Disuelto		mg/L	Bajos niveles	<ul style="list-style-type: none"> • Fotosíntesis • Oxidación-reducción • Solubilidad de minerales • Descomposición de materia orgánica
Nutrientes	Nitritos	μM	Altos niveles	<ul style="list-style-type: none"> • Eutrofización
	Nitratos			
	Fosfatos			
	Amonio			
Turbidez		m	Altos niveles	<ul style="list-style-type: none"> • Fotosíntesis
Temperatura		°C	Oscilación	<ul style="list-style-type: none"> • Aceleración o disminución de funciones de procesos biológicos • Distribución de las poblaciones de organismos
Potencial de hidrógeno*		0 - 14	Bajos niveles	<ul style="list-style-type: none"> • Composición química y mineralógica del agua y de los sedimentos del estuario.

Salinidad	PSU	Oscilación	• Crecimiento de especies
Clorofila a		Bajos niveles	• Cantidad de biomasa
Parámetros biológicos	Coliformes totales Escherichia Coli	UFC	Altos niveles
			• Afectaciones en la salud de personas que utilizan recursos del estuario
Sólidos totales *	suspendidos		Altos niveles
			Vida acuática
			• Obstrucción de branquias
			• Genera escasa resistencia de los peces a las enfermedades
			• Disminución en las tasas de crecimiento

Sedimentos de fondo

FUENTE: Fuentes & Deyá, Chapman, De la Lanza, EPA 2006

*El pH y los sólidos suspendidos totales no formaron parte de la caracterización del estuario La Boquita, sin embargo, se resalta la importancia de la evaluación de estos parámetros en el análisis de calidad de agua a futuro. A continuación, se describe la relevancia de cada parámetro en el monitoreo de un estuario.

Oxígeno Disuelto. La biodiversidad presente en los ecosistemas estuarinos depende directamente de la concentración de oxígeno disuelto, además es un factor importante en procesos biológicos como la fotosíntesis y la descomposición de materia orgánica. (Fuentes & Deyá, 2002) El OD representa uno de los parámetros recomendados para evaluación de uso del cuerpo de agua, como parte de un monitoreo básico. (Chapman, 1996)

Nutrientes. Aunque los nutrientes son esenciales para el desarrollo de los organismos acuáticos, una excesiva carga de nutrientes en los cuerpos de agua por acciones antrópicas

puede generar eutrofización, causando así proliferación de algas, reduciendo de esta manera la cantidad de oxígeno en el ecosistema. (de la Lanza, 2014)

*Los principales nutrientes por evaluar son: nitritos, nitratos, fosfatos, amonio y sílice. Que, para efectos del caso de estudio, Estuario La Boquita, se recomienda especial desarrollo y atención al monitoreo de Fosfatos y Amonio, pues las concentraciones obtenidas mediante análisis no son propias de un ecosistema estuarino saludable.

Turbidez. Cuando la transparencia del cuerpo de agua es afectada por una turbidez alta, los procesos biológicos tales como la fotosíntesis son interferidos, lo que afecta la disponibilidad de oxígeno. (EPA, 2006)

Temperatura. Siendo uno de los parámetros de mayor facilidad de medición, es relevante en procesos biológicos, pues puede determinar la funcionalidad de estos procesos. Además, los cambios bruscos de temperatura, puede afectar la distribución de los organismos y su abundancia. (EPA, 2006)

Ph. Dependiendo del nivel de alcalinidad o acidez del cuerpo de agua, se puede inferir acerca de la presencia de minerales, desarrollo de actividades antrópicas o reacciones que se presentan en el estuario. (EPA, 2006)

Salinidad. La concentración de sales disueltas en un cuerpo de agua es importante ya que permite el crecimiento de especies acorde al medio en el que se desarrollan y a diferentes concentraciones de salinidad. (de la Lanza, 2014)

Clorofila A

La clorofila A es un indicador de la cantidad de biomasa que es producida en el ecosistema estuarino, pues es un pigmento de tonalidad verde que se encuentra en el fitoplancton. (EPA, 2002)

Sólidos suspendidos totales. La excesiva materia que se encuentre en suspensión puede provocar efectos negativos en los organismos acuáticas, tal es el caso de la obstrucción de branquias en los peces, interfiriendo en el intercambio de oxígeno y dióxido de carbono, además de la reducción de tasas de crecimiento y la capacidad de detección de presas. (EPA, 2006)

Parámetros biológicos. La presencia de microorganismos patógenos incide directamente en la salud de las personas que se sustentan en la utilización de los recursos que ofrece el estuario. En el monitoreo de microorganismos, se toma como indicador la existencia de E. Coli, al ser una coliforme fecal, además de la existencia de coliformes totales (EPA, 2006).

A continuación, en la **Tabla 2** se muestran los parámetros seleccionados y la respectiva metodología en la cual se basó su toma.

Tabla 8

Parámetros analizados y sus respectivas metodologías

	Parámetro	Unidades	Método*	Equipo
In situ	Oxígeno Disuelto	mg/l	APHA Método 4500-O G	Oxímetro
	Salinidad**	psu	-	Refractómetro ATC TR-110
	Turbidez	m	EPA Volunteer Stream Monitoring: A Methods Manual. Chapter 5.5	Disco Secchis
	Temperatura del agua	°C	APHA Método 2550 B	Oxímetro
Laboratorio CSA	Coliformes Totales	NMP/100 ml	APHA Método 9222 C	Placas Compact Dry por AOAC® y MICROVAL®
	Escherichia Coli	NMP/100 ml	APHA Método 9222 C	Placas Compact Dry por AOAC® y MICROVAL®
Laboratorio de Oceanografía	Amonios	uM/L	APHA Método 4500-NH3-F	Fotómetro Lovibond XD 7000
	Clorofila a		APHA Método 10200 H	Fotómetro Lovibond XD 7000

Fosfatos	uM/L	APHA Método 4500-P-C	Fotómetro Lovibond 7000	XD
Nitritos	uM/L	APHA Método 4500-NO2-B	Fotómetro Lovibond 7000	XD
Nitratos	uM/L	APHA Método 4500-NO3-B	Fotómetro Lovibond 7000	XD

Nota. Adaptado del Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater, 23rd Edition, 2017.

6. CAMPAÑAS DE MUESTREO

6.1. Frecuencia

La frecuencia destinada para las campañas de muestreo debe ser mensual en cuanto a los parámetros analizados en laboratorio, y quincenal para aquellos parámetros que son tomados in situ, debido a la estacionalidad propia de la región, considerando la temporada seca y húmeda, además de las condiciones de marea (pleamar y bajamar). La mayor influencia del proceso mareal en temporada húmeda por el posible incremento del nivel del mar generará un marcado proceso de lavado en el ecosistema estuarino, lo que describirá latentes cambios en la distribución de los parámetros tanto físicos, químicos como microbiológicos, entre las campañas de muestreo acorde a la estacionalidad.

* Si el cuerpo de agua tiene una profundidad mayor a 3 metros, se debe estimar además la distribución vertical de los parámetros a evaluar.

Parámetros para analizar de forma quincenal:

- Oxígeno Disuelto
- Temperatura
- Potencial de hidrógeno
- Salinidad

Parámetros para analizar mensualmente:

- Nutrientes (Nitritos, nitratos, fosfatos, amonio)
- Clorofila a
- Coliformes totales
- Escherichia Coli

Sin embargo, la cantidad de recursos necesaria para mantener la frecuencia de muestreo para cada parámetro tal y como se ha descrito, pueden suponer obstáculos en la continuidad del plan, ya que, en el análisis químico y microbiológico, se requieren reactivos y materiales que representan un alto valor económico. Por dicho fundamento, en la **Tabla 3**, se presentan las modificaciones en la frecuencia de muestreo de los parámetros.

Tabla 9

Frecuencia de muestreo para cada parámetro

PARÁMETROS	FRECUENCIA DE MUESTREO
Oxígeno Disuelto	Mensual
Nutrientes (Nitritos, nitratos, fosfatos, amonio)	Mensual
Temperatura	Mensual
Potencial de hidrógeno	Mensual
Salinidad	Mensual
Clorofila a	Mensual
Coliformes totales	Mensual
Escherichia Coli	Mensual

6.2. Muestreo

Para la respectiva campaña de muestreo, se debe tener en cuenta las consideraciones descritas en la **Tabla 4**.

Tabla 10.

Consideraciones para campaña de muestreo

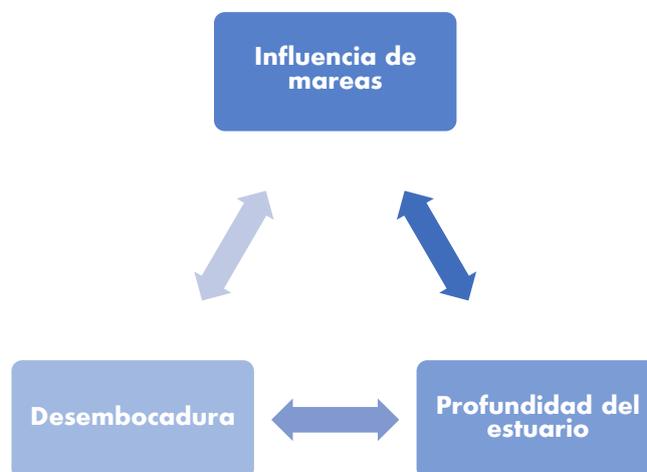
CONSIDERACIONES	LINEAMIENTOS
-----------------	--------------

Cantidad de muestras de agua	<p>La recolección de muestras de agua debe ajustarse al ciclo mareal, es decir:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bajamar: tomar dos muestras de agua • Pleamar: tomar dos muestras de agua <p>*1era muestra de agua: botellas ámbar – análisis químico. *2da muestra de agua: envase estéril – análisis microbiológico</p>
Transporte	<p>Dependiendo de la sección y la profundidad del cuerpo de agua, el muestreo puede realizarse en algún transporte de navegación (profundidad mayor a 5 m) o por toma directa (profundidad menor a 2 m).</p>
Sitio de muestreo	Véase en el apartado 5.2.1
Envases	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de envase: Polietileno o vidrio • Deben estar limpios y secos. (Homogenizar con el agua del sitio de muestreo de ser necesario) • Para frascos estériles, no es necesario la homogenización. • Los recipientes deben ser etiquetados de forma correcta: fecha, nombre del muestreador, número de estación, condición de marea)
Recolección de muestras	<p>Acorde al ciclo de mareas, la toma de muestras debe ser:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bajamar: contraria a la dirección del flujo del río. 2 muestras de agua. • Pleamar: contraria a la dirección del flujo del mar. 2 muestras de agua.
Equipos	Aquellos utilizados para la toma de datos in situ, deben ser correctamente calibrados.
Transporte de muestras	<ul style="list-style-type: none"> • Evitar derrames. • Las muestras requieren temperaturas bajas entre 1° a 5° C, por lo que se deben utilizar hieleras perfectamente aseguradas y etiquetadas.

6.2.1. Distribución de estaciones de muestreo

Las estaciones que se deben definir para realizar la recolección de muestras de agua deben ser seleccionadas fundamentalmente en base a la importancia y accesibilidad de la morfología del cuerpo de agua. En el caso de los estuarios, debido a la influencia del ciclo

mareal, se debe reconocer el comportamiento tanto en pleamar como en bajamar. Por lo que, se establecen recomiendan los siguientes lineamientos para el establecimiento de puntos de muestreo:



- *Influencia de la marea.* – Debido al ingreso de la marea, se acentuará un gradiente de salinidad en el eje longitudinal del cuerpo de agua, por lo que previamente en una campaña de reconocimiento del área de estudio, se deben definir estaciones tanto en la zona de mezcla como en zonas en donde no haya intrusión de agua de mar (de modo que no exista lavado por influencia de marea).
- *Profundidad del estuario.* - En estuarios de poca profundidad, la recolección de muestras de agua se puede limitar a la capa superficial del cuerpo de agua, y a la mitad de este.
- *Desembocadura.* – A partir de la desembocadura, definir al menos 2 estaciones en mar, para corroborar el comportamiento de los parámetros destinados a evaluación, de manera que se evidencie o se descarte la influencia de las condiciones del estuario, sobre el mar.

Para el estuario La Boquita en Valdivia, se establecieron 8 puntos de muestreo previo a la realización del protocolo para análisis de calidad de agua. Los puntos de muestreo se seleccionaron en función de las características biológicas de la zona de estudio, posibles

descarga de aguas por fábricas, influencia del proceso mareal, la extensión de la desembocadura y la dinámica en el mar. Véase **Figura 1**.

Figura 15

Estaciones de muestreo - Estuario La Boquita



Nota. Imagen tomada de Google Earth (2023)

Para la distribución de las estaciones de muestreo, se debe tener en cuenta las consideraciones agrupadas en la **Tabla 5**.

Tabla 11

Consideraciones para establecer estaciones de muestreo

Nº Estación	IMPORTANCIA
1	Distribuir las en zonas cercanas a fábricas de las que se presume existe descarga de aguas residuales. Además, la influencia del agua de mar debe ser mínima.
2	
3	
4	

5	Distribuir las por la zona de mezcla, en donde se pueda evidenciar la intrusión del agua de mar, generando gradiente de salinidad. Zonas en donde se desarrollen actividades antrópicas, como pesca o captura.
6	
7	Ubicarlas en el mar, para evaluar comportamiento de los parámetros.
8	

*En posteriores casos de estudio, se recomienda establecer tan solo 2 puntos de muestreo en el mar y prestar mayor atención en la distribución de estaciones aguas arriba del estuario, es decir, considerar una mayor extensión del área de estudio, estableciendo la posibilidad de evaluar directamente puntos en donde exista una problemática de alteración de la calidad del cuerpo de agua (descarga de aguas servidas evidentes, descargas de aguas residuales industriales, etc.).

6.2.2. Conservación de muestras de agua

En la **Tabla 6**, se establecen las técnicas para la respectiva recolección y conservación de muestras de agua y el análisis de cada parámetro:

Tabla 12

Recolección y conservación de muestras de agua - técnicas

	Parámetros	Tipo de análisis		Tipo de recipiente		Volumen mínimo [ml]	Conservación
		In situ	Laboratorio	Plástico	Vidrio		
Parámetros Físicos - Químicos	OD	X		X	X	-	N/A
	Temperatura	X		X	X	-	N/A
	Salinidad	X	X	X	X	50	N/A
	Turbidez	X		-	-	-	N/A
	Nitritos		X	X	X	80	Refrigeración a 4°C
	Nitratos		X	X	X	80	Refrigeración a 4°C

	Fosfatos	X	X	X	80	Se enfría hasta 1°C y 5°C
	Amonio	X	X	X	80	Refrigeración a 4°C
	Potencial de hidrógeno	X	X	X	50	Refrigerar 1°C y 5°C
	Clorofila a – BO*	X	X	X	80	Refrigerar 1°C y 5°C
Microbiológico	Coliformes totales – EV*	X	X	X	50	Refrigeración a 4°C
	Escherichia Coli – EV*	X	X	X	50	Refrigeración a 4°C

Nota. BO*: Botellas ámbar / EV*: Envase estéril. Adaptado de DOC316.53.01336, HACH

2013

7. MÉTODOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS IN SITU

Teniendo en cuenta que los parámetros a medir in situ son:

- Temperatura
- Salinidad
- Oxígeno disuelto
- Turbidez

El procedimiento correspondiente se detalla a continuación.

7.1. Temperatura y Oxígeno disuelto

Para medir el oxígeno disuelto OD (Oxígeno Disuelto) y la temperatura en las estaciones destinadas para recolección de muestras de agua, se recomienda emplear un medidor de oxígeno “Oxímetro”, el cual se aprecia en la **Figura 2**.

Figura 16

Oxímetro



7.1.1. Uso de un medidor de OD

- Calibrar el oxímetro antes de usarlo.
- Comprobar la conexión del cable entre la sonda y el medidor.
- Asegúrese de que la sonda esté llena de solución electrolítica, que la membrana no tenga arrugas y que no haya burbujas atrapadas en la superficie de la membrana.
- Esperar 15 minutos para que se equilibre antes de calibrarlo.
- Para verificar la precisión del medidor, lo puede calibrar en aire saturado de acuerdo con las instrucciones del fabricante, siguiendo los siguientes pasos:
 1. Llena un vaso de precipitados de 1 litro o un balde con agua del grifo. Marque el número de la botella como "grifo" en la hoja de laboratorio.
 2. Vierta esta agua de un lado a otro en otro vaso de precipitados 10 veces para saturar el agua con oxígeno.
 3. Use el medidor para medir la temperatura del agua y regístrela en la columna de temperatura del agua en la hoja de datos de campo.
 4. Encuentre la temperatura del agua de su muestra de "grifo" en la Tabla 6.
 5. Use el medidor para comparar la concentración de oxígeno disuelto de su muestra con la concentración máxima a esa temperatura en la tabla. Su muestra debe estar dentro de 0.5 mg/L. Si no es así, repita la verificación y si

aún hay un error, verifique las baterías del medidor y siga los procedimientos de solución de problemas en el manual del fabricante.

Tabla 13

Concentración máxima de oxígeno disuelto varía con la temperatura.

Temperature (°C)	DO (mg/l)	Temperature (°C)	DO (mg/l)
0	14.60	23	8.56
1	14.19	24	8.40
2	13.81	25	8.24
3	13.44	26	8.09
4	13.09	27	7.95
5	12.75	28	7.81
6	12.43	29	7.67
7	12.12	30	7.54
8	11.83	31	7.41
9	11.55	32	7.28
10	11.27	33	7.16
11	11.01	34	7.16
12	10.76	35	6.93
13	10.52	36	6.82
14	10.29	37	6.71
15	10.07	38	6.61
16	9.85	39	6.51
17	9.65	40	6.41
18	9.45	41	6.41
19	9.26	42	6.22
20	9.07	43	6.13
21	8.90	44	6.04
22	8.72	45	5.95

Nota. Tabla obtenida del Dissolved Oxygen and Biochemical Oxygen Demand. (EPA)

Una vez que haya verificado que el medidor funciona correctamente, estará listo para medir los niveles de OD en el sitio de muestreo. Para utilizar la sonda, proceda de la siguiente manera:

1. Coloque la sonda en el cuerpo de agua debajo de la superficie.
2. Configure el medidor para medir la temperatura y permita que la lectura de temperatura se estabilice. Registre la temperatura en la hoja de datos de campo.
3. Cambie el medidor para leer oxígeno disuelto.

4. Registre el nivel de oxígeno disuelto en la hoja de datos de campo.

7.2. Salinidad

Para medir la salinidad, se emplea un refractómetro, el cual se fundamenta en la Ley de Snell, índice de refracción de la luz.

Figura 17

Refractómetro



7.2.1. Uso del refractómetro manual

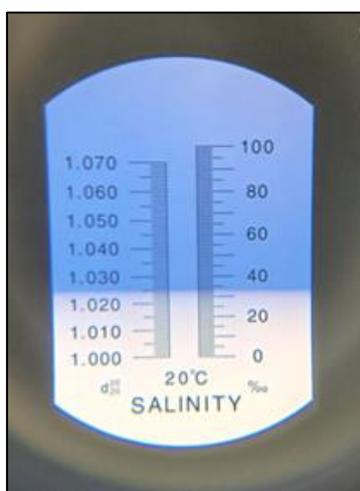
*Instrumento delicado que debe ser resguardado y protegido del calor y cambios drásticos en humedad. *El procedimiento descrito a continuación debe repetirse para cada estación de muestreo:

1. Retraer la cubierta plástica que cubre la lente, en la parte posterior del refractómetro. Verificar que el lente se encuentre limpio.
2. Utilizando un cuentagotas de plástico, colocar una o dos gotas de la muestra de agua sobre la lente. Evitar tocar la superficie del lente con el cuentagotas.
3. Volver la cubierta plástica a la posición inicial.
4. Orientar el refractómetro hacia una fuente de iluminación y observe a través del ocular de este, de manera que pueda distinguir con claridad una escala numérica en el

hemisferio de la lente; esta escala se encuentra calibrada para leer salinidad en partes por mil (‰). Además, podrá observar que su campo de visión está dividido en un hemisferio norte opaco y otro sur translúcido, justo donde ocurre esta división, que corresponde a una línea horizontal que separa ambos hemisferios será su marcador de salinidad en la escala numérica. El punto donde esta línea se interseca con la escala numérica indica la salinidad de su muestra.

Figura 18

Lectura de salinidad en psu en un refractómetro



Nota. Imagen tomada de Estación D data. 15 julio 2023 TW: @franklinormaza1

- Ya registrado el valor de salinidad, levante la cubierta plástica y proceda a lavar con agua destilada la muestra de agua de la lente y de la cara interna de la cubierta plástica y luego secando con papel de manera cuidadosa. Vuelva a la cubierta plástica en su posición original. Al terminar de utilizar el refractómetro recuerde limpiarlo, poner en su estuche y guardarlo en un lugar apropiado.

7.3. Turbidez

Para determinar la turbidez del cuerpo de agua, se emplea el Disco Secchi, disco plano de 20 – 30 cm de diámetro, el cual se utiliza para medir la transparencia del agua.

Figura 19

Disco Secchi



7.3.1. Uso de disco secchi

El disco se sumerge desde la superficie del cuerpo de agua y se calcula la profundidad a la que se deja de ver como medida de transparencia de la columna de agua, y que resultará de la turbidez (partículas y seres vivos del plancton) y de la propia extinción progresiva de la luz solar (específica para la longitud de onda de cada color) que penetra en la superficie de la lámina de agua.

Esta medida simple resulta muy útil para calcular la capa fótica. La zona en la que penetra la luz y es posible la producción primaria de las microalgas y vegetales del litoral. Es una de las medidas clave para evaluar el estado ecológico de un lago y monitorizar a largo plazo el ecosistema.

8. MÉTODOS DE ANÁLISIS DE NUTRIENTES DE MUESTRAS DE AGUA EN LABORATORIO

Para el desarrollo de los ensayos de laboratorio, se utilizaron métodos basados en el [Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater](#) y los procedimientos establecidos en el Manual de Métodos de Lovibond.

8.1. Fotometría

Como ya se estableció, los nutrientes a evaluar corresponden a:

- Nitritos
- Nitratos
- Fosfatos
- Amonio

Para el análisis de nutrientes, se adaptó la metodología de espectrofotometría y se empleó el Fotómetro XD 70000.

Figura 20

Fotómetro XD 7000.



Nota. Imagen tomada de Water Testing, (Lovibond, 2018)

Existen ciertos factores que tienen influencia sobre el análisis fotométrico, los cuales se describen en la **Tabla 8**.

Tabla 14

Factores que influyen análisis fotométrico

FACTORES	IMPORTANCIA
Enturbiamiento y partículas	Perturba la medición y produce resultados mayores. Pueden eliminarse con un filtrado antes de los análisis.
pH	Debe ajustarse antes del análisis para el método de análisis respectivo
Tiempo	En algunos procedimientos el colorante formado en la sustancia es estable por tiempo limitado.

	No superar los tiempos prefijados en los métodos.
Temperatura	La muestra y los reactivos deben estar siempre a temperatura ambiente, de modo ralenticen la velocidad de reacción respectiva a cada parámetro.

8.1.1. Términos asociados a fotometría

Reactivos

Sustancias químicas utilizadas en laboratorio para realizar determinaciones del contenido de diversas sustancias, distribución de constituyentes de muestra, etc. Para efectos del análisis de calidad de agua, los reactivos se añaden en las muestras de agua, con el fin de colorear el nutriente que se requiere analizar.

Figura 21

Sobres de reactivos



Nota. Imagen tomada de Productos Químicos, Reactivos y estándares, (HACH, 2023)

Cubetas

Envases de cuarzo de volumen determinado, empleados para el almacenamiento de la muestra de agua y la agregación del reactivo para posterior análisis por fotometría.

Figura 22

Cubetas en donde se colocan las muestras a analizar



Nota. Imagen tomada de Water Testing, (Lovibond, 2018)

Muestra cero

Muestra que no contiene el reactivo a analizar en ensayo de laboratorio.

8.2. ANÁLISIS DE NUTRIENTES

*Para la correcta manipulación del fotómetro, consultar manual. [Manual Lovibond XD 7000](#).

8.2.1. Metodología de análisis de muestras

Considerando como ejemplo; en la campaña de muestreo en el estuario La Boquita – Valdivia al establecer 8 estaciones y recolección de 1 muestra de agua para el análisis químico tanto en pleamar como en bajamar, se establece la evaluación de los parámetros químicos para cada muestra de agua. Es decir:

- Número de muestras de agua recolectadas: 16 muestras, 8 en pleamar – 8 en bajamar
- Análisis de cada nutriente para cada muestra de agua con respectiva réplica.
- Número de veces a analizar cada nutriente:
 - Nitritos: 32
 - Nitratos: 32
 - Fosfatos: 32
 - Amonio: 32

La cantidad de veces que se tiene que analizar cada nutriente, indica la cantidad de reactivos a utilizar en el ensayo de laboratorio.

Nutriente	N° de ensayos	Reactivo
------------------	----------------------	-----------------

Nitritos	32	NITRIVER 3 / 10 ML
Nitratos	32	NITREVER 3 / 10 ML
Fosfatos	32	PHOSVER 3 / 10 ML
Amonio	32	NITRÓGENO AMONIACAL / 10 ML

Teniendo en cuenta que, al iniciar el análisis en laboratorio las muestras se encuentran en conservación a bajas temperaturas, en el **Tabla 8** se describen algunas recomendaciones a cumplir.

Tabla 15

Recomendaciones previo al inicio de ensayos de laboratorio

VARIABLES	FACTOR	RECOMENDACIÓN
Temperatura de muestras	Para la determinación de cada nutriente, las muestras deben estar a temperatura ambiente.	Sacar las muestras de refrigeración al menos 1 hora antes del ensayo.
Enturbiamiento de muestras	Perturba la medición y produce resultados mayores.	Las muestras de agua deben pasar por un proceso de filtrado mediante.
Suciedad de ensayos anteriores	Al desarrollar el ensayo para determinación de nutrientes con una muestra de las 16 muestras de agua, la cubeta empleada queda contaminada.	Lavar la cubeta con agua destilada y secarla cuidadosamente, cada que se emplea una nueva muestra. Si se determina la concentración de nutrientes en las 16 muestras de agua, con sus 16 réplicas correspondientes, entonces las

cubetas se deben haber lavado y
secado 32 veces

Los métodos para analizar nutrientes se detallan a continuación, los cuales se basan en el [Manual de Método, Lovibond](#).

8.2.2. Determinación de: Nitritos

Se define la información específica del instrumento y materiales para análisis de nitritos

Dispositivo	Cubeta	Longitud de onda	Rango de medición	Reactivo	Método
XD 7000	24 mm	507 mm	0.01 – 0.3 mg/L	NitriVer 3 / 10 ML	Nitrito PP

EJECUCIÓN:

1. Seleccionar el método en el aparato
2. Medición CERO: (sólo se la realiza una vez)
 - Llenar la cubeta de 24 mm con 10 ml de muestra.
 - Cerrar la cubeta
 - Colocar la cubeta en el compartimento de medición del fotómetro

Figura 23

Vista del interior de espectrofotómetro. Lugar de colocación de cubeta



Nota. Imagen tomada de Water Testing, (Lovibond, 2018)

- Pulsar la tecla ZERO
 - Extraer la cubeta del compartimento de medición
3. Añadir un sobre de polvos NitriVer 3 a la cubeta.
 4. Cerrar la cubeta y mezclar el contenido girando.
 5. Poner Colocar la cubeta de muestra en el compartimento de medición.
 6. Pulsar la tecla START
 7. Esperar 20 minutos como periodo de reacción

8.2.3. Determinación de: Nitratos

Se define la información específica del instrumento y materiales para análisis de nitritos

Dispositivo	CUBETA	Longitud de onda	Rango de medición	Reactivo	Método
XD 7000	24 mm	410	1 – 30 mg/L	NitreVer 3 / 10 ML	Nitrato TT

EJECUCIÓN.

1. Seleccionar el método en el aparato
2. Medición CERO: (sólo se la realiza una vez)

- Agregar 1 ml de la muestra en la cubeta
 - Cerrar la cubeta
 - Colocar la cubeta en el compartimento de medición del fotómetro
 - Pulsar la tecla ZERO
 - Extraer la cubeta del compartimento de medición
3. Añadir un sobre de polvos PhosVer 3 a la cubeta.
 4. Cerrar la cubeta y mezclar el contenido agitando 10 veces.
 5. Poner Colocar la cubeta de muestra en el compartimento de medición.
 6. Pulsar la tecla START
 7. Esperar 5 minutos como periodo de reacción

8.2.4. Determinación de: Fosfatos

Se define la información específica del instrumento y materiales para análisis de nitritos

Dispositivo	CUBETA	Longitud de onda	Rango de medición	Reactivo	Método
XD 7000	24 mm	890 mm	0.02 – 0.815 mg/L	PhosVer 3 / 10 ML	Fosfato PP

EJECUCIÓN.

8. Seleccionar el método en el aparato
9. Medición CERO: (sólo se la realiza una vez)
 - Llenar la cubeta de 24 mm con 10 ml de muestra.
 - Cerrar la cubeta
 - Colocar la cubeta en el compartimento de medición del fotómetro
 - Pulsar la tecla ZERO
 - Extraer la cubeta del compartimento de medición

10. Añadir un sobre de polvos PhosVer 3 a la cubeta.
11. Cerrar la cubeta y mezclar el contenido agitando durante 10 – 15 s.
12. Poner Colocar la cubeta de muestra en el compartimento de medición.
13. Pulsar la tecla START
14. Esperar 2 minutos como periodo de reacción

8.2.5. Determinación de: Amonio

Se define la información específica del instrumento y materiales para análisis de amonio:

Dispositivo	CUBETA	Longitud de onda	Rango de medición	Reactivo	Método
XD 7000	24 mm	655 mm	0.01 – 0.8 mh/L	Nitrógeno amoniacal / 10 ML	Amonio PP

*Para determinación de concentración de Nitrógeno amoniacal, los reactivos específicos son: polvo de Ammonium Salicylate y polvo de Ammonium Cyanurate.

EJECUCIÓN.

1. Seleccionar el método en el aparato
2. Destinar 2 cubetas de 10 ml
3. Llenar una cubeta de 24 mm con 10 ml de agua desionizada (agua destilada) y la otra con 10 ml de muestra.
4. Añadir un sobre de polvo de Ammonium Salicylate en cada cubeta, cerrar las cubetas y agitar.
5. Esperar 3 minutos como periodo de reacción
6. Añadir un sobre de polvo Ammonium Cyanurate en cada cubeta, cerrar y agitar.
7. Esperar 15 minutos como periodo de reacción.
8. Colocar la cubeta en blanco en el compartimento de medición.
9. Pulsar tecla ZERO, una vez medido, extraer cubeta.
10. Colocar cubeta de muestra en el compartimento de medición.

9. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE MUESTRAS DE AGUA EN LABORATORIO

Habiendo especificado que los parámetros microbiológicos a evaluar corresponden a:

- Coliformes Totales
- Escherichia Coli

9.1. Compact Dry

Los ensayos de laboratorio se sustentan en el uso de placas de [Compact Dry](#), avaladas por la Asociación Internacional de Químicos Analíticos (AOAC) y el MicroVal.

Compact Dry es un procedimiento simple y confiable que sirve para determinar y cuantificar microorganismos. Sirve para la detección rápida de [Coliformes Totales y Escherichia Coli](#), gracias al sustrato cromogénico X Gluc y Magenta-Ga, los cuales forman características colonias azules/verdeazuladas para e. coli y rojizas para coliformes totales. Se inhibe considerablemente el crecimiento de otros tipos de bacterias. En los resultados, podrán observarse coloraciones amarillentas, que corresponden a otros organismos sin detección.

9.2. Análisis de parámetros microbiológicos

Cabe destacar, antes del inicio del procedimiento correspondiente al análisis, se deben cumplir las siguientes recomendaciones en función de las muestras de agua:

VARIABLES	FACTOR	RECOMENDACIÓN
Muestras de agua	Recolección de muestras de agua	Las muestras de agua deben recolectarse en envases estériles.
Preparación de muestras de agua	En caso de exceso de materia fecal.	Se deben realizar diluciones para cada muestra de agua.
Manipulación de muestras	Asegurar ambiente estéril	Emplear mechero bunsen

Placas Compact Dry	Rotulado	Cada placa que se utilice debe ser correctamente rotulado con el número de la estación y la condición de la marea.
---------------------------	----------	--

9.2.1. Escherichia Coli y Coliformes Totales

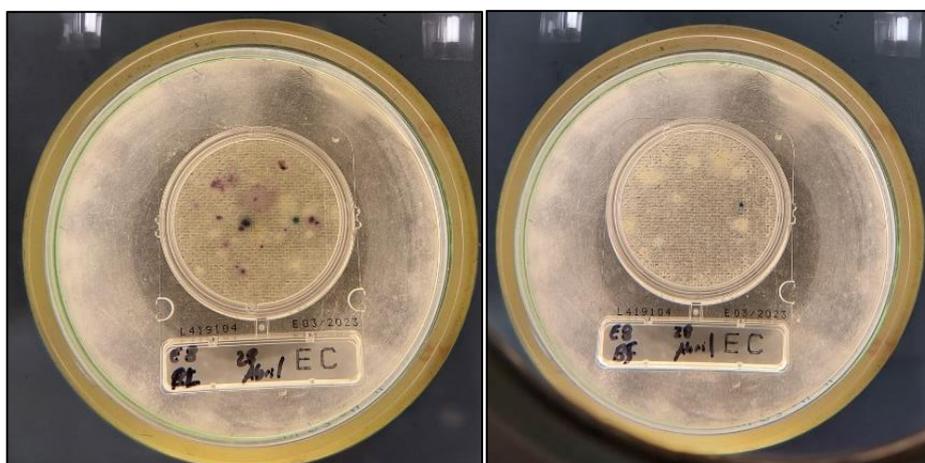
Una vez rotulada cada placa, se siguen los siguientes pasos:

1. Con el envase aún tapado, remover la muestra.
2. Retirar cubierta de la placa.
3. Depositar 1 ml de la muestra la placa Compact Dry.
4. La lámina seca se transforma en un gel en pocos segundos.
5. Vuelva a colocar la cubierta sobre la placa. Incubar a 37 ± 1 °C por $18-24 \pm 2$ horas.
6. Luego de este periodo, se procede a la lectura mediante el conteo de coliformes y e. coli

A continuación, en las figuras 6 y 7, muestran los resultados de la incubación de las muestras recolectadas en la estación 8 y 1 en el estuario La Boquita.

Figura 24

Resultados - Incubación/Estación 8



Nota. Imágenes obtenidas en análisis microbiológico

Figura 25

Resultados - Incubación/Estación 1



Nota. Imágenes obtenidas en análisis microbiológico

Conteo de colonias de Coliformes Totales y *E. Coli* de siembra directa

Para cuantificar las colonias de coliformes totales y *e. coli*, se deben contabilizar los puntos rojos y verde- azuladas respectivamente. En la **Figura 6**, en estación E8, tenemos:

En condiciones de pleamar	En condiciones de bajamar
✓ Coliformes Totales: 16 colonias	✓ Coliformes Totales: No detectable
✓ <i>E. coli</i> : 2 colonias	✓ <i>E. coli</i> : 1 colonia

Por lo que, en unidades UFC para determinación de colonias, debemos a multiplicar el número de colonias por un factor de 10^0 , debido a que la siembra es directa:

En condiciones de pleamar	En condiciones de bajamar
✓ Coliformes Totales: $16 * 10^0 = 1,6 * 10^1 \text{ UFC/ml}$	✓ Coliformes Totales: -
✓ <i>E. Coli</i> : $2 * 10^0 = 2.0 * 10^0 \text{ UFC/ml}$	✓ <i>E. Coli</i> : $1 * 10^0 = 1.0 * 10^0 \text{ UFC/ml}$

*Para la placa de la estación 1, figura 7, podemos observar que no se puede cuantificar debido a que existe exceso de materia fecal y total, por lo que el análisis de estas muestras debe repetirse, pero realizando diluciones.

Diluciones

- Las diluciones se realizan en tubos de ensayo, con ayuda de una pipeta.
- Las diluciones deben hacerse acorde al medio de la muestra: si la salinidad de la muestra es alta, la dilución debe prepararse en solución salina.
- La proporción de solución salina y muestra de agua es de 9:1 respectivamente. Es decir:
 - ✓ En cada tubo de ensayo se agregan 9 ml de solución salina, y 1 ml de la muestra de agua.
 - ✓ La dilución en el tubo de ensayo debe pasarse por un agitador al menos 1 minuto.

Terminadas las diluciones, y cerciorándose de que el agregado a los tubos de ensayo se complete cerca del mechero bunsen, se procede a la siembra en las placas de Compact Dry, repitiendo el proceso de 6 pasos establecido en el apartado 8.2.1 y realizando el conteo respectivo luego del periodo de incubación.

Conteo de colonias de Coliformes Totales y E. Coli de siembra diluida

En la Figura 8 podemos observar los resultados de las muestras diluidas en 9 ml de solución salina, debido al exceso de materia fecal.

Figura 26

Resultados dilución - Estación 1



Realizando el conteo de las colonias de CT Y EC en la estación 1, tenemos:

En condiciones de pleamar	En condiciones de bajamar
✓ Coliformes Totales: 46 colonias	✓ Coliformes Totales: 42
✓ E. coli: 17 colonias	✓ E. coli: 8 colonias

Por lo que, en unidades UFC para determinación de colonias en placas Compact Dry, debemos a multiplicar el número de colonias por un factor de 10^1 , debido a que la siembra es diluida:

En condiciones de pleamar	En condiciones de bajamar
✓ Coliformes Totales: $46 * 10^1 = 4.6 * 10^2 \text{ UFC/ml}$	✓ Coliformes Totales: $42 * 10^1 = 4.2 * 10^2 \text{ UFC/ml}$
✓ E. Coli: $17 * 10^1 = 1.7 * 10^2 \text{ UFC/ml}$	✓ E. Coli: $8 * 10^1 = 8.0 * 10^1 \text{ UFC/ml}$

Considerando que los límites permisibles en la normativa ambiental vigente se encuentran medidos en NMP (número más probable), se indica que, para la respectiva conversión, se debe resolver el factor multiplicado correspondiente a la potencia de 10 en el valor medido de las colonias, es decir, al tener una concentración de coliformes, medido en UFC/ 100 ml:

$1.7 * 10^2 \frac{\text{UFC}}{\text{ml}}$, se procede a multiplicar la potencia de 10 por el número decimal,

obteniendo así la concentración en NMP:

$$1.7 * 100 = 170 \text{ NMP}$$

Agrupando los resultados de las colonias de E. Coli y Coliformes totales en la estación 1 y 8, en la **Tabla 10**, con la conversión respectiva

Tabla 16

Conversión de unidades UFC a NMP

UFC /100 ml	E. Coli	Bajamar	$8,0 * 10^1$	$1,0 * 10^0$
		Pleamar	$1,7 * 10^2$	$2,0 * 10^0$
	Coliformes Totales	Bajamar	$4,2 * 10^2$	No detectable
		Pleamar	$4,6 * 10^2$	$1,6 * 10^1$
NMP	E. Coli	Bajamar	80	1
		Pleamar	170	2
	Coliformes Totales	Bajamar	420	No detectable
		Pleamar	460	16
	N° estación		1	8

9.3. ALMACENAMIENTO DE DATOS

Finalizado el análisis de los parámetros químicos y microbiológicos en laboratorio, se debe proceder a la interpretación de los datos obtenidos, datos que deben encontrarse respaldados acordes a la metodología empleada en la campaña de muestreo. Para la interpretación y tratamiento de los datos, se emplearon plantillas de Excel. (Véase las fichas adjuntas al final del documento)

Es relevante que los datos obtenidos sean almacenados, para que de esta manera se establezcan registros en el tiempo, iniciando con la cadena de antecedentes que permita evaluar las condiciones del cuerpo de agua en posteriores campañas de muestreo.

A medida que la cantidad de datos que se maneje vaya en aumento, se recomienda utilizar una hoja de cálculo, pues esta herramienta permite el implemento de estadísticas,

gráficos y tendencias que pueden aportar a la interpretación y evaluación de los parámetros analizados, a través del tiempo.

9.4. Medidas de seguridad en campañas de muestreo

Para disminuir la probabilidad de errores en la calidad de los datos, se deben tener en cuenta algunas medidas de seguridad en las campañas de muestreo a desarrollar en el programa de monitoreo del estuario, las cuales se especifican en la **Tabla 11**.

Tabla 17

Medidas de seguridad en campañas de muestreo

Factor	Consideraciones
El grupo de trabajo debe	Recibir capacitación para el correcto proceso de recolección de muestras. (Al menos 2 personas)
	Registrar hora y fecha del muestreo
	Previo y durante la campaña, verificar las condiciones del tiempo y ciclo mareal
	Revisar equipos y materiales a utilizar.
El técnico debe	Registrar las condiciones del lugar: tiempo y potenciales fuentes de contaminación
Comunicación, salud y contactos de emergencia	Verificar si el área de estudio tiene cobertura para llamadas, o emplear radio o walkie talkie.
	Registrar el número y dirección del centro de salud más cercano.
	Tener un listado en donde el equipo de trabajo registre contactos de emergencia,

detalles de seguro, alergias y enfermedades.

Botiquín de primeros auxilios

Debe contener:

- Números de emergencias, policía, ambulancia y contactos de emergencia del equipo
 - Manual de primeros auxilios
 - Curitas
 - Vendas
 - Gasas
 - Alcohol
 - Antialérgicos
-

9.5. Implementos para campaña de muestreo

El equipo de trabajo debe disponer de los siguientes implementos el día de la campaña de muestreo:

- Bloqueador solar
- Repelente de insectos
- Chaleco salvavidas
- Teléfono o walkie talkie
- Pilas de repuesto para los equipos
- Guantes
- Agua
- Identificaciones

10. MANEJO DE RESIDUOS GENERADOS EN LABORATORIO POR ANALISIS DE MUESTRAS DE AGUA

10.1. Parámetros químicos

10.1.1. Nutrientes

Los residuos generados en el análisis químico en laboratorio corresponden principalmente a:

- Sobres de polvos reactivos empleados en cada nutriente.
- Muestras de agua con los reactivos añadidos
- Muestras de agua residuales

Los sobres vacíos de los reactivos pueden ser depositados en los contenedores de basura adecuadamente. Por otro lado, las muestras reactivadas para análisis fotométrico deben ser colocadas en recipientes separados, los cuales deben ser destinados para el propósito único, para finalmente disponerlos correctamente acorde al tipo de desecho que se tenga y verificando la hoja de seguridad de cada reactivo.

Los excedentes de las muestras de agua recolectadas pueden verterse en tierra.

10.1.2. Clorofila A

Residuo: Acetona y papel filtro.

El residuo de acetona, generado en el filtrado de las muestras de agua se debe destinar a un recipiente de polipropileno, el cual debe ser muy bien cerrado, considerando el uso de la campana. Finalmente, se la etiquetará como “SOLVENTE ORGÁNICO NO HALOGENO (Y2)” y se deberá especificar que es un líquido inflamable.

El recipiente deberá mantenerse en un lugar fresco hasta que se disponga su transporte y deposición final fuera del campus. De manera externa, se procederá a verter las diluciones en arena o cemento para que se absorban y luego incinerarlas.

10.2. Parámetros microbiológicos

Los residuos generados en el análisis microbiológico en laboratorio corresponden principalmente a:

- Placas Compact Dry con los cultivos
- Soluciones salinas para dilución

- Muestras de agua residuales

La forma adecuada de desechar una placa Compact Dry dependerá de las regulaciones y normativas de gestión de residuos de tu localidad o lugar de trabajo. Sin embargo, se deben especificar algunas pautas generales:

- Esterilización: Antes de desechar las placas, es importante inactivar los microorganismos presentes en ellas para evitar la propagación de posibles patógenos. Se puede hacer de varias maneras, como autoclavado, incineración o desinfección química.
- Sellado hermético: Colocar las placas Compact Dry en una bolsa de plástico resistente o en un recipiente sellado herméticamente para evitar cualquier fuga o contaminación.
- Etiquetado: Etiquetar claramente la bolsa o el recipiente con la información necesaria para identificar el contenido y el riesgo asociado. Se permite incluir información sobre los microorganismos presentes y la fecha de eliminación.
- Desecho regulado: Verificar las regulaciones locales o las recomendaciones del laboratorio en cuanto a la disposición de residuos biológicos. En algunos lugares, las placas Compact Dry pueden clasificarse como residuos biológicos y requerir un tratamiento específico.
- Eliminación adecuada: Seguir las directrices proporcionadas por las autoridades de gestión de residuos o el departamento de seguridad y salud en el trabajo para garantizar una eliminación adecuada y segura. Esto puede incluir la entrega a un centro de tratamiento de residuos médicos o biológicos.

Siempre es recomendable consultar con expertos en seguridad y gestión de residuos en tu lugar de trabajo o institución para asegurarte de que estás siguiendo los procedimientos correctos.

11. COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE MONITOREO

Para la implementación del plan de monitoreo, se debe especificar el requerimiento de un presupuesto para desarrollar las actividades que conforman a dicho plan, por lo que, se detallan costos referenciales a tomar en cuenta en función de los equipos, materiales y e implementos a utilizar durante las campañas de muestreo y análisis de laboratorio, si se pretende desarrollar el análisis químico y microbiológico de manera autónoma.

Tabla 18

Costo referencial de equipos

COSTO REFERENCIAL DE EQUIPOS						
Parámetros In situ						
			UND.	CANT.	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Equipos / toma de parámetros In situ	Salinidad	Refractómetro	u	1	\$ 26,0	\$ 26,0
	Temperatura	Oxímetro	u	1	\$ 1.610,0	\$ 1.610,0
	Oxígeno disuelto					
	Turbidez	Disco Sechi	u	2	\$ 33,0	\$ 66,0
PARÁMETROS QUÍMICOS						
Equipos / Análisis de parámetros químicos	Nitritos	Fotómetro	u	1	70000	70000
	Nitratos					
	Fosfatos					
	Amonio					
					Subtotal	\$ 71702.0
					Iva. 12%	\$ 8604.2
					TOTAL	\$ 80.306,2

A continuación, se muestran los costos de los paquetes de reactivos requeridos en el desarrollo de los análisis. (Cada paquete cuenta con 100 sobres)

Tabla 19

Costo referencial de reactivos

DESCRIPCIÓN	CANT.	PRECIO UNITARIO	TOTAL
--------------------	--------------	----------------------------	--------------

Sobre de reactivo en polvo 3 fosfato 5 ml	1	\$ 57.98	\$ 57.98
Nitriver 3 / 10 ML PK 100	1	\$ 78.26	\$ 78.26
Sobres de reactivo en polvo para nitrato / 10 ml	1	\$ 88.26	\$ 88.26
Sobres de reactivo en polvo para nitrógeno amoniacal / 10 ML	1	\$ 231.20	\$ 231.20
		SUBTOTAL	\$ 455.70
		IVA 12%	\$ 54.68
		TOTAL	\$ 510,38

Finalmente, en la siguiente tabla, se establece el cronograma valorado para una campaña de muestreo, unificando y desglosando costos de: toma de muestras, personal de muestreo y de laboratorio, análisis de muestras de agua con sus correspondientes reactivos, materiales, costos

Tabla 20

Costo referencial para el plan de monitoreo mensual

COSTO REFERENCIAL -PLAN DE MONITOREO MENSUAL

CAMPAÑA DE MUESTREO

		UND.	CANT.		COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Personal	Técnicos	u	3	\$	300.0	\$ 900.0
	Asistentes	u	2	\$	100.0	\$ 200.0
Materiales	Botellas ámbar	u	16	\$	1.3	\$ 20.0
	Envases estériles	u	16	\$	0.3	\$ 4.0
	Costos varios			\$	63.0	\$ 63.0
Transporte	Furgoneta	u	1	\$	150.0	\$ 150.0

ANÁLISIS QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO

Requerimientos		UND.	CANT.		COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Personal	Técnico / Anl. Químico	días	3	\$	300,0	\$ 900.0
	Técnico / Anl. Microbiológico	días	3	\$	300,0	\$ 900.0
Reactivos	Análisis de Nitritos	u	32	\$	0.9	\$ 28.0
	Análisis de Nitratos	u	32	\$	1.0	\$ 31.6
	Análisis de Fosfatos	u	32	\$	0.6	\$ 20.8
	Análisis de Amonio	u	32	\$	2.6	\$ 82.9
Acetona al 90%	Análisis de Clorofila A	u	1	\$	2.4	\$ 2.4
Placas Compact Dry	Análisis de E. Coli	u	16	\$	6.0	\$ 95.8
	Análisis de Coliformes	u				
	Totales					
	Costos varios			\$	40.30	\$ 40.30
					TOTAL/	\$ 3438.9
					mensual	

COSTO REFERENCIAL -PLAN DE MONITOREO ANUAL

PLAN MONITOREO MENSUAL	DE	u	12	\$	3.438,9	\$	41266.3
---------------------------------------	-----------	----------	-----------	-----------	----------------	-----------	----------------

Como se logra visualizar, se tiene que el presupuesto solicitado para el muestreo y el análisis es de \$ 3438.9. Destacando que la frecuencia de las campañas se estableció de

forma mensual, el presupuesto anual a destinarse para las campañas de muestreo es respectivamente de \$41266.3.

El segundo escenario corresponde a la realización del análisis químico y microbiológico en laboratorios externos (acreditado por la OAE), por lo que se deben unificar los costos del análisis de cada parámetro a los precios de análisis y productos que establece la Organización externa. A continuación, se detalla el cronograma valorado para la campaña de muestreo, y los costos de los análisis por cada parámetro.

Tabla 21

Costos referenciales para campaña de muestreo y análisis / Externo

COSTO REFERENCIAL - PLAN DE MONITOREO MENSUAL					
CAMPAÑA DE MUESTREO					
		UND.	CANT.	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Personal	Técnicos	u	3	\$ 47	\$ 141
	Asistentes	u	2	\$ 30	\$ 60
Materiales	Botellas ámbar	u	16	\$ 1.25	\$ 20
	Envases estériles	u	16	\$ 0.25	\$ 4
	Costos varios			\$ 63	\$ 63
Transporte	Furgoneta	u	1	150	150
ANÁLISIS QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO					
PARÁMETROS	Análisis de Nitritos	u	32	\$ 6	\$ 192
	Análisis de Nitratos	u	32	\$ 7	\$ 224
	Análisis de Fosfatos	u	32	\$ 5	\$ 160
	Análisis de Amonio	u	32	\$ 7	\$ 224
	Análisis de Clorofila A	u	32	\$ 7	\$ 224
	Análisis de E. Coli	u	16	\$ 19.99	\$ 319.84
	Análisis de Coliformes	u	16		
Totales					
				Subtotal	\$ 1344
				Iva 12%	\$ 161
				Sub + Iva	\$ 1505

			TOTAL/mensual	\$ 1.943
COSTO REFERENCIAL - PLAN DE MONITOREO ANUAL				
PLAN DE MONITOREO u	12	\$ 1.943	\$ 23.316	
MENSUAL				

Acorde a esta opción, el presupuesto mensual debe corresponder a \$ 1943, por lo que, para la implementación del plan de monitoreo, el presupuesto anual, acorde a la frecuencia establecida, debe ser de \$23316.

*Nota: el costo de equipos no se debe considerar en el presupuesto, pues estos pueden solicitarse como préstamos en los laboratorios.

12. ACTORES CLAVES EN EL MONITOREO DEL ESTUARIO LA BOQUITA

Tabla 22

Actores claves en el proceso de monitoreo del estuario La Boquita

ACTORES IDENTIFICADOS	COMPETENCIAS
Ministerio del Ambiente, MAATE Agua y Transición Ecológica	Incrementar la recuperación, conservación, protección del medio ambiente y de las cuencas hidrográficas y el acceso permanente a agua en calidad y cantidad.
Subsecretaría de - Patrimonio Cultural	Administración técnica de las áreas protegidas.
Alcaldía Municipal de Santa Elena GADSE	Según COA Art. 54.- Funciones. - Son funciones del gobierno autónomo descentralizado municipal las siguientes: k) Regular, prevenir y controlar la contaminación ambiental en el territorio cantonal de manera articulada con las políticas ambientales nacionales.
Gobierno Autónomo GADPSE Descentralizado Provincial de Santa Elena	Impulsar el progreso mediante de un proceso de acción participativa, teniendo como objetivo el desarrollo de la provincia.

Gobierno Descentralizado de Manglaralto	Autónomo Parroquial	GADPM	Cuidar, manejar y recuperar los recursos naturales, así como también apoyar el manejo integral del filo costero.
Asociación artesanales de pescadores		-	Sociedad civil
Asociación evisceradores		-	
Comités (comunidad en general)	barriales	-	
Centro de Salud		MSP	
Empresa Enlatadora		ENVASUR S.A	Procesadora de productos del mar
Aquagen		-	Servicios de laboratorio post larvas y criadero de camarón.
Escuela Politécnica del Litoral	Superior	ESPOL	Aporte de la academia a gestión de recursos costeras de las comunidades costeras del país con servicios de investigación.

13. INTERVENCIÓN COMUNITARIA

El desarrollo de un plan de monitoreo como se muestra en la figura 27, requiere de un sin número de actores claves, sin embargo, una parte indispensable es la intervención de la sociedad civil de la zona, es decir, aquellos que conforman o se desarrollan en la comunidad expuesta a estudio. El aporte de la comunidad es un recurso importante y complementario a toda la información que se puede adquirir desde lo conceptual e investigativo, puesto que estos son los principales sujetos expuestos a las dolencias que acarrea un espacio en particular por su estancia permanente y el mismo empirismo que desarrollan con el paso del tiempo. Así también, se crean puentes entre los ciudadanos y los gestores de los recursos hídricos como la base para una sociedad activa, educada, articulada, y el electorado efectivo de administradores ambientales. Esta base es un componente esencial en la gestión y preservación de nuestros recursos hídricos. A continuación, se muestra un diagrama que muestra las posibles acciones que podría desarrollar la comunidad para aportar el monitoreo del estuario La Boquita.

Figura 27

Acciones comunitarias para monitoreo



Así también, el estuario, puede servir como recurso empleado para fines educativos hacia el público estudiantil de la comuna y otros sectores cercanos con la finalidad de fortalecer conocimientos respecto a la variedad latente y funcionalidad de cuerpos de agua, así como también resaltar los servicios ecosistémicos que ofrece y la importancia de conservarlos y cuidarlos.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

1. Debido a la interrupción del cordón litoral en temporada húmeda por la influencia del proceso mareal y a las concentraciones de salinidad (que llegan hasta los 20 UPS en pleamar) a lo largo del área de estudio, se concluye que el cuerpo de agua es un estuario estacional de barrera litoral. Los resultados obtenidos luego de la campaña de muestreo demuestran la relevancia de continuar con el monitoreo de los parámetros analizados en el estuario, pues la bibliografía no actualizada de zonas adyacentes al cuerpo de agua, no reflejan similitud entre los rangos obtenidos en el presente trabajo de investigación como es el caso de nitratos en la cuenca aportante (4,6 – 1,357 mg/L) y en el estuario (0,008 mg/L), que si bien puede sustentarse en el lavado que experimenta el estuario por acción del ciclo mareal no es concluyente debido a la escasa data registrada a través de los años. Por otro lado, si se espera inferir acerca de la presencia de minerales, corroborar el desarrollo de actividades antrópicas e identificar las reacciones que hay en el estuario, es importante considerar evaluar el pH y sólidos suspendidos totales, el cual da una idea de la cantidad de materia que se encuentre en suspensión, lo que puede provocar efectos negativos en los organismos acuáticos.
2. En base a los rangos referenciales establecidos respecto a cada uno de los parámetros analizados, se concluye que de los once parámetros estudiados únicamente tres de ellos se encuentran alterados a lo largo del estuario La Boquita respecto a límites considerados permisibles para un buen estado del mismo, siendo estos, fosfato, amonio y oxígeno disuelto (registrando valores $> 5 \mu\text{M/L}$, $> 1 \mu\text{M/L}$, $< 5 \mu\text{M/L}$ respectivamente). No obstante, la calidad del agua del estuario no puede establecerse en base a la alteración de tres parámetros ni mucho menos empleando como referencia una sola temporalidad, puesto a que estos parámetros están sujetos a variaciones de espacio y tiempo, por lo que es esencial realizar al menos

mensualmente campañas de muestreo para corroborar las alteraciones presentadas, así como también monitorear el comportamiento de los otros parámetros. Además, se establece que ciertamente la variación de los parámetros se encuentra sujeta al rango mareal, mostrando las mayores anomalías en bajamar y que cuando existen condiciones de pleamar este humedal desarrolla de manera efectiva el filtro natural que permite lavar la escorrentía proveniente del Río Valdivia y depositar en menor proporción contaminantes en el mar.

3. En virtud de los posibles escenarios descritos que se pueden desarrollar por la alteración de los parámetros y la continua contribución de contaminantes provenientes de actividades antropogénicas se concluye que, las amenazas a las que se encuentra expuesto tanto el estuario en estudio como la comunidad adyacente son inminentes debido a la gran cantidad de aportes de fuentes de contaminantes que se desencadenan a través de las actividades productivas que se realizan en la zona, en su mayoría de industria (enlatadora, laboratorios, entre otros) que, por lo general no cuentan con un correcto sistema de gestión de residuos o de tratamiento del agua empleada en sus procesos de producción, así como también las propias actividades desarrolladas por la comuna (ganadería, agricultura, etc) y las necesidades no cubiertas por los entes institucionales como la garantía de servicios de alcantarillado en toda la comuna. Si bien es cierto, la comuna Valdivia no se caracteriza por desarrollar a gran escala el arte de pesca de peces y crustáceos en el estuario ni basar su medio de subsistencia en la misma, por lo que las afectaciones económicas más bien podrían darse si la contaminación se intensifica y se expande hasta aguas costeras incidiendo aún más en el bajo porcentaje turístico de la zona. Así también, la alteración de ciertos parámetros podría poner en peligro la calidad del agua del estuario y aportar al deterioro de los servicios ecosistémicos que brinda, desde ser hogar para aves migratorias, peces y crustáceos hasta la afectación de los procesos naturales de este como la propia descontaminación del agua.

4. En base al punto anteriormente expuesto, se concluye que el monitoreo y control constante de la calidad del estuario La Boquita puede contribuir a que los posibles escenarios presentados y las amenazas inminentes por contaminación puedan ser prevenidas o incluso contrarrestadas a tiempo de ser necesario con las respectivas medidas de remediación, gracias a que permitiría luego de varias campañas establecer cuáles son los rangos característicos de este e identificar valores anómalos que puedan significar algún riesgo o alteración en la calidad de agua de dicho cuerpo. Esto contribuiría a establecer acciones concretas de cuidado y preservación no solo por organismos gubernamentales, sino también por la misma comunidad en virtud de mejorar la salud del medio en el que se desarrollan, así como también empoderarse de la gran capacidad de salvaguardar ecosistemas únicos en una sociedad decadente en valores ambientales y poca conciencia del recurso.
5. Considerando además el presupuesto, expuesto en el presente proyecto, destinado a las compañías de muestreo, análisis de parámetros en laboratorio, y capacitación al equipo de trabajo, para un correcto desempeño en el monitoreo del cuerpo de agua, y contrastándolo con las medidas de remediación de un estuario, en donde no se deba sólo implementar procesos de descontaminación, sino la representación de pérdida de fuentes de alimentación en escenarios en donde se desarrollen actividades de pesca y captura, entre otros servicios, se concluye que la implementación de un monitoreo del cuerpo de agua, indiferente del valor económico, es esencial para no extralimitar la función y la capacidad del ecosistema estuarino. No obstante, al proponerse un plan de monitoreo que pueda llevarse a cabo por voluntarios sean estos de la propia comuna, la academia o la comunidad científica, hace que la viabilidad sea mayor, debido a la reducción de costos en comparación con análisis más especializados.

4.2 Recomendaciones

1. Se recomienda que el programa de monitoreo se lleve a cabo de manera constante, de preferencia en periodos mensuales para lograr la mayor recolección de datos y poder constatar los valores obtenidos y generar una data limpia respecto a la variación de los parámetros analizados. En el caso de que el factor económico no lo permita así, se recomienda que al menos se realice un monitoreo trimestral o por estacionalidad (seca y húmeda), enfatizando aquellos parámetros que de manera constante presente anomalías. Por lo general los parámetros bacterianos y el oxígeno disuelto son los que mayor influencia representan en la salud de los pobladores y en el medio marino.
2. Se recomienda que además del análisis de parámetros físicos, químicos y biológicos, también se realice una caracterización y un análisis de distribución de sedimentos para conocer el comportamiento de los parámetros antes mencionados en virtud de estos y que tipo de contaminantes pueden ser transportados o depositados en el fondo por su interacción.
3. Se recomienda que, previo al desarrollo del plan de monitoreo se precise el rol que se le otorgará a cada uno de los actores y evaluar de manera constante si las funciones que demanda su rol se están cumpliendo, esto en virtud de que todos trabajen por el bien de la comuna, priorizando la transparencia de los procesos así como también la toma de medidas correctivas y el acatamiento de las mismas en el caso de ser necesarias, sin establecer conflictos de intereses, sino más bien una mediación que beneficie a todas las partes involucradas. Esto se puede desarrollar en conjunto con la comunidad y los GADs, mismos que si bien es cierto, son los tomadores de decisiones y los que de manera activa y enérgica pueden exigir consensos y acciones para el cuidado y preservación de estos ecosistemas únicos en el mundo.

4. Destinar un programa de limpieza que se adapte a las actividades desarrolladas en la comuna. La implementación del programa debe considerar la periodicidad de la actividad, de manera que quede en evidencia el riesgo que supone a la salud y los ecosistemas acuáticos la emisión de desechos que terminan en los cuerpos de agua.
5. Como la zona de estudio se encuentra anexa a zonas abandonadas de camaroneras, se debe destacar entre la comunidad, la importancia de prohibir los asentamientos en estos sitios.
6. A través de una campaña dirigida por los líderes de la comuna, se deben identificar las conexiones ilegales de descargas domésticos a la red pluvial y proceder a sancionar a los responsables.

REFERENCIAS

- Aguado, A., Godoy, C., Martínez, E., Urmeneta, F., Navarro, J., Paredes, A., . . . Sandoval, N. (2017). *DELIMITACIÓN Y CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL DEL ESTUARIO DE LA CUENCA DEL RÍO RAPEL, PARA LA ELABORACIÓN DE LA NORMA SECUNDARIA DE CALIDAD DEL AGUA*. Ministerio de Medio Ambiente- Gobierno de Chile.
- Alcaraz-Ariza, F. (2012). *Salinidad y vegetación*. Universidad de Murcia. Obtenido de <https://www.um.es/docencia/geobotanica/ficheros/tema18.pdf>
- Aminot, A., & Chaussepied, M. (1983). Manuel des analyses chimiques en milieu marin. (CNEXO, Ed.) *Editions Jouve*, 395.
- Becerra-Tapia, N., & Botello, A. V. (1996). Bacterias coliformes totales, feclaes y patógenas en el sistema lagunae Chantuto-Panzacola, Chiapas, México. *Hidrobiológica* , 5(1-2). Obtenido de <https://hidrobiologica.izt.uam.mx/index.php/revHidro/article/view/584>
- Bolund, P., & Hunhammar, S. (1999). Ecosystem services in urban areas. *Ecological Economics*, 29, 293-301.
- Cai, W.-J., Feely, R. A., Testa, J. M., Li, M., Evans, W., Alin, S. R., . . . Bednaršek, N. (2021). Conductores naturales y antropogénicos de la acidificación en los grandes estuarios. *Annual Review of Marine Science*, 13(1). Obtenido de <https://www.aoml.noaa.gov/es/news/natural-and-anthropogenic-drivers/>
- Chango, A., & Nacimba, N. (2015). *Propuesta de un plan de monitoreo de estuarios y evaluación de calidad del agua. Caso de estudio: Estuario de la subcuenca del Río Atacames*. Escuela Politécnica Nacional , Quito .
- Chapman, D. (1996). *Water quality assessments : a guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring*. behalf of United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, World Health Organization, United Nations Environment Programme.
- Day, J., Hall, C., Yáñez, A., & Kemp, W. (1998). Estuarine Ecology. *ResearchGate*, 13(1), 558. doi:10.2307/1351438
- de la Lanza, G. (2014). *Protocolo para el muestreo de calidad del agua en ríos endorréicos y exorréicos, y en humedales para la aplicación de la Norma de Caudal Ecológico* . Instituto de Biología - UNAM.
- Delgado, J. M. (2014). *Fuentes de contaminación y calidad de agua en un tramo del Estuario del Río Chone, Bahía de Caráquez-2014*. Universidad Estatal de Guayaquil.
- Delgado, J., Retamales, R., Luz Soto, R. P., Acosta, V., & López, C. (2020). Variación de calidad de agua en el estuario Río Chone, Manabi, Ecuador . *Foro Iberoamericano*, 512-521.

- Environmental Protection Agency . (2002). *Developing and implementing an estuarine water quality monitoring, assessment and outreach program* . Cincinnati: EPA ORD Publications .
- EPA. (2002). *Developing and implementing an estuarine water quality monitoring, assessment, and outreach program*. Cincinnati: Environmental Protection Agency.
- EPA. (2006). *Volunteer Estuary Monitoring a Methods Manual*. Wetlands: Environmental Protection Agency.
- EPA. (s.f.). *Dissolved Oxygen and Biochemical Oxygen Demand*. U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY.
- FAP . (2021). *Fondo de Inversión Ambiental Sostenible* . Obtenido de <https://fias.org.ec/el-fondo-de-areas-protegidas-fap-ecuador-casi-dos-decadas-conservando-el-mayor-tesoro-natural-del-pais/>
- Fuentes, F., & Deyá, A. (2002). *Manual de Laboratorios ecología de microorganismos*. Universidad de Puerto Rico.
- Galván, C. (2014). *CLASIFICACIÓN DE ESTUARIOS A DIFERENTES ESCALAS ESPACIALES MEDIANTE LA INTEGRACIÓN DE MODELOS FÍSICOS Y BIOLÓGICOS*. Universidad de Cantabria , Santander.
- Google Earth . (2019). *Google Earth* . Obtenido de <https://earth.google.com/web/search/comuna+valdivia,+santa+elena,+ecuador/@-1.92948481,-80.72429215,2.30044002a,4647.91117283d,35y,0h,0t,0r/data=CigiJgokCf6SMWJomzVAEf6SMWJomzXAGWBWCHuBRj5AIVeuidWrXVLA>
- Grasshoff, K., Kremling, K., & Ehrhardt, M. (1999). *Method of Sea Water Analysis*. Germany: Wiley-VCH. Obtenido de <https://gradocienciasdelmar.files.wordpress.com/2012/09/methods-of-seawater-analysis.pdf>
- HACH. (2023). *Productos Químicos, Reactivos y estándares*.
- Jiménez, R., Robalino, C., & López, R. (2011). *Debido a la ausencia de antecedentes en base a la caracterización del estuario, se referenciarán estudios desarrollados en áreas circundantes a Valdivia, como la Bahía de San Pedro, ubicado al sur, y caracterizaciones de la cuenca baja del Río Valdivia*. ESPOL.
- Limones, E. (2014). *Diseño de un modelo administrativo de manejo costero integrado para la comuna Valdivia, parroquia Manglaralto, cantón Santa Elena, provincia de Santa Elena, año 2014*. Tesis postgrado , Universidad Estatal Península de Santa Elena, Santa Elena.
- Lovibond. (2018). *Water Testing*. Alemania: Tintometer GmbH.

- Martín, M., Rojas, M., & London, S. (octubre de 2016). Servicios ecosistémicos del estuario de Bahía Blanca y el conflicto del dragado. *Revibec: Revista iberoamericana de economía ecológica*, 26, 59-71.
- Martínez. (2014). *Medición de la calidad y cantidad del agua de la cuenca alta, media y baja del río Atacames*. Universidad Técnica Luis Vargas Torres.
- NERRS. (14 de julio de 2022). *Estuaries for Everyone*. Obtenido de NOAA: <https://coast.noaa.gov/estuaries/>
- Nieto, N., & Regalado, K. (2019). *Análisis de la potencialidad de implementar el manejo costero integrado en base a la normativa nacional actual sobre la comuna Valdivia en la provincia de Santa Elena para el período 2018-2019*. ESPOL, Guayaquil. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/58611dbc-7c43-4f20-ad4b-5a87475e6c73/D-76661.pdf>
- NOAA. (s.f.). *Estuaries: Nature's Water Filters*. NOAA. Obtenido de <https://coast.noaa.gov/elearning/estuaries/filter/>
- Noriega, C., Muniz, K., Flores-Monte, M., Macêdo, S., Araujo, M., Feitosa, F., & Lacerda, S. (2009). Series temporales de variables hidrobiológicas en un estuario tropical (Brasil). *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 44(1), 93-108. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-19572009000100009>
- Ormaza-González, F., & Villalba-Flor, P. (1994). The measurement of nitrite, nitrate and phosphate with test kits and standard procedures: A comparison. *Water Research*, 28(10), 2223-2228. doi:[https://doi.org/10.1016/0043-1354\(94\)90035-3](https://doi.org/10.1016/0043-1354(94)90035-3)
- Perillo, G. (1995). *Geomorphology and Sedimentology of Estuaries*. Amsterdam: Elsevier Pub. CO.
- Perillo, G. (1995). *Geomorphology and Sedimentology of Estuaries* (Vol. 53). (G. Perillo, Ed.) Bahía Blanca, Argentina.
- Quintana, X., Trobajo, R., & Ramón, M. (1999). *Nutrientes y renovación del agua en aiguamolls de l'Empordà. (NE de la península Ibérica). Uso potencial de agua residual para la inundación de zonas húmedas*.
- RAMSAR. (1971). Convención relativa a los humedales internacional especialmente como hábitat de aves acuáticas. Irán: UNESCO.
- Rivera, C., Zapata, A., Pinilla, G., & Donato, J. (2005). Comparación de medidas espectrofotométricas y fluorométricas de clorofila -a. *Scielo*, 10(2). Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-548X2005000200007&script=sci_arttext
- Rodríguez, A. (2002). *Caracterización y calidad de las aguas y sedimentos del río Atacames*. Acta Oceanográfica del Pacífico Vol. 12.

- Sánchez, E., Colmenarejo, M., Vicente, J., Rubio, A., García, M., Travieso, L., & Borja, R. (2007). Use of the water quality index and dissolved oxygen deficit as simple indicators of watersheds pollution. *Ecological Indicators*, 7(2), 315-328. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2006.02.005>
- Serrano, A., Vásquez, L., Ramos, M., Basáñez, A., & Naval, C. (dic de 2013). Diversidad y abundancia de aves en un humedal del norte de Veracruz, México. *Scielo*, 29(3). Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0065-17372013000300002
- TEEB. (2014). *Glossary of terms*. The economics of ecosystems and biodiversity. Obtenido de <https://teebweb.org/>
- Tomczak, M. (2000). *Estuarios*. Instituto de Ciencias del Mar . Obtenido de <http://www.physocean.icm.csic.es/IntroOc/lecture12-es.html#p5>
- Villalba, F. (1989). *Variabilidad temporal y espacial de nutrientes entre San Pedro y Manglaralto*. ESPOL.
- Zarza, L. (2021). *¿Qué es un estuario?* IAgua. Obtenido de <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-estuario>

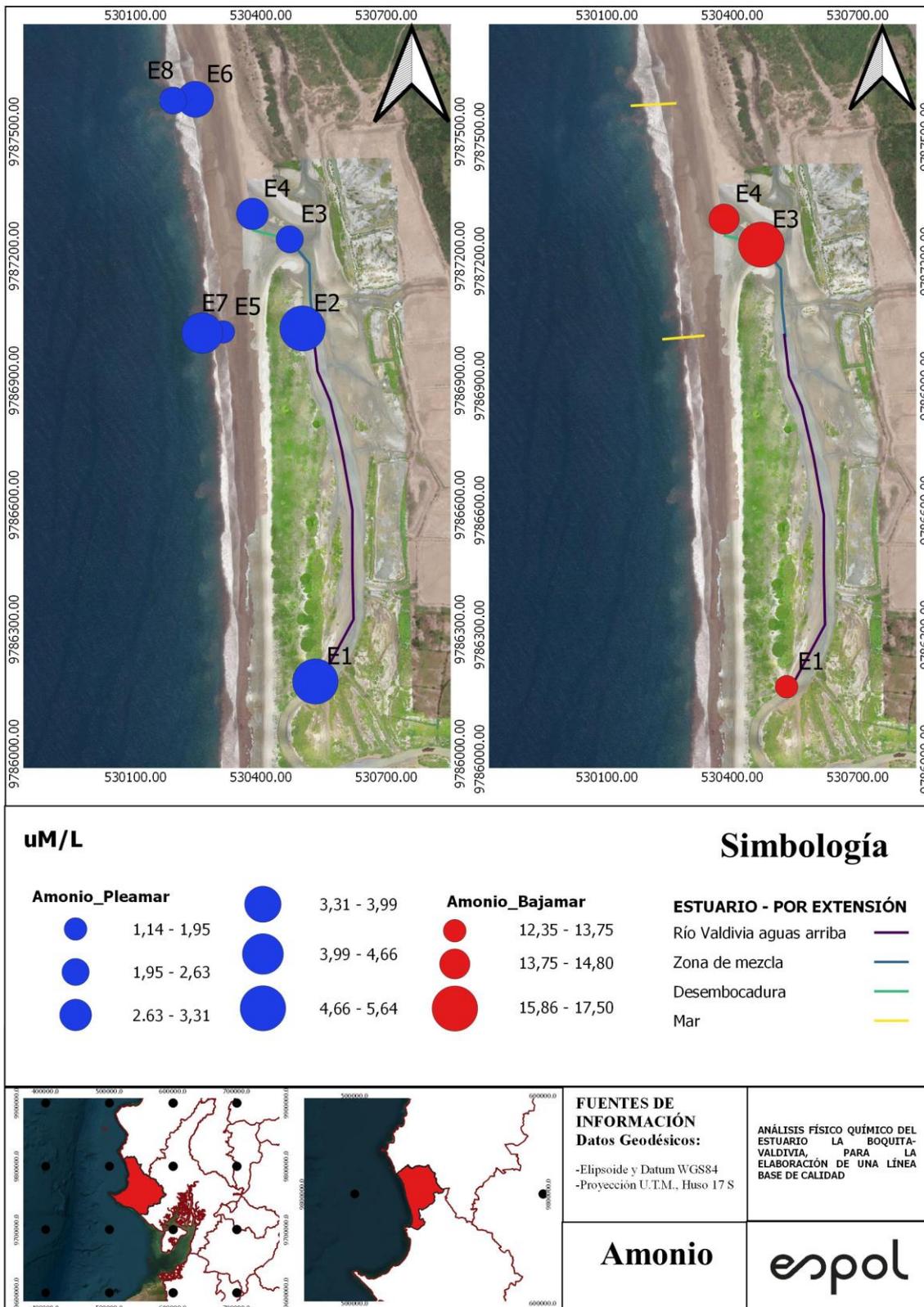
APÉNDICES

Apéndice A. Tabla de valores obtenidos en el análisis de nutrientes realizado con espectrofotometría.

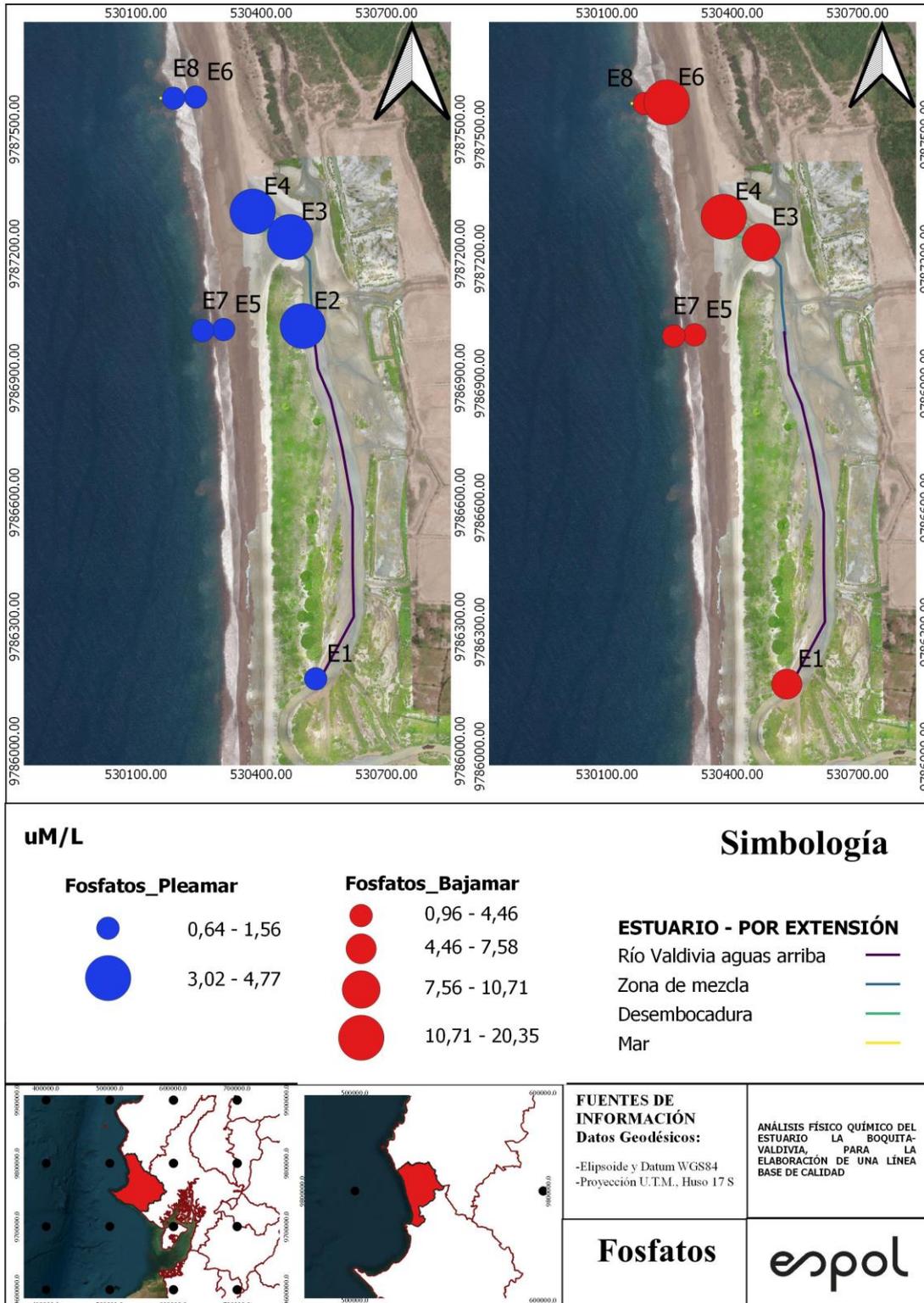
Análisis de nutrientes por espectrofotometría								
Marea	Nitrito [mg/L]		Nitrato [mg/L]		Amonio [mg/L]		Fosfato [mg/L]	
	P	B	P	B	P	B	P	B
E1	0.010	0.010	<0.08	<0.08	0.012	0.173	0.029	0.207
	<0.010	0.011	<0.08	<0.08	0.066	0.173	0.030	0.182
E2	0.009	0.013	<0.08	<0.08	0.038	0.202	0.130	0.631
	0.014	0.010	<0.08	<0.08	0.037	0.204	0.025	0.152
E3	0.009	0.013	<0.08	<0.08	0.048	ND	0.131	ND
	0.014	0.010	<0.08	<0.08	0.079	ND	0.148	ND
E4	<0.010	0.010	<0.08	<0.08	0.023	0.245	0.104	0.253
	0.006	<0.009	<0.08	<0.08	0.031	0.244	0.102	0.252
E5	<0.010	<0.010	<0.08	<0.08	0.014	ND	0.047	0.057
	<0.010	<0.010	<0.08	<0.08	0.016	ND	0.020	0.097
E6	<0.010	0.005	<0.08	<0.08	0.013	ND	0.048	0.293
	<0.010	0.006	<0.08	<0.08	0.049	ND	0.027	0.362
E7	<0.010	<0.010	<0.08	<0.08	0.056	ND	0.015	0.068
	<0.010	<0.010	<0.08	<0.08	0.026	ND	0.046	0.025
E8	<0.010	0.006	<0.08	<0.08	0.036	ND	0.046	0.027
	0.007	0.005	<0.08	<0.08	0.013	ND	0.025	0.030

Nota. Esta tabla contiene tantos los primeros valores como los obtenidos al realizar el duplicado.

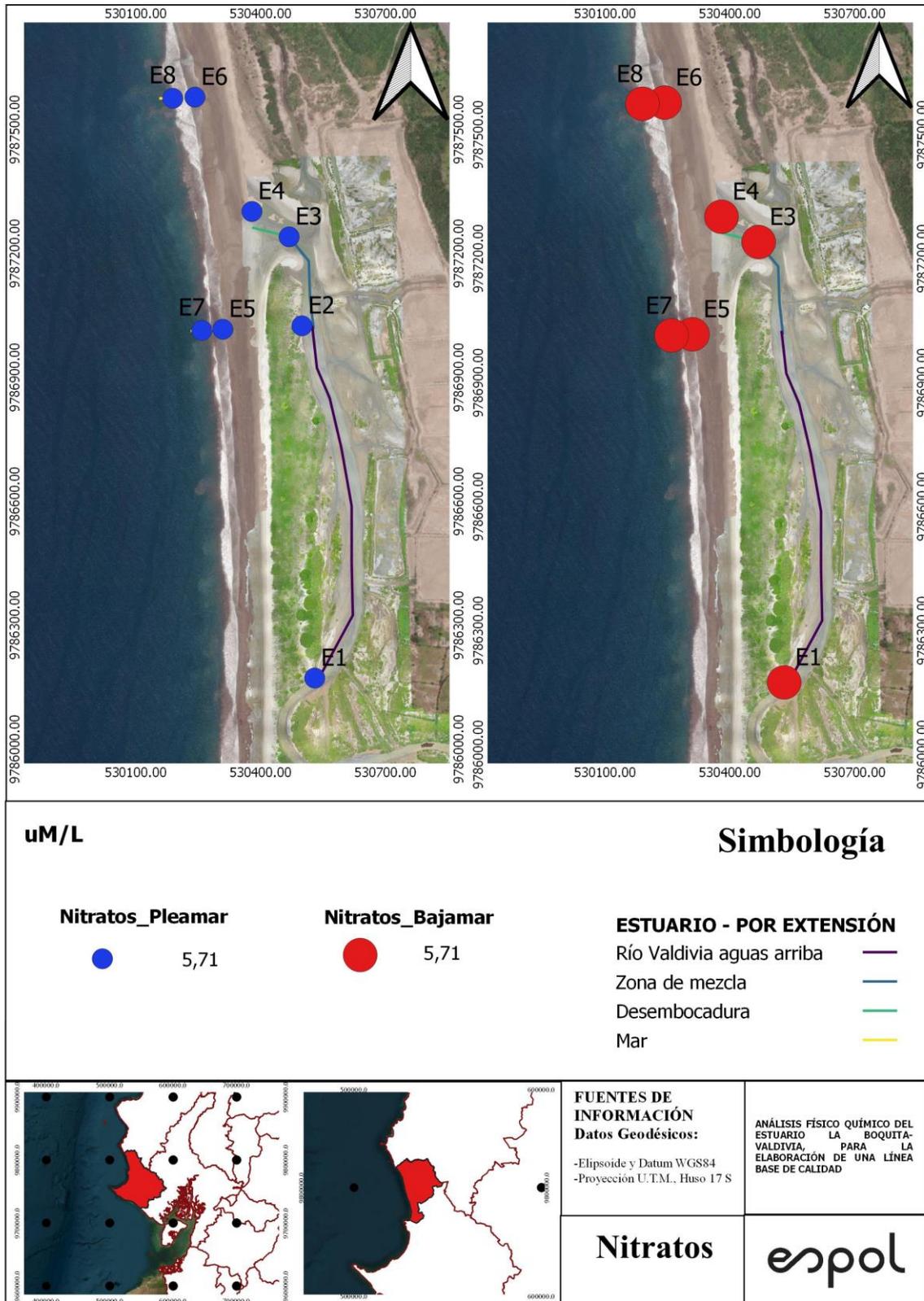
Apéndice B. Mapas referenciales de la variabilidad de amonio a lo largo del estuario La Boquita



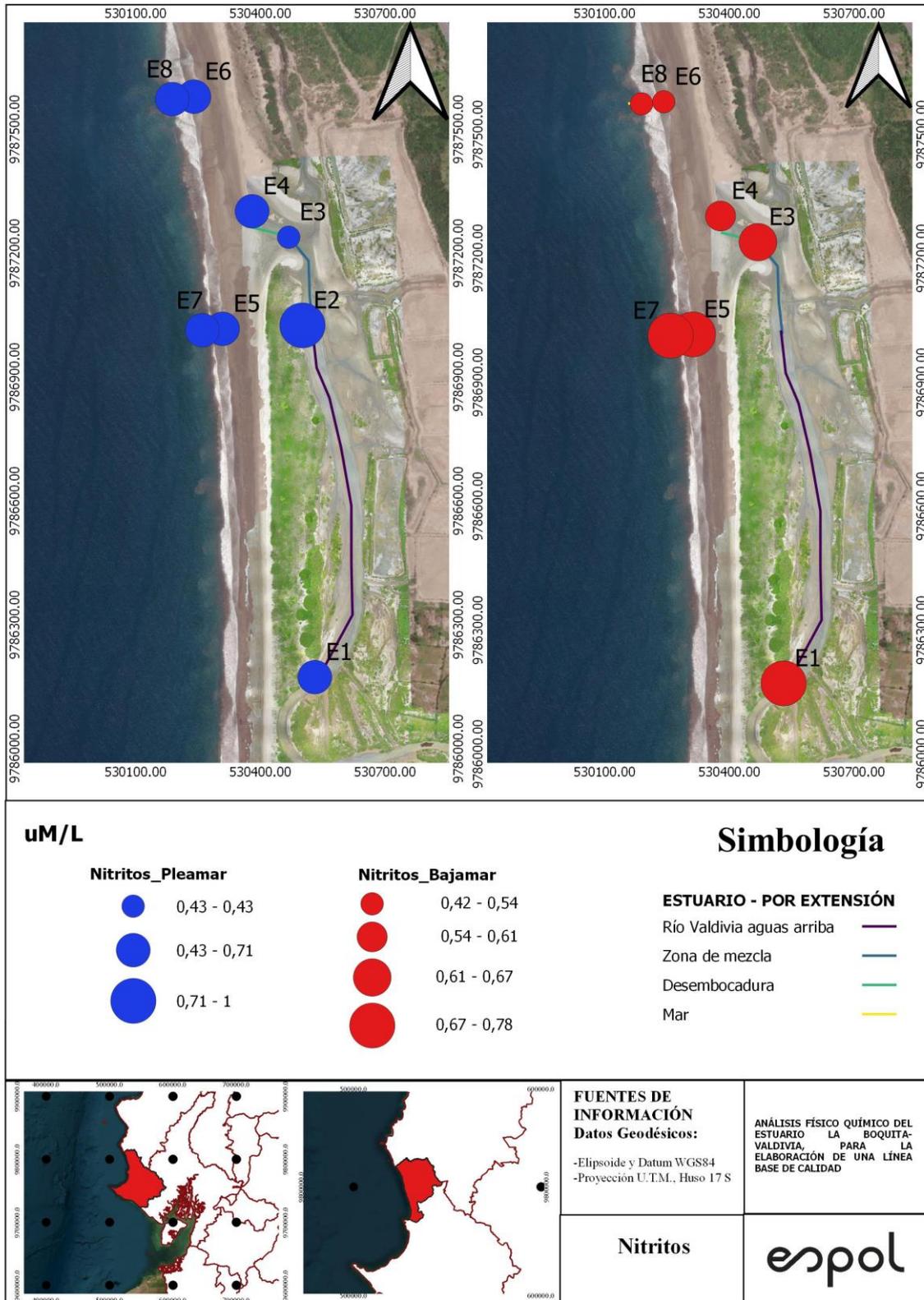
Apéndice C. Mapas referenciales de la variabilidad de fosfato a lo largo del estuario La Boquita



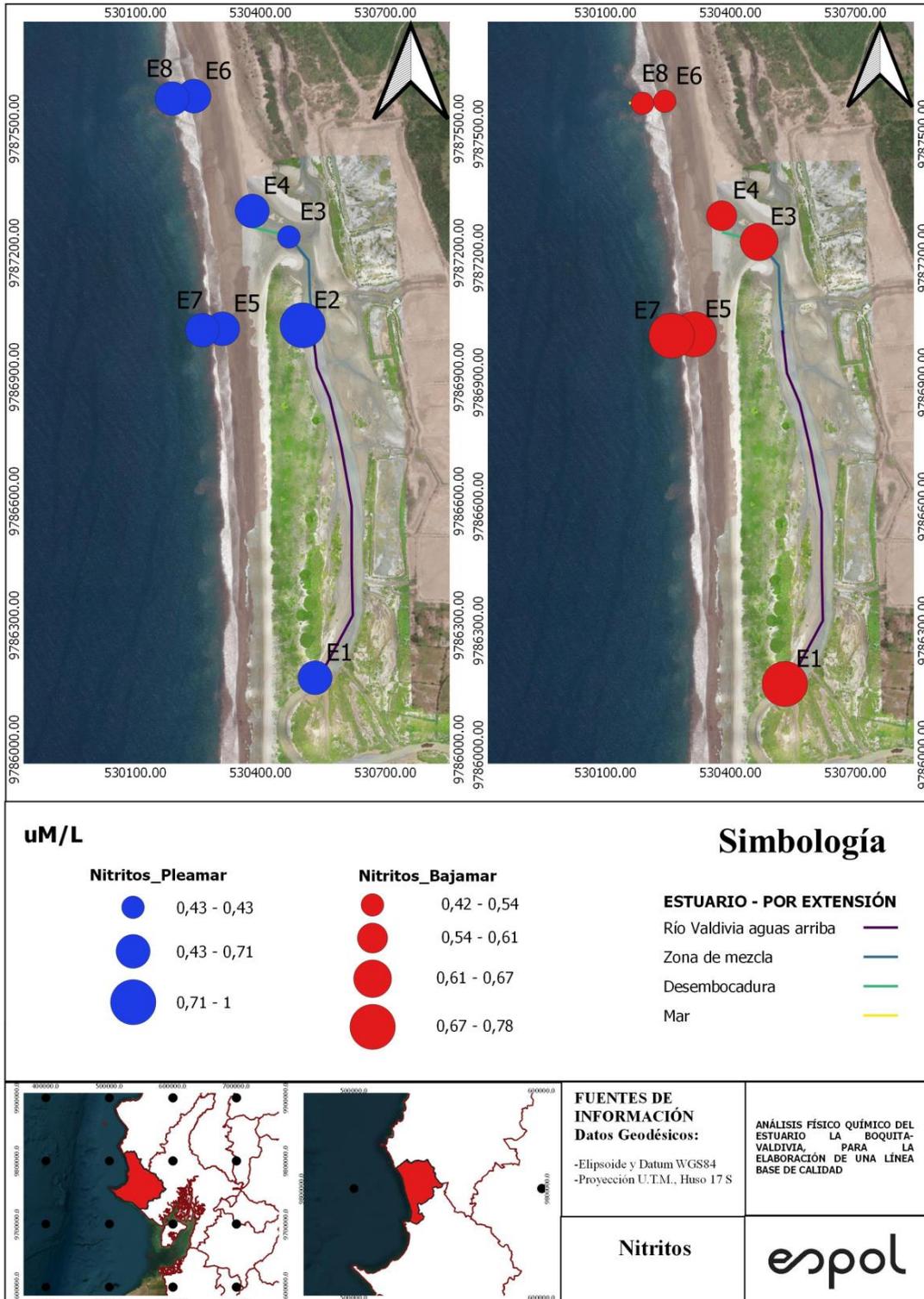
Apéndice D. Mapas referenciales de la variabilidad de nitrato a lo largo del estuario La Boquita



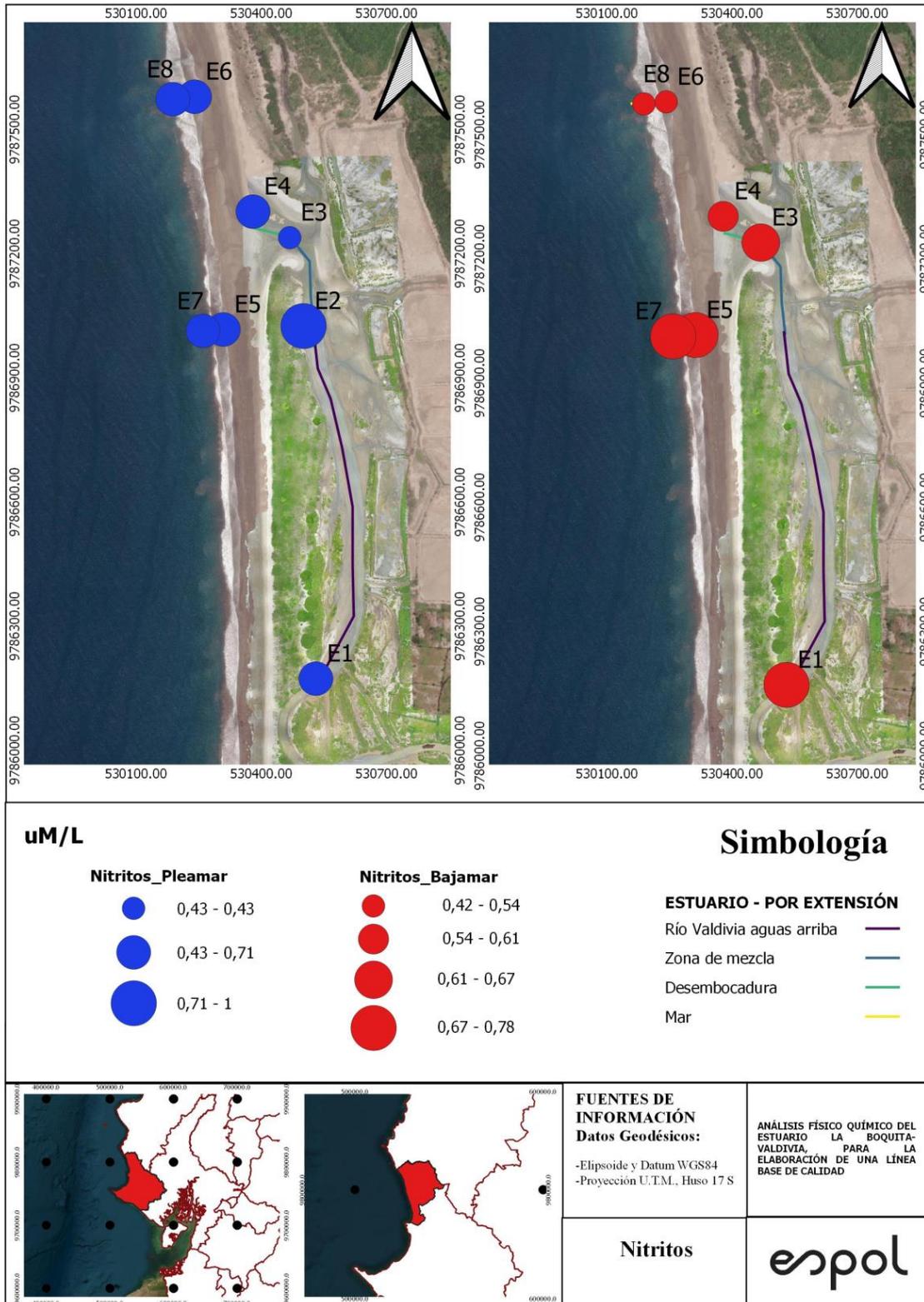
Apéndice E. Mapas referenciales de la variabilidad de nitrito a lo largo del estuario La Boquita



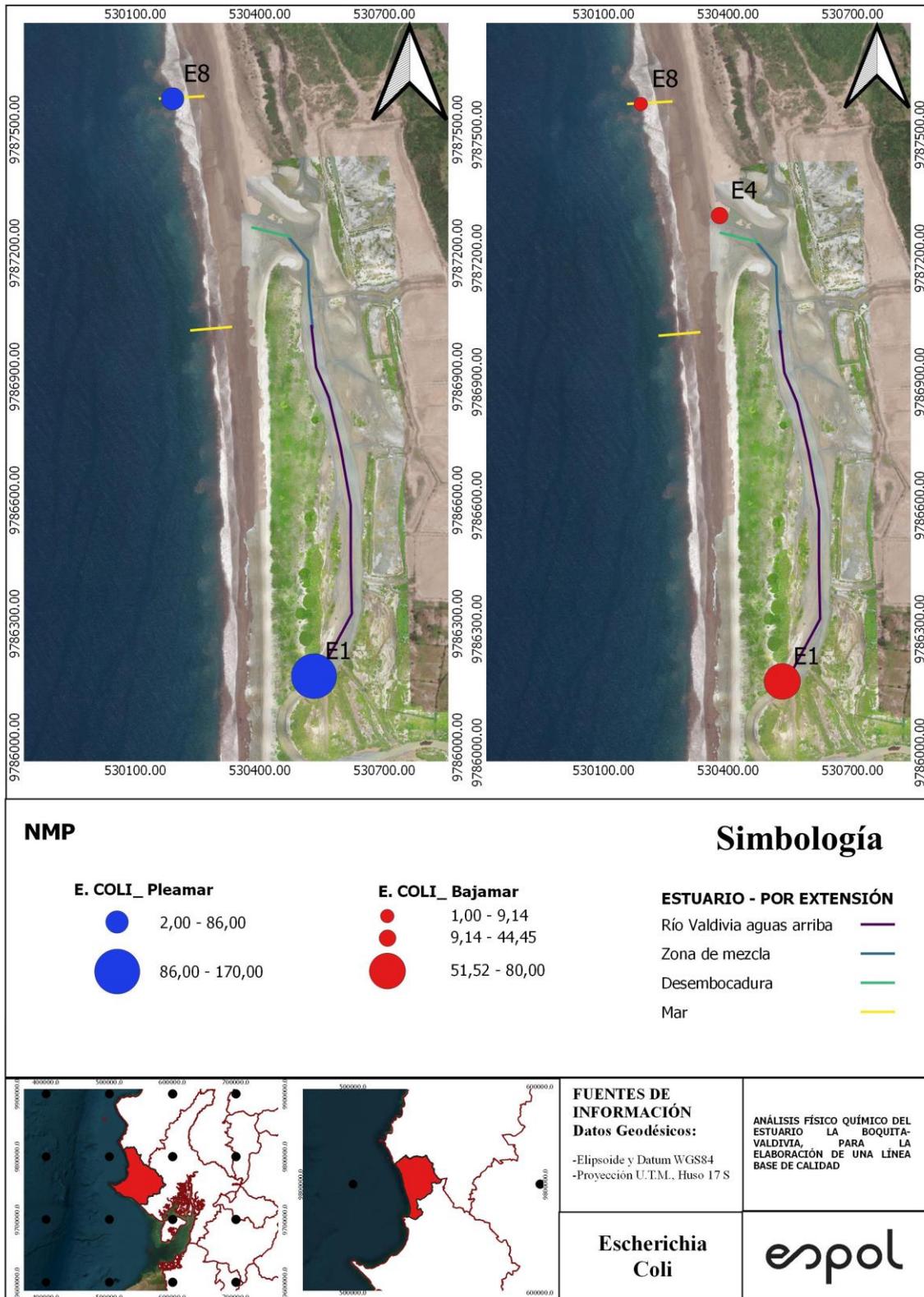
Apéndice F. Mapas referenciales de la variabilidad de oxígeno disuelto a lo largo del estuario La Boquita

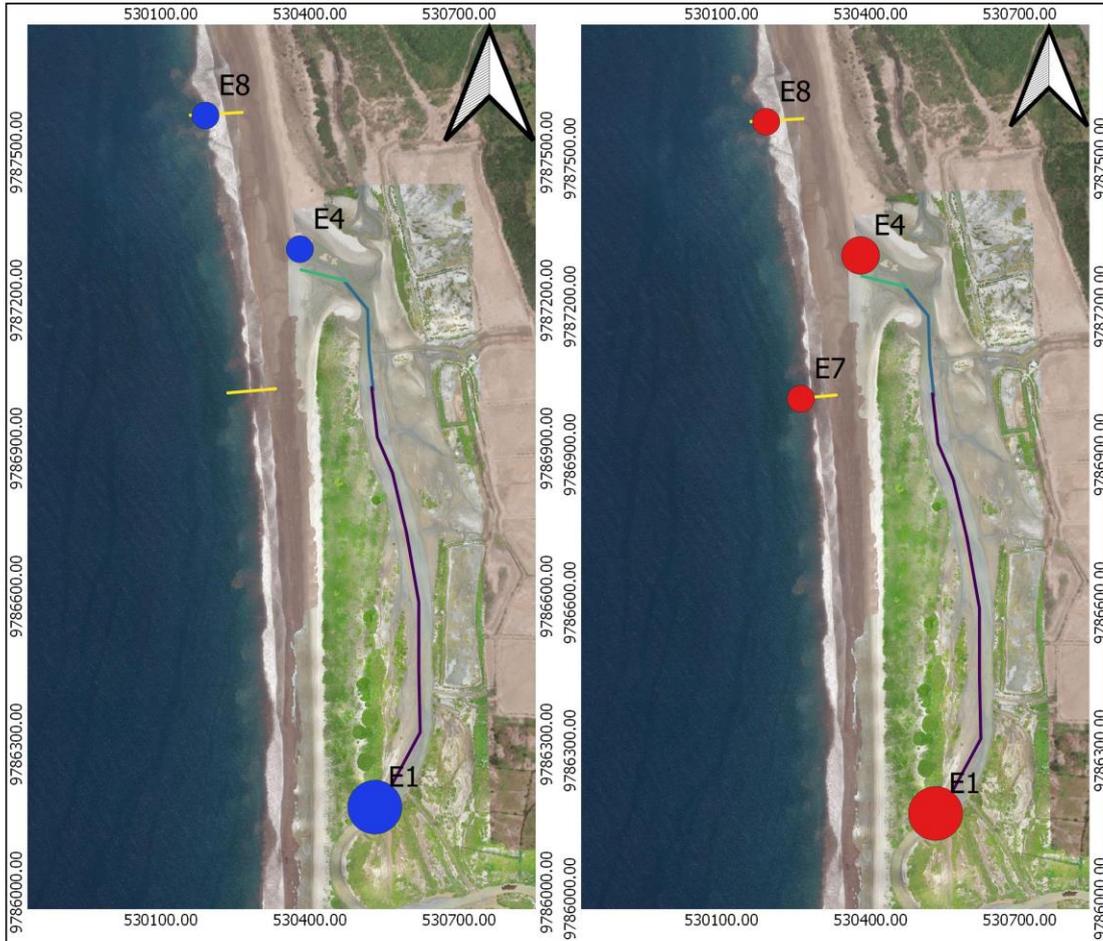


Apéndice G. Mapas referenciales de la variabilidad de salinidad lo largo del estuario La Boquita



Apéndice H. Mapas referenciales de la variabilidad de E coli y coliformes totales respectivamente a lo largo del estuario La Boquita





NMP

Coliformes Totales_Pleamar

- 16,00 - 165,33
- 165,33 - 460,00

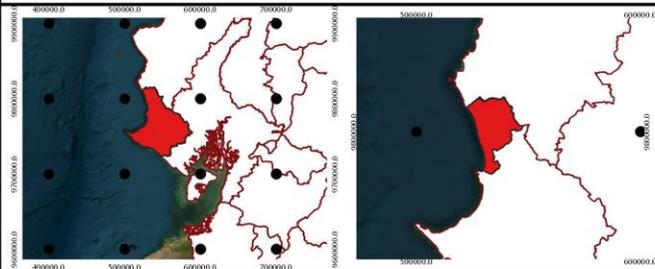
Coliformes Totales_Bajamar

- 1,00 - 101,53
- 101,53 - 204,18
- 204,18 - 420,00

Simbología

ESTUARIO - POR EXTENSIÓN

- Río Valdivia aguas arriba —
- Zona de mezcla —
- Desembocadura —
- Mar —



FUENTES DE INFORMACIÓN
Datos Geodésicos:
 -Elipsoide y Datum WGSS4
 -Proyección U.T.M., Huso 17 S

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DEL ESTUARIO LA BOQUITA-VALDIVIA, PARA LA ELABORACIÓN DE UNA LÍNEA BASE DE CALIDAD

Coliformes totales



FICHA DE CARACTERIZACIÓN DEL ESTUARIO

Caracterización del estuario La Boquita						
Parámetro	Unidad	Mínimo	Máximo	Límites permisibles	Estado	Estaciones afectadas
Amonio	uM/L					
Clorofila a	Ug/L					
Coliformes totales	NPM/100 ml					
Escherichia coli	NPM/100 ml					
Fosfato	uM/L					
Nitrato	uM/L					
Nitrito	uM/L					
Oxígeno disuelto	mg/L					
Salinidad	psu					
Temperatura del agua	°C					
Turbidez	m					