

**Escuela Superior Politécnica del Litoral**

**Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar**

Análisis de los niveles de pH en el estuario interior del Golfo de Guayaquil, 2019 -  
2023, y su aplicación a la acuicultura del camarón

**Proyecto Integrador**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniero Oceanográfico**

**Presentado por:**

Jefferson Wladimir Cárdenas Condoy

Guayaquil - Ecuador

Año: 2023

## Dedicatoria

---

Dedicada a mis padres:

A mi padre, Washington Cárdenas B., quien dio su vida para que cumpliera esta meta y que hoy en el cielo debe estar feliz de verme realizado profesionalmente.

A mi madre, Rita Condoy D., quien ha dedicado su vida, ha dado su mejor esfuerzo y ha sido el pilar para que no decaiga en el camino y lograr este sueño tan anhelado por parte de ella, de mi padre y mío también.

**Este logro es por ellos.**

## Agradecimientos

---

Agradezco en primer lugar a Dios, por permitir que llegara a esta meta. A la MSc. Gina Andrade, porque sin sus consejos, probablemente hubiera tomado un camino diferente al de ahora. Al PhD. Franklin Ormaza, quien me enseñó, además de conocimientos, valores profesionales, morales y éticos. A mi amiga Ivette Chiquito por sus consejos. Agradecimientos muy especiales para Diana Yaguachi, Herman Guerrero y la Ing. Doménica Campos, por todo su apoyo brindado durante todo este proceso. Al Ing. Christer Lema y al PhD. Leonardo Maridueña, por su disposición para las reuniones y enseñanzas en este proyecto.

**Muchas gracias a todos ustedes.**

## Declaración Expresa

---

Yo, Jefferson Wladimir Cárdenas Condoy, 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, 8 de septiembre del 2023.



Jefferson Cárdenas Condoy

## **Evaluadores**

---

**Jorge Espinoza A., M.Sc.**

Profesor de Materia

---

**Franklin Ormaza G., PhD.**

Tutor de proyecto

## Resumen

Las emisiones de CO<sub>2</sub> generan un problema al ecosistema marino y estuarino porque generan un proceso de acidificación en sus aguas, el cual se considera un factor negativo para el sector camaronero, cuyo producto es el que más aporta al PIB ecuatoriano. Es por ello que se evaluó los niveles de pH por medio de métodos estadísticos de regresión lineal, análisis de la varianza, series temporales e interpolaciones durante 2019 hasta la actualidad, para comprender el comportamiento del pH en el estuario, en el que se identificó que existe una disminución considerable del pH por causa de factores antrópicos y que las áreas con valores de pH menores a 7.5 van en aumento, haciendo que la calidad del agua para las piscinas sea cada vez peor, lo que nos lleva a requerir de estudios más específicos como el plan de monitoreo propuesto en este trabajo que permitan crear una base de datos para modelos de difusión del pH y de nutrientes, como herramienta para mejorar las condiciones del entorno de crecimiento del camarón, ya que el crecimiento urbano y la falta de plantas de tratamiento van a empeorar la calidad del agua en años posteriores.

**Palabras Clave:** Acidificación, estuarino, disminución, modelos, difusión.

## Abstract

CO<sub>2</sub> emissions generate a problem for the marine and estuarine ecosystem because they generate a process of acidification in its waters, which is considered a negative factor for the shrimp sector, whose product is the largest contributor to the Ecuadorian GDP. For this reason, pH levels were evaluated by means of statistical methods of linear regression, analysis of variance, time series and interpolations during 2019 to the present, to understand the behaviour of pH in the estuary, in which it was identified that there is a considerable decrease in pH due to anthropogenic factors and that areas with pH values below 7.5 are increasing, making the water quality for the pools increasingly worse, which leads us to require more specific studies such as the monitoring plan proposed in this work to create a database for pH and nutrient diffusion models, as a tool to improve the conditions of the shrimp growth environment, since urban growth and the lack of treatment plants will worsen the water quality in subsequent years.

**Keywords:** Acidification, estuarine, decrease, models, diffusion.

## Índice general

Resumen .....	vi
Abstract .....	vii
Índice general .....	viii
Abreviaturas .....	x
Simbología .....	xi
Índice de figuras.....	xii
Índice de tablas .....	xii
Capítulo 1.....	1
1.1 Introducción .....	2
1.2 Descripción del problema .....	2
1.4 Objetivos .....	4
1.4.1 <i>Objetivo general</i> .....	4
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	4
1.5 Marco teórico .....	4
Capítulo 2.....	8
2.1 Metodología.....	9
2.1.1 <i>Etapa uno: digitalización de datos</i> .....	9
2.1.2 <i>Etapa dos: comparaciones</i> .....	12
2.1.3 <i>Etapa tres: interpolación</i> .....	13
2.1.4 <i>Etapa cuatro: conclusiones del estudio</i> .....	13
2.1.5 <i>Etapa cinco: plan de monitoreo</i> .....	14
Capítulo 3.....	18
3.1 Resultados y análisis .....	19
3.1.1 <i>De la digitalización de datos</i> .....	19

3.1.2	<i>De las comparaciones</i> .....	23
3.1.3	<i>De la interpolación</i> .....	25
3.1.4	<i>De las conclusiones del estudio</i> .....	26
3.1.5	<i>Del plan de monitoreo</i> .....	30
Capítulo 4	.....	36
4.1	Conclusiones y recomendaciones .....	37
4.1.1	<i>Conclusiones</i> .....	37
4.1.2	<i>Recomendaciones</i> .....	39
Bibliografía	.....	41
Apéndices	.....	45
Apéndice A	.....	46

## Abreviaturas

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ES	Estero Salado
GG	Golfo de Guayaquil
RG	Río Guayas
OD	Oxígeno Disuelto
PIB	Producto Interno Bruto
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
TIN	Triangulated Irregular Network
IDW	Inverse Distance Weighting
ANOVA	Analysis of Variance

## Simbología

ml	Mililitro
mm	Milímetro
pH	Potencial de Hidrógeno
m	Metro
mg/l	Miligramo por litro
m <sup>3</sup> /seg	Caudal
Ha	Hectárea
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
°C	Grado Celsius
T	Temperatura

## Índice de figuras

Figura 1.5.1 Proceso de acidificación del océano.....	5
Figura 1.5.2 Ilustración sobre el proceso de acidificación en los estuarios .....	7
Figura 2.1.0.1 Diagramación de las etapas para el estudio del pH en el Golfo de Guayaquil.....	9
Figura 2.1.1.1 Puntos para el análisis de pH en el estuario interior del Golfo de Guayaquil.....	11
Figura 2.1.5.1 Ubicación geográfica de los puntos de muestreo propuestos.....	14
Figura 3.1.1.1 Serie de tiempo en el punto denominado Depósito .....	19
Figura 3.1.1.2 Serie de tiempo en el punto denominado Barra Interna 1 .....	20
Figura 3.1.1.3 Serie de tiempo en el punto denominado Barra Interna 2 .....	21
Figura 3.1.1.4 Serie de tiempo en el punto denominado Estero Cobina.....	21
Figura 3.1.1.5 Serie de tiempo en el punto denominado Bajo Paola .....	22
Figura 3.1.2.1 Tendencias del pH para cada punto dentro del área de estudio.....	24
Figura 3.1.3.1 Interpolaciones obtenidas con QGIS para los años de estudio.....	25
Figura 3.1.3.2 Distribución del pH en flujo y reflujos, abril del 2023.....	26
Figura 3.1.4.1 Mapa de correlaciones entre puntos de muestreo .....	28
Figura 3.1.4.2 Valores de pH para puntos muestreados en desembocaduras en febrero 2023 ...	29

## Índice de tablas

Tabla 2.1.5.1 Coordenadas de los puntos propuestos para muestreo .....	15
Tabla 3.1.2.1 Valores F y valores crítico F entre puntos en marea alta.....	23
Tabla 3.1.4.1 Promedios para el área central del ES desde 2019 a 2023.....	27
Tabla 3.1.4.2 Promedios del área central para el canal RG desde 2021 a 2022.....	27
Tabla 3.1.5.1 Presupuesto para campaña simultánea de un día .....	30
Tabla 3.1.5.2 Costos totales para un año de muestreo, con base a la tabla anterior .....	31
Tabla 3.1.5.3 Presupuesto para campaña de dos días .....	32
Tabla 3.1.5.4 Costos totales para un año de muestreo, con base al presupuesto de dos días .....	32
Tabla 3.1.5.5 Presupuesto de la alternativa a la propuesta inicial para campañas de un día.....	33
Tabla 3.1.5.6 Costos para el año de muestreo con el presupuesto de la alternativa para un día..	34
Tabla 3.1.5.7 Presupuesto de la alternativa para campaña de dos días .....	34
Tabla 3.1.5.8 Costos para año de muestreo con el presupuesto de la alternativa para dos días ..	35

## Capítulo 1

## 1.1 Introducción

Los altos niveles de CO<sub>2</sub> que se han producido por las industrias a nivel mundial y a lo largo de todos estos años, han generado un proceso de acidificación en el océano, el cual está generando efectos negativos en la biodiversidad como el blanqueamiento de los arrecifes coralinos (*Blanqueamiento del Coral*, s. f.), el efecto negativo en moluscos como las ostras o proliferación de algas tóxicas para la vida marina (*La acidificación de los océanos afecta la vida marina – DW – 25/11/2017*, 2017). Desde el 2001 hasta el 2017 la acidificación oceánica ha aumentado en un 26%, lo que en valores se traducen en promedio pH de 8.08 en 2001 hasta menos de 8.06 en 2017 (*La acidificación de los océanos*, 2020). Por lo que, los efectos de este proceso no solo afectan a seres como bivalvos o crustáceos, sino que también aumentan la probabilidad de bacterias que presentan riesgo mortal para la vida marina y estuarina.

Actualmente, el camarón representa el producto no petrolero de mayor valor para el PIB ecuatoriano (*El camarón, el abanderado de las exportaciones ecuatorianas | CEAP :: Centro de Estudios Asia-Pacífico*, 2023) y cuidar de esta industria es vital para la economía del país. Según un reportaje realizado por la BBC en Ecuador (Amerise, 2023), nos hace conocer que de cinco camarones presentes en cada país a nivel mundial, uno es de origen ecuatoriano, lo que demuestra el alto nivel de calidad que tienen nuestros productos. Ante ello, se presenta un factor negativo para este sector, el cual es la posible acidificación del estuario por la conexión que este tiene con el océano.

## 1.2 Descripción del problema

El golfo de guayaquil es un estuario que está influenciado por las mareas y corrientes del océano Pacífico, por lo que, si se produce una acidificación del océano, también se producirá en el estuario del GG (Cai et al., 2021). La acidificación del estuario tiene un efecto negativo para el

sector camaronero, debido a que estas disminuciones de pH en el agua debilitan el exoesqueleto del camarón y son más propensos a laceraciones, por las cuales pueden adquirir enfermedades producidas por bacterias, hongos o virus como el síndrome de mortalidad temprana, microsporidio o la mancha blanca (Saúl, 2019). Otra consecuencia es la reducción del oxígeno disuelto en el agua, ya que el OD tiene una dependencia respecto al pH, es decir, a menores valores de pH, hay menor cantidad de OD en el agua y considerando que la demanda bioquímica de oxígeno es alta a medida que se desarrolla el camarón (LABOMERSA, s. f.), el pH se vuelve un factor muy importante a tener en cuenta. Es por eso que para la Cámara Nacional de Acuicultura es necesario conocer la evaluación de los niveles de pH de los datos que ellos poseen desde el 2019 hasta la fecha más actual del presente año y conocer la situación actual del área para la toma de decisiones de este sector productivo.

### **1.3 Justificación del problema**

Este estudio y su respectiva solución propuesta, parte en vista de la falta de información que tiene el sector camaronero sobre su entorno hídrico. Los pocos estudios que se han tenido, han sido enfocados a un área en específico y no han sido continuos, el estudio más grande fue realizado por (Cucalón-Zenck, 1996) sobre los sistemas biofísicos en el estuario del GG, en el que no se realizó estudios del comportamiento del pH. Entonces si no hay estudios básicos continuos de pH y demás variables, mucho menos se llegarían a tener modelos de difusión o modelos hidrodinámicos. No podemos entender el entorno si no tenemos estudios que nos permitan entender la dinámica del pH en el medio estuarino, ya que, con ello, las camaroneras podrían conocer las mejores condiciones del agua estuarina para sus piscinas y así mejorar las condiciones ambientales para un buen desarrollo del camarón y con ello tener una mayor competencia en el mercado internacional, reduciendo sus costos de producción (*Producir*

*camarón local es 24 % más caro este año, 2023*). La disminución del pH trae consigo consecuencias, como la reducción de oxígeno disuelto en el agua, capaces de poner en riesgo al sector camaronero, pero que se pueden mitigar con los modelos de difusión de pH y nutrientes con los que pueden tomar mejores decisiones para así seguir manteniendo la calidad de nuestro camarón y mejorar aún más la reputación de ser líderes en el mercado internacional (Redacción, 2022).

## **1.4 Objetivos**

### ***1.4.1 Objetivo general***

Evaluar los niveles de pH en el estuario interior de 2019 a 2023 por medio de métodos estadísticos e interpolaciones, para la toma de decisiones de las camaroneras presentes en el área.

### ***1.4.2 Objetivos específicos***

- Analizar la tasa promedio de cambio de los valores de pH desde 2019 a la actualidad en el área
- Determinar la variación del pH en intervalos de una a dos horas en el proceso de pleamar y bajamar del estuario`
- Identificar si las variaciones de pH están influenciadas por la acidificación oceánica o por origen antrópico.
- Generar un plan de monitoreo en base a los resultados obtenidos en este estudio

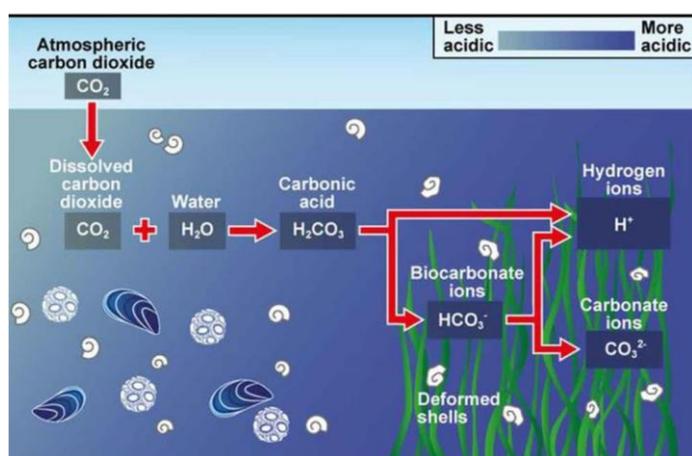
## **1.5 Marco teórico**

Desde que comenzó la revolución industrial, las emisiones de CO<sub>2</sub> han ido en aumento hasta que en 2017 este gas ocupase el 81,6% de todos los gases de efecto invernadero en la atmósfera (US EPA, 2021). Actualmente, estos gases han alcanzado niveles mayores a treinta

mil toneladas, siendo el 2021 donde se alcanzó la cifra más alta (*Las emisiones mundiales de CO<sub>2</sub> repuntaron en 2021 hasta su nivel más alto de la historia | CMNUCC, 2022*). Estas emisiones a la atmósfera no solo afectan a la calidad del aire que respiramos o por el aumento de la temperatura del planeta (S&P, 2018), sino también al océano, produciendo cambios en la química del mismo, por un proceso llamado acidificación del océano, el cual consiste en la absorción del CO<sub>2</sub> atmosférico por parte del océano por disolución, esta molécula al combinarse con la del agua, pasa a formar ácido carbónico (Harrould-Kolieb & Savitz, 2009), liberando iones de bicarbonato y de hidrógeno, este último es el que al aumentar, genera un descenso en el nivel de pH del agua de los océanos, produciéndose la acidificación y es nocivo para las especies que en sus cuerpos contienen carbonato cálcico, ya que estos iones de hidrógeno se unen con los iones de carbonato libres en el agua para también formar ion carbonato, dejando sin iones de carbonato disponibles para especies como bivalvos o crustáceos, los cuales los requieren para sus conchas y exoesqueletos (Cogollos, s. f.).

### Figura 1.5.1

*Proceso de acidificación del océano*



Nota: Tomado de (*UK Ocean Acidification Research Programme, 2018*)

Por otro lado, el golfo del Guayaquil, es el estuario más grande del océano Pacífico en Sudamérica. Un estuario es la zona intermedia entre el río que proviene de la parte interna de la costa y el mar, en el que se tiene una mezcla de agua salada y agua dulce, las cuales están en constante cambio por diversos factores como las mareas o las precipitaciones (iAgua, 2020). El GG se encuentra formado por dos estuarios: el estuario exterior, que abarca desde la parte más saliente, entre la Puntilla de la provincia de Santa Elena y zona de Máncora en Perú, hasta la parte occidental de la Isla Puná. El estuario interior corresponde desde la parte oriental de la Isla Puná, donde se incluyen al canal estero salado y río Guayas, hasta la convergencia de los ríos Daule y Babahoyo (Cucalón-Zenck, 1996). Con un clima tropical monzón, el estuario interior tiene una temperatura del agua que oscila entre los 22°C a 28°C, con caudales variables para el río Guayas de 230 m<sup>3</sup>/seg para verano y 1500 m<sup>3</sup>/seg para invierno. Por sus características, según su salinidad y la predominancia de mareas, es un estuario ligeramente estratificado, mesomareal (Gómez, s. f.), debido a que la diferencia del nivel del agua en marea alta y baja es de 3.5 m aproximadamente (*NAVEGABILIDAD EN EL RIO GUAYAS JUNIO 2017.pdf*, s. f.).

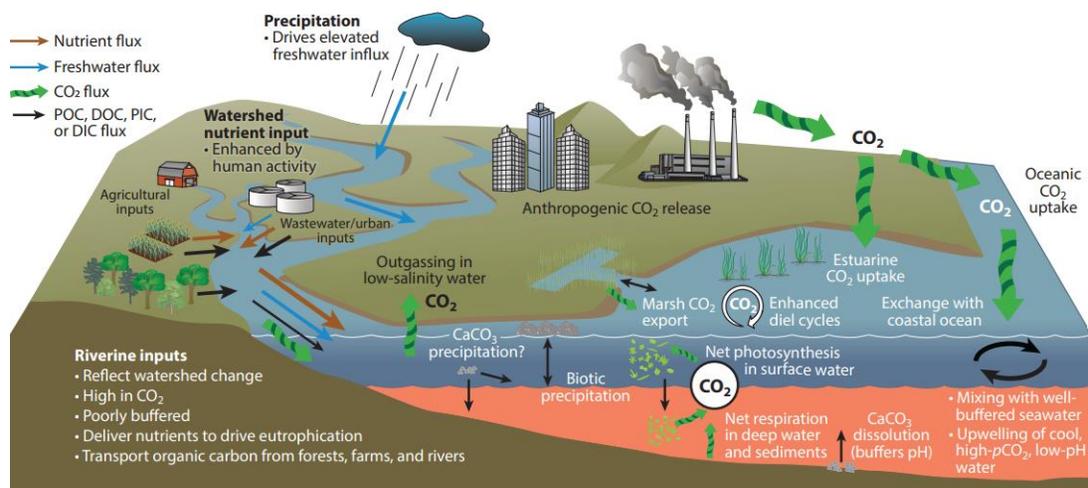
Es justamente en esta área en donde se produce la mayor cantidad de camarón para exportación y consumo nacional, debido a que de las 225000 Ha de camaroneras presentes en el país (Coba, 2021), el 60% se encuentran en Guayas, según (Piedra, 2022), esto debido a la disponibilidad de agua estuarina en el sector, así como para facilidad en su exportación, al estar ubicados en el puerto principal del país, el cual es la ciudad de Guayaquil.

Si bien, el proceso de acidificación es algo que se está dando en los océanos, también los estuarios se ven afectados por ello, debido a que, el GG es un estuario mesomareal, esto significa que este cuerpo de agua está mayormente influenciado por los efectos de las mareas, es decir, hay un aporte de agua de mar muy significativo en el proceso de pleamar o llenado (Gómez, s. f.).

Esto significa que también puede existir acidificación en los estuarios y según en la publicación de (Cai et al., 2021), el océano puede atribuir en las surgencias o afloramientos, aguas con bajo pH, aportando acidez al estuario, el cual se va a ver también influenciado por la entrada de nutrientes por parte de los ríos, los cuales al generar un proceso de eutrofización, producen un aporte de  $\text{CO}_2$  al agua del estuario, el cual como se explicó al inicio, reacciona con el agua y libera iones de hidrógeno, los cuales aportan más acidez al estuario que el mismo océano, sobre todo porque a esto se le debe sumar la presencia de la actividad urbana e industrial, como la descargas de aguas no tratadas, la cual si bien no aportan directamente  $\text{CO}_2$  al estuario, aportan nutrientes, los cuales generan producción de algas y bacterias que por respiración, aportarán  $\text{CO}_2$  directamente al agua, generando un proceso de acidificación en el estuario, como se puede ver en la **Figura 1.5.2** mostrada a continuación.

### Figura 1.5.2

*Ilustración sobre el proceso de acidificación en los estuarios*



Nota: Ilustración tomada de estudio de *Annual Reviews* realizado por (Cai et al., 2021)

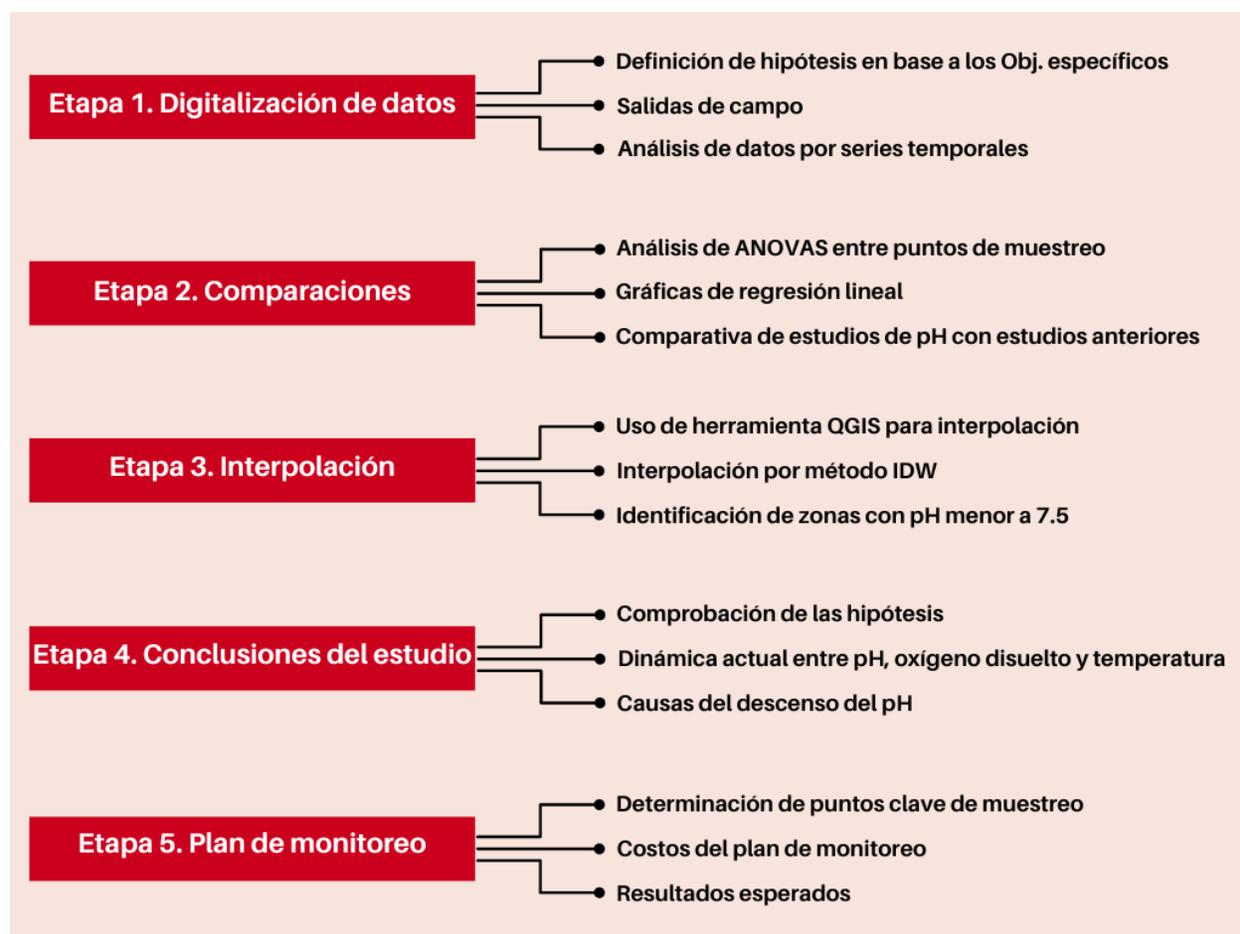
## Capítulo 2

## 2.1 Metodología.

El proceso de este proyecto consistió en los pasos mostrados a continuación:

### Figura 2.1.0.1

*Diagramación de las etapas para el estudio del pH en el Golfo de Guayaquil*



#### 2.1.1 Etapa uno: digitalización de datos

Como punto inicial, se procedió con la definición de las hipótesis sobre las condiciones del pH en el estuario, basados en tres de los 4 objetivos específicos. Estas son:

Hipótesis uno, en base al objetivo específico uno: Existe una diferencia significativa de los valores de pH en el área, en el tiempo analizado.

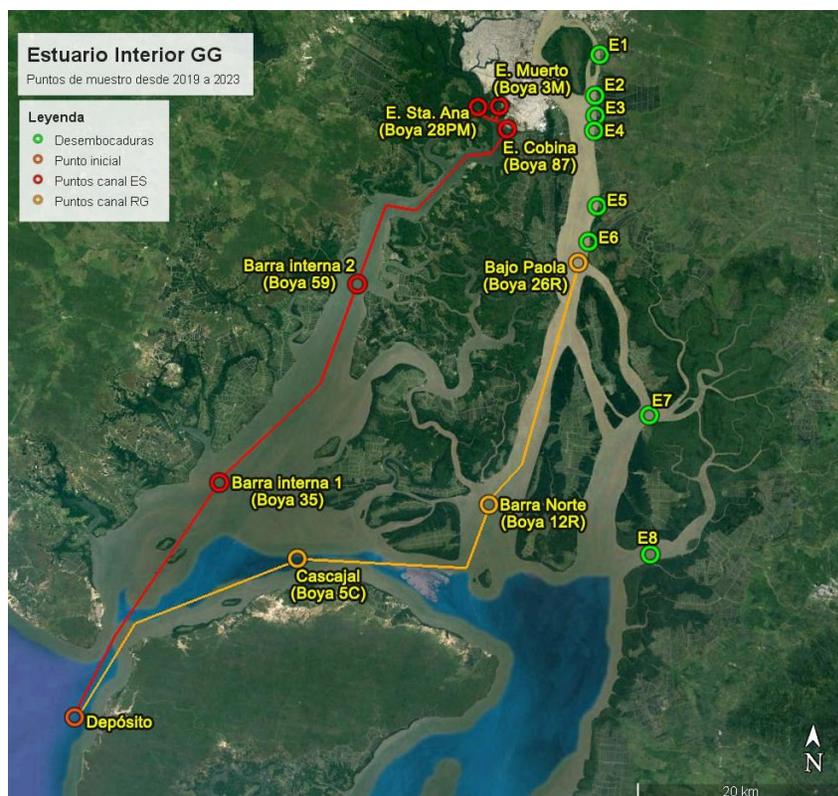
Hipótesis dos, en base al objetivo específico dos: Existe una diferencia significativa del pH entre flujo y refluo, que podrían afectar al estado juvenil del camarón.

Hipótesis tres, en base al objetivo específico tres: los cambios de pH en la zona central de los canales dependen de factores antrópicos y no por acidificación oceánica.

Una vez establecidas las hipótesis, se procedió con la digitalización de datos entregados físicamente por el cliente, la Cámara Nacional de Acuicultura, y el uso de datos de puntos de muestreo tomados por la empresa JAN DE NULL S.A., mismos que se encuentran en la página web Canal de Guayaquil CGU S.A. y cuyo proceso de análisis fue realizado por medio del laboratorio GRUENTEC S.A., esto debido a que este último posee acreditaciones internacionales respecto a sus procesos de análisis de muestras de agua, lo que nos permite tener resultados fiables, tanto de pH, como de otras variables usadas en este estudio. A la par del proceso de digitalización, se realizaron dos salidas de campo como observador, junto a la consultora PRODUCTOS Y SERVICIOS INDUSTRIALES (PSI), con el fin de tomar muestras de agua en desembocaduras de ramales hacia el canal río Guayas y poder hacer el respectivo análisis de laboratorio de las variables de interés, como pH, oxígeno disuelto, porcentaje de saturación de oxígeno, nitratos, nitritos, hidrocarburos totales, entre otros. Los puntos de muestreo más los de la salida de campo y sus respectivos transectos son:

### Figura 2.1.1.1

*Puntos para el análisis de pH en el estuario interior del Golfo de Guayaquil*



*Nota:* Los puntos verdes corresponden a desembocaduras analizadas sólo en el presente año

Posterior a ello se procedió a crear una base datos en Excel, con el que se generaron las gráficas en el programa Excel, de temperatura del agua, oxígeno disuelto y pH, en una serie temporal de cuatro años y cuatro meses, iniciando en el mes 5 del año 2019, hasta el mes 4 del año 2023, dando un total de 52 meses. Para estos mismos datos, se realizaron gráficas de regresión lineal de pH para cada punto de muestreo, siendo nueve puntos en totales distribuidos en los canales ES y RG, más los ocho puntos de muestreo adicionales tomados con la consultora PSI en el canal RG, con el fin de determinar tendencias de crecimiento o decrecimiento del pH en el estuario.

### **2.1.2 Etapa dos: comparaciones**

En esta etapa, se realizó el análisis de varianza de un factor en Excel, activando el campo de análisis de datos en el menú de opciones, para poder hacer todos los cálculos de manera automática, eligiendo el tipo de análisis de varianza para factor, el cual es en este caso el pH y se propone una hipótesis que se acepta o se descarta en función de los valores F y valores críticos de F calculados con el programa, es decir, si el valor de F es menor que el valor crítico de F, entonces hay una correlación entre los puntos y con esto se determina si existe o no correlaciones o influencia en la zona central del área de estudio por medio de sus promedios para conocer si los valores de pH de esta zona varían por influencias de los puntos más al norte o de los más al sur.

Se procedió a generar gráficas de regresión lineal simple para los valores de pH en los dos estados de marea para todo el intervalo de datos disponibles y observar su tendencia en cada punto, como también la obtención de la tasa de cambio en base a las variaciones por promedios de cada año.

Se realizó la búsqueda de información bibliográfica de estudios anteriores en el Golfo de Guayaquil respecto al pH, la cual no se encontró, puesto que no ha habido estudios enfocados a los niveles de pH en la zona. Sin embargo, sí se han realizado estudios en el canal de acceso al Puerto Marítimo de Guayaquil por parte de (Estupiñan Zambrano et al., 2018) sobre parámetros físico-químicos en condiciones de dragado, los cuales muestran valores promedios de pH por encima de 8.0 en época seca y hasta 7.71 en época lluviosa, desde 2009 hasta 2015 en la zona comprendidas entre la boya 72 y la boya 48. Cabe considerar que estos estudios fueron realizados para determinar el impacto ambiental que el dragado genera. No obstante, al ser un estuario y estar conectado con el océano pacífico, lo que se esperaría obtener en el estuario en cuanto al pH, serían valores por encima de 8.0, debido a influencia del agua de mar en el estuario, ya que, esta agua es regulador de niveles de pH.

### **2.1.3 Etapa tres: interpolación**

En este punto, se utilizó el software libre de Sistema de Información Geográfica QGIS, en el que se procedió a crear previamente un archivo Excel de los puntos con sus respectivos valores de pH para los meses de enero a noviembre en el transcurso de los cuatro años.

En algunos meses no se obtuvieron datos completos de todos los puntos de muestreo, por lo cual fueron excluidos para el proceso, debido a que para interpolar se requiere que existan la mayor cantidad de puntos posibles con datos no erróneos, graficando entonces interpolaciones para época seca y lluviosa.

Estos pasos se realizaron con el fin de determinar por medio de este método, cómo varía el pH a lo largo de los ejes de cada canal, desde la cabecera hasta la desembocadura. Entre los diversos métodos de interpolación, como mapas de calor, TIN y IDW (Estévez, 2019), el que mejor se adaptó para los puntos de muestreo, debido a las grandes distancias entre puntos, fue el método IDW que consiste en la ponderación de distancias inversas, estimando promedios entre sus puntos más cercanos, para el tamaño de área definida. Con ello se definieron gráficas tomando como referencia el valor máximo de pH de 8.1 y el mínimo de 7.5, tanto para pleamar como bajamar, es decir, flujo y reflujo respectivamente, para tener una interpretación visual y general para todos los meses graficados. La razón de estos valores es que el valor promedio de pH del océano es 8.1 mientras que el valor mínimo de 7.5 se refiere al límite de tolerancia para que un camarón empiece a tener problemas en su exoesqueleto.

### **2.1.4 Etapa cuatro: conclusiones del estudio**

Al haber pasado las etapas anteriores, se procedió a comprobar las 3 hipótesis propuestas en base a los objetivos específicos de este estudio. También se procedió a analizar si existen o no anomalías en la dinámica natural del estuario en flujo y reflujo. Es decir, si la correlación entre

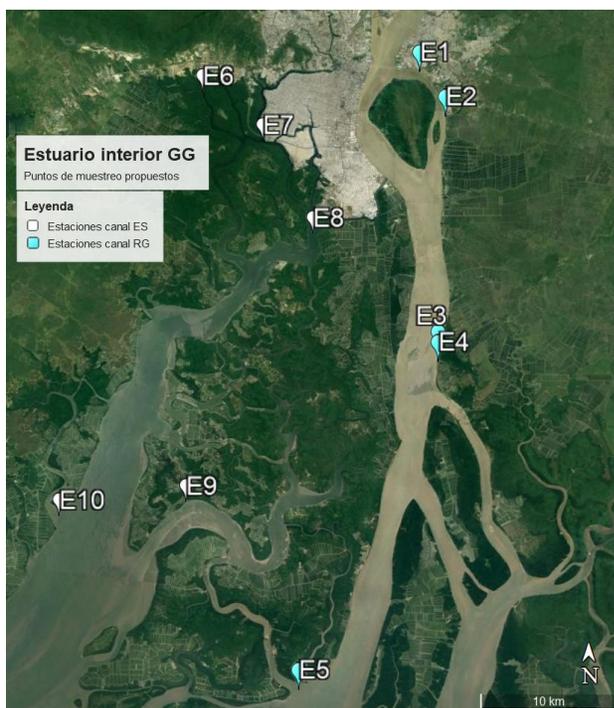
variables pH, DO y temperatura es normal o si existe algún cambio por algún otro factor. Así mismo se procedió a identificar las zonas con mayor descenso de pH y las posibles causas que originan tal disminución.

### 2.1.5 *Etapas cinco: plan de monitoreo*

En base a todo lo determinado anteriormente, se propuso un plan de monitoreo mensual con nuevos puntos de muestreo, los cuales fueron socializados y debatidos con el cliente, en el que se propusieron puntos para determinar el tipo de factor antrópico que más influye en el área.

#### Figura 2.1.5.1

*Ubicación geográfica de los puntos de muestreo propuestos*



Esta propuesta consistió en la distribución de 10 puntos como estaciones fijas para realizar muestreos mensuales por al menos un año, los cuales se distribuyen a lo largo de cada canal. Los primeros cinco puntos se distribuyen a lo largo del canal RG y corresponden a desembocaduras de ramales del canal, comenzando con el punto E1 desde la parte más al norte,

en la desembocadura del estuario San Enrique, que parte desde la Urb. La Martina, hasta el punto E5 que corresponde a la desembocadura del estero Chupadores. Los otros cinco puntos restantes están distribuidos en el canal ES, siendo el punto E6 desde la zona más al norte, que corresponden a las urbanizaciones de sector de puerto azul, hasta el punto E10 más al sur, que llega hasta la altura de la boya 50. Cada uno de estos puntos fue analizado estratégicamente, en función de su influencia antrópica y considerados a partir de los puntos muestreados en la salida de campo y de los datos analizados.

**Tabla 2.1.5.1**

*Coordenadas de los puntos propuestos para muestreo*

Punto	Abreviatura	Zona: 17M	
		Latitud	Longitud
Estación 1	E1	628557 E	9757949 S
Estación 2	E2	630430 E	9754716 S
Estación 3	E3	629880 E	9737667 S
Estación 4	E4	629874 E	9736910 S
Estación 5	E5	619674 E	9713118 S
Estación 6	E6	612686 E	9756504 S
Estación 7	E7	617072 E	9752943 S
Estación 8	E8	620728 E	9746202 S
Estación 9	E9	611441 E	9726771 S
Estación 10	E10	602184 E	9725748 S

*Nota.* Las coordenadas de esta tabla son propuestas por el autor (2023)

Para el muestreo, se propusieron dos tipos de campañas de muestreo, una campaña de un solo día en una única salida simultánea, en el que se muestrean los puntos E1 y E6 de manera sincrónica, así también entre los puntos E2 y E7 y sucesivamente con los demás puntos hasta llegar a E5 y E10, esto con el fin de determinar en el mismo rango temporal, cómo se comportan las distintas variables a analizar.

La segunda propuesta consistió en dos salidas, una para los primeros cinco puntos en el canal RG y al siguiente día la salida de los cinco puntos restantes en el canal ES, considerando

las salidas en pleamar y sicigia, debido a que, en bajamar, la marea desciende de tal forma que la profundidad es demasiado baja en las desembocaduras, lo que representa un peligro de encallamiento del bote y por ende para la ejecución del plan.

En cualquiera de las dos propuestas en relación a los días de salidas, se debe realizar el proceso minucioso de la medición de variables pH, OD, temperatura del aire, temperatura del agua, velocidad y dirección del viento, turbidez, por medio de un multiparámetro de la marca HANNA, modelo HI98194/10 (*Medidor multiparamétrico de pH/ ORP/ CE/ TDS/ salinidad/ OD/ presión/ temperatura con 10 metros de cable* » HANNA® instruments Ecuador, s. f.), cuya resolución y exactitud para medición de pH son 0.01 y  $\pm 0.02$  respectivamente, así como del OD, cuya exactitud y resolución tanto para saturación, como cantidad en el agua, son 0.1%; 0.01 mg/l y  $\pm 1.5\%$ ;  $\pm 0.1$  mg/l respectivamente, y para turbidez medida en cm por medio de un disco secchi. En cuanto a las variables atmosféricas, se pueden determinar por medio de una aplicación móvil, la cual es WINDY o por medio de un anemómetro para velocidad y dirección del viento.

Finalmente, para la toma de las muestras de agua, se propuso para una profundidad de 0.5 m, por medio de una botella van dorn y usando un protocolo adecuado para el almacenamiento y preservación de cada muestra, esto es: usar guantes de látex para no contaminar la muestra por contacto humano, lavar cada botella con agua destilada, antes del llenado con la muestra tomada, debiendo tener cada botella una rotulación correcta, en el que debe estar el nombre de la estación o punto, la fecha, hora exacta de la toma de la muestra, ubicación, profundidad en que fue tomada la muestra, en botellas de 500 ml de color ámbar y posteriormente almacenadas en hieleras con abundante cantidad de hielo para preservar las muestras y evitar una degradación de los nutrientes y microorganismos por una exposición a altas temperaturas del ambiente.

Respecto al análisis en laboratorio, las muestras deben llevar un protocolo de análisis de fosfatos, nitritos, nitratos, amonio, coliformes totales y fecales, de los cuales para las primeras cuatro variables de interés, que son nutrientes, se realiza un proceso de determinación colorimétrica (*manualdeanálisisdeaguas.pdf*, s. f.), por medio de reactivos en muestras de 10 ml de agua filtrada, en el que se espera un tiempo determinado para que los reactivos actúen, para posteriormente determinar los valores de cada nutriente en un Espectrofotómetro Visible, sugerido el modelo Iris HI801-01 de la marca HANNA (*Espectrofotómetro visible «iris»* » HANNA® instruments Ecuador, s. f.), el cual posee una exactitud aceptable de 0.05 mg/l.

Como protocolo y para validación de los datos obtenidos en el análisis de nutrientes, se debe realizar un duplicado o triplicado del proceso, es decir, de la misma muestra obtenida, repetir el proceso de análisis con nuevas muestras de 10 ml con reactivos y tener tres resultados para cada nutriente, para promediar y tener un resultado más fiable. Para el análisis de coliformes fecales y totales, el proceso de análisis debe ser por el método de número más probable (NMP) (Divaagen, 2021).

Con los valores obtenidos en laboratorio, más los obtenidos en campo, se propuso generar un modelo de difusión del pH y demás variables, como un antecedente para un futuro modelo hidrodinámico, debido a que el estuario tampoco cuenta con tal modelo y el cual es fundamental por la influencia de los ríos Daule y Babahoyo y del océano Pacífico que tienen sobre el área, para entender los momentos en que es más aconsejable captar aguas del estuario para las camaroneras y para un control en las descargas de aguas de los mismos, con el fin de mejorar el rendimiento de producción, el cual se está viendo limitado actualmente por esta falta de información y que por medio de estos modelos propuestos basados en el plan de monitoreo, busca solucionar o al menos ser una base de datos para usos futuros.

## Capítulo 3

### 3.1 Resultados y análisis

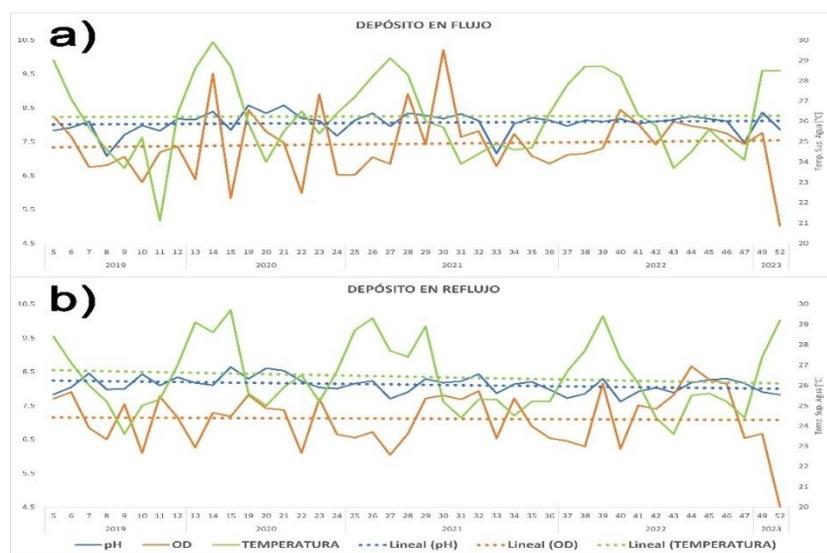
A continuación, se presentan los resultados obtenidos en función de lo realizado en las etapas mostradas en el capítulo dos:

#### 3.1.1 De la digitalización de datos

Este proceso dio como resultado una base datos en archivo Excel, dividido por años, por estado de flujo, reflujo y por puntos de muestreo, en el que se recopiló la información de pH, conductividad, temperatura del agua, OD, la hora y fecha del muestreo y la saturación de oxígeno. Con este archivo se obtuvieron las gráficas en serie de tiempo para cada punto en flujo y reflujo. Las más destacadas son las mostradas a continuación, las demás las puede encontrar en la sección A del apéndice:

**Figura 3.1.1.1**

*Serie de tiempo en el punto denominado Depósito*

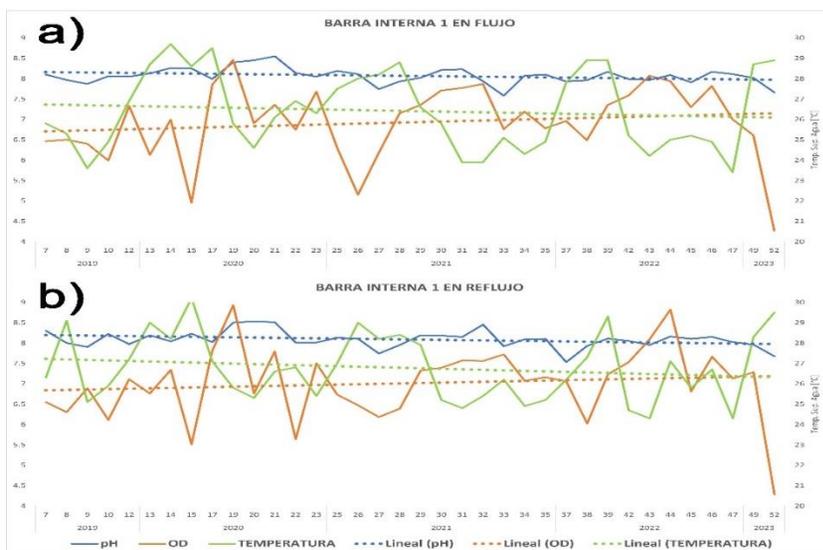


*Nota.* La figura muestra la relación entre las variables pH, OD y temperatura del agua en el intervalo de cuatro años, el literal a) para flujo y el literal b) para reflujo.

En la **Figura 3.1.1.1** se pudo observar que existe una relación directa entre el pH y el OD una inversa entre la temperatura y el OD. Este punto, al encontrarse en la zona más cercana al océano, presenta su tendencia al aumento en el nivel de pH en flujo, mientras que para reflujo presenta una tendencia a la disminución.

### Figura 3.1.1.2

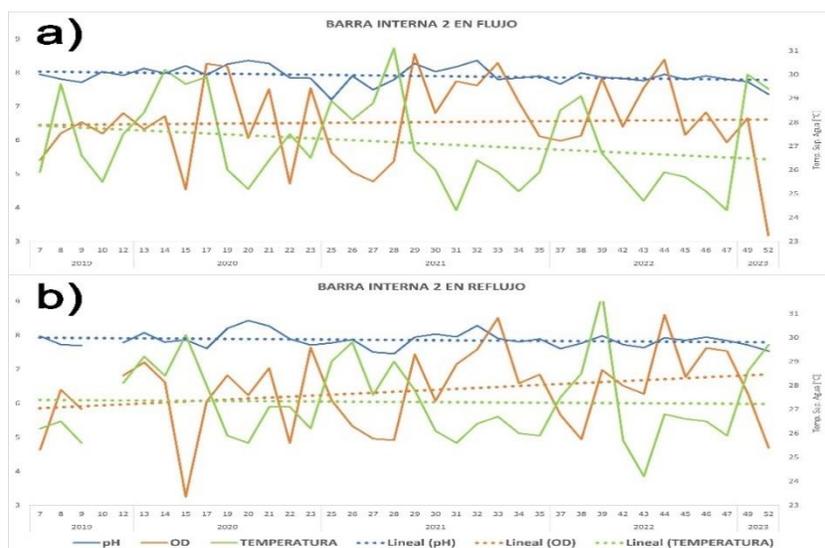
*Serie de tiempo en el punto denominado Barra Interna 1*



Sin embargo, para la **Figura 3.1.1.2** correspondiente a la barra interna 1, se mantiene la tendencia a la disminución del pH en los últimos cuatro años tanto para flujo como reflujo.

**Figura 3.1.1.3**

*Serie de tiempo en el punto denominado Barra Interna 2*



A medida que nos dirigimos a puntos más hacia el norte del estuario, se visualizó que la tendencia continuaba en disminución, con la diferencia de que los valores de pH son menores en comparación a los dos puntos mostrados anteriormente.

**Figura 3.1.1.4**

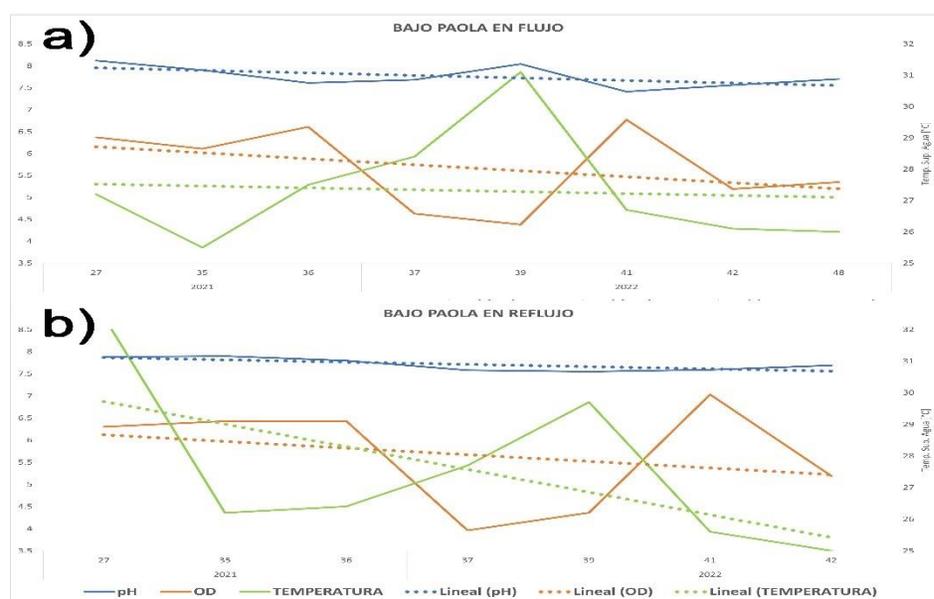
*Serie de tiempo en el punto denominado Estero Cobina*



A partir de este punto, los valores de pH oscilaban entre 7.3 y 7.8, pero también se observó que, por ejemplo, para el año 2019 en el mes 8 y 9 en flujo y reflujos, aunque se tuviese una disminución de la temperatura, debería aumentar el OD, pero esto no sucedió debido a valores bajos de pH, lo que indica que el OD depende más del pH que de la temperatura del agua.

### Figura 3.1.1.5

*Serie de tiempo en el punto denominado Bajo Paola*



En general, desde el punto de vista de la relación entre las 3 variables mostradas en las gráficas, no hubo anomalías de origen natural, teniendo un comportamiento esperado tanto para meses de épocas lluviosas y secas, tal como lo sugiere el estudio de (Marin Jarrin et al., 2022) en cuanto a la dinámica estacional del estuario interior del Guayas.

### 3.1.2 De las comparaciones

El método de varianza de un factor dio como resultado la siguiente tabla resumen:

**Tabla 3.1.2.1**

*Valores F y valores crítico F entre puntos en marea alta*

Puntos	Flujo		Reflujo	
	Valor F	Valor crítico F	Valor F	Valor crítico F
pH Depósito pH Barra int 1 pH Barra int 2	4.862	3.081	13.973	3.081
pH Depósito pH Barra int 1	0.015	3.972	0.607	3.972
pH Depósito pH Barra int 1 pH Cascajal	0.091	3.134	0.252	3.238
pH Barra int 2 pH Cobina pH Muerto pH Sta. Ana	0.534	5.409	1.208	5.409
pH Cascajal pH Barra Norte pH Bajo Paola	4.247	3.493	4.211	3.493
pH Barra Norte pH Bajo Paola	0.008	4.747	0.493	4.747

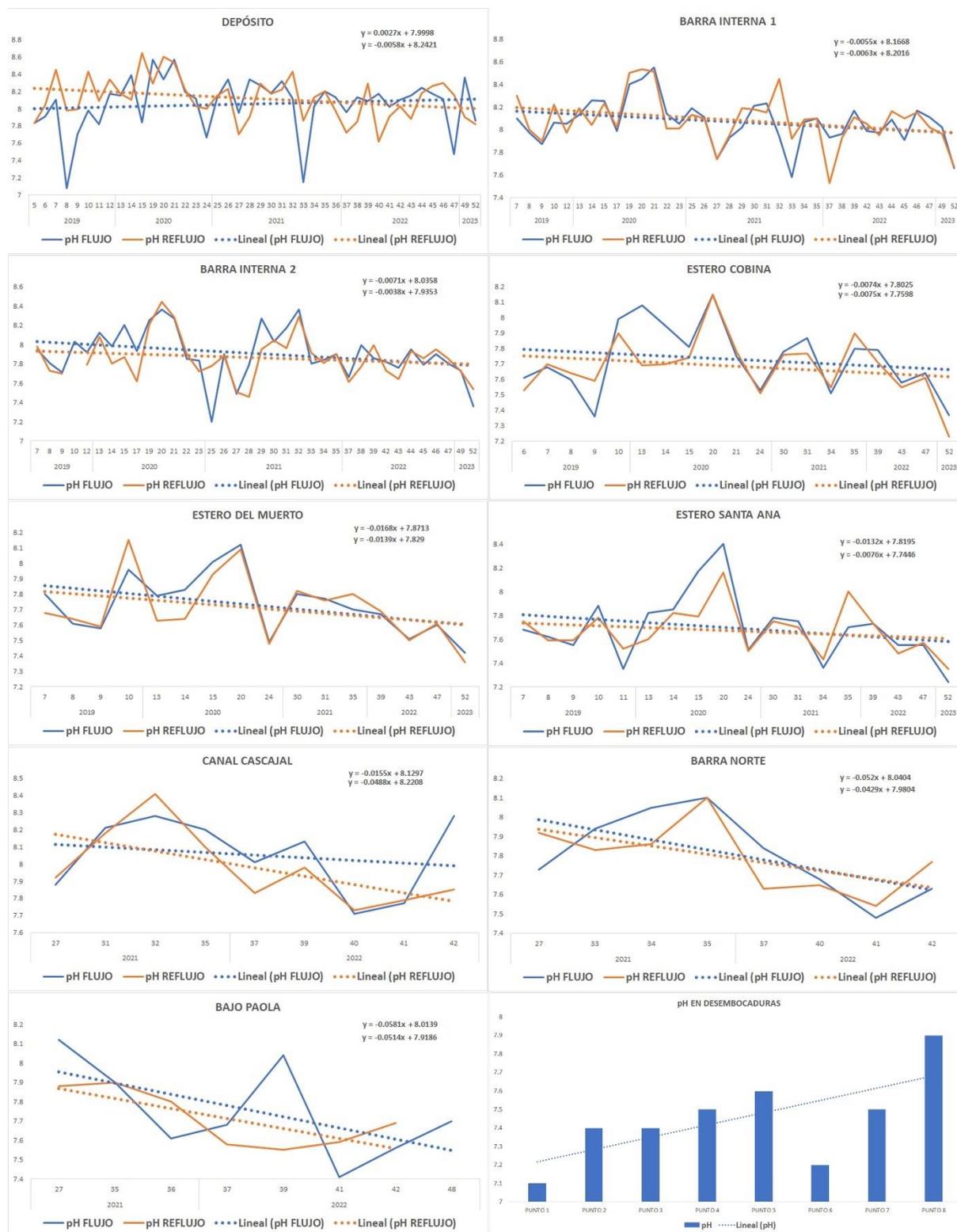
*Nota.* Cálculos realizados por el autor con el programa Excel (2023)

Los valores de la **Tabla 3.1.2.1** corresponden a la prueba de hipótesis de ANOVA: si el valor F es menor que el valor crítico F, entonces hay correlación entre los puntos.

También se obtuvieron las siguientes gráficas de regresión lineal simple:

Figura 3.1.2.1

Tendencias del pH para cada punto dentro del área de estudio



### 3.1.3 De la interpolación

De esta etapa, se muestra a continuación un resumen de todos los años:

#### Figura 3.1.3.1

*Interpolaciones obtenidas con QGIS para los años de estudio*

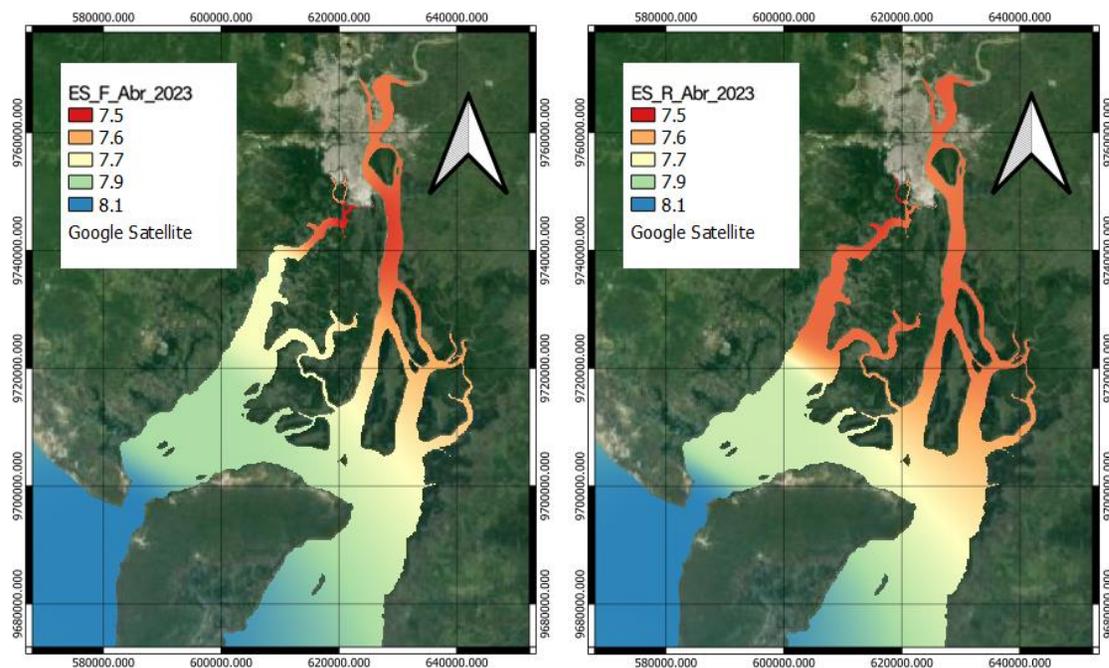


Nota: Cada par de gráficas representan la distribución del pH para flujo y reflujo, considerando los meses para época seca y época lluviosa, es decir, desde agosto 2019 hasta noviembre del 2022, excepto el último par de gráficas que corresponden a abril del 2023

En la **Figura 3.1.3.1**, podemos identificar que las zonas con niveles más bajos de pH corresponden a zonas pobladas, lo que demuestra la influencia antrópica en la variación del pH en el área.

### Figura 3.1.3.2

*Distribución del pH en flujo y refluo, abril del 2023*



El estado más actual, hasta abril del 2023, se puede observar en la **Figura 3.1.3.2**, aunque existe el ingreso de agua de mar con un pH más neutro, se mantiene la reducción de los niveles hasta y por debajo de los 7.5, con una tendencia a expandirse hacia la cabecera del RG.

### 3.1.4 De las conclusiones del estudio

En base a las hipótesis propuestas para este estudio, lo obtenido en la etapa de comparaciones:

**Tabla 3.1.4.1**

*Promedios para el área central del ES desde 2019 a 2023*

<b>Año</b>	<b>Barra interna 1 y 2</b>
2019	8.02
2020	7.98
2021	7.93
2022	7.91
2023	7.88

*Nota:*

De la **Tabla 3.1.4.1**, tomando a los puntos centrales barra interna 1 y 2, da como resultado que la tasa de variación del pH en promedio por año ha sido en tres centésimas para el ES y conforme se va hacia más al norte, los valores se reducen hasta 7.3.

**Tabla 3.1.4.2**

*Promedios del área central para el canal RG desde 2021 a 2022*

<b>Año</b>	<b>Barra Norte y Bajo Paola</b>
2021	7.79
2022	7.7

*Nota:*

Del mismo modo en la tabla **Tabla 3.1.4.2**, tomando a barra norte y bajo Paola, en análisis se hizo solo en años de 2021 hasta 2022, debido a que los muestreos solo han sido realizados para esos años. Comparando el promedio de 2022 para ambos canales, se observa que el canal RG tiene mayor tendencia a la disminución que el ES, esto probablemente debido a la naturaleza de cada canal, ya que para el ES predominan las aguas del mar, mientras que para RG predominan las precipitaciones, descargas de agua y de los afluentes que lo alimentan, lo que reafirmaría que la disminución es por actividades humanas.

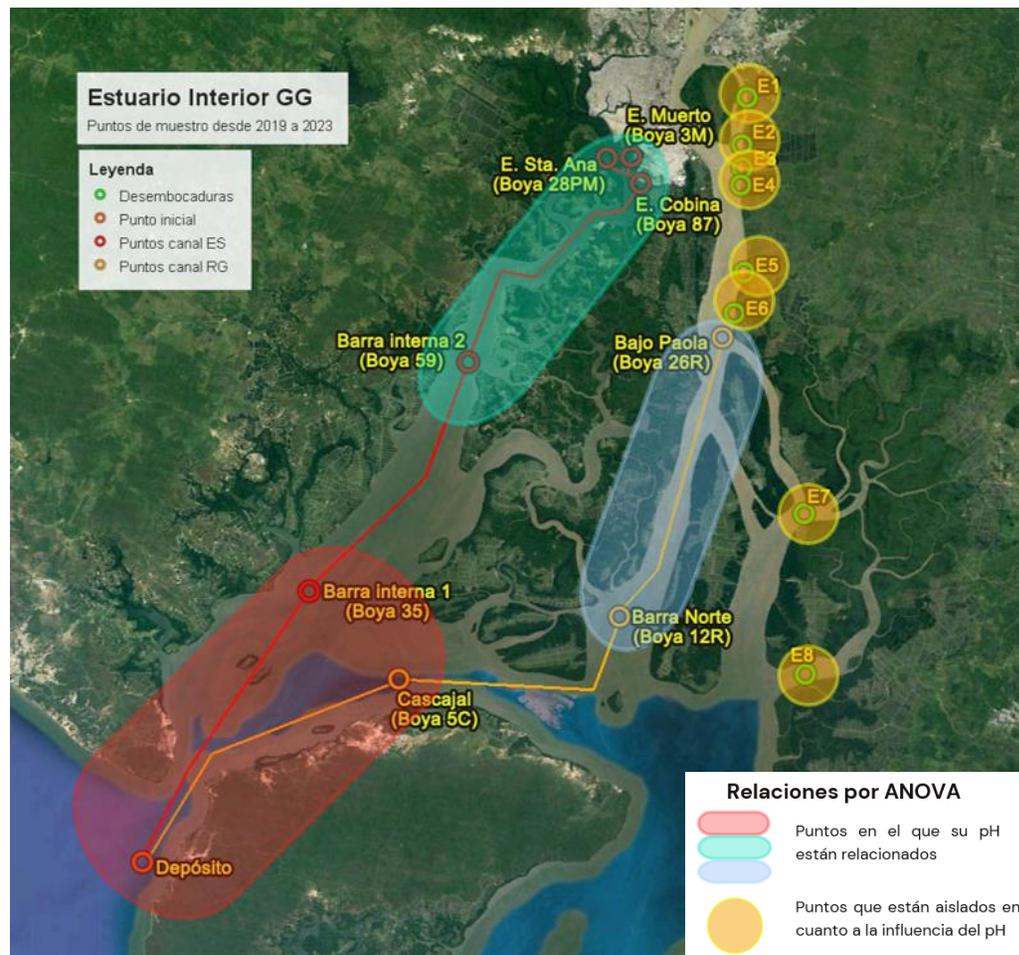
Por otra parte, para la 2da hipótesis, en la **Figura 3.1.2.1** podemos observar que no hay variaciones significativas en el intervalo de 6 horas aproximadamente, correspondientes a flujo y

reflujo, por lo que sin este tiempo no hay variaciones significativas, tampoco las habría en lapsos de una a dos horas.

De la última hipótesis, con los valores de la *Tabla 3.1.2.1*, se obtiene lo siguiente:

### Figura 3.1.4.1

*Mapa de correlaciones entre puntos de muestreo*

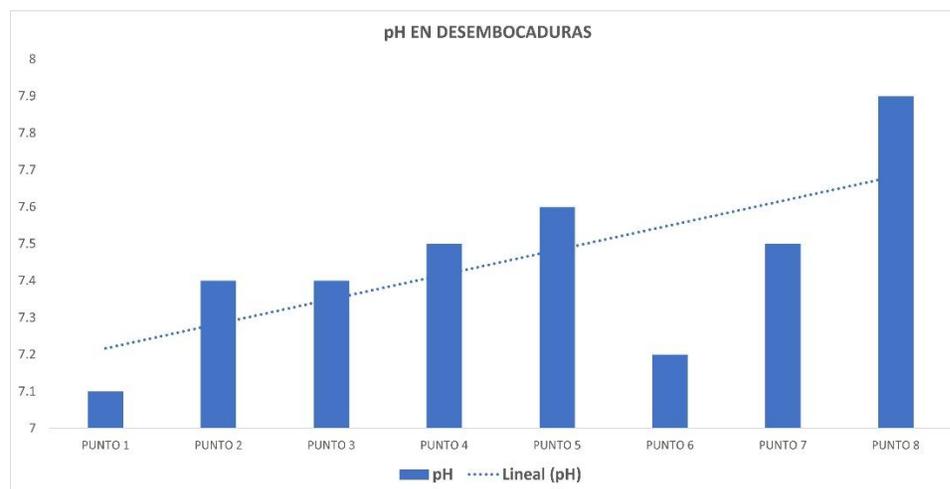


En esta *Figura 3.1.4.1*, se puede apreciar que los niveles de pH de los puntos ubicados en la zona central de cada canal, barra interna 2 y barra norte, son influenciados por el pH de los puntos más al norte que por los de más al sur. Evidenciando que son afectados por lo que pase en la parte norte, la cual a su vez es influenciada por factores antrópicos como urbanismo o descargas de aguas no tratadas, provenientes, por ejemplo, del cantón Durán, el cual no cuenta

con plantas de tratamiento para toda su población y que es de conocimiento público (*Duran padece por una deficiente obra de drenaje*, 2018), lo que genera descargas directas y siendo uno de los posibles motivos del que exista menor pH en RG que en ES, como se determinó en la **Figura 3.1.3.2** del apartado de interpolaciones. Por otra parte, el estudio publicado por (Ormazágon-González et al., 2022) es un indicador de que zonas como el canal de El Morro, cercano a la barra interna 1, se ha visto influenciadas de forma negativa por la actividad humana, teniendo procesos de anoxia, demostrando así que lo que sucede en ES no es por causas naturales sino antrópicas.

### Figura 3.1.4.2

*Valores de pH para puntos muestreados en desembocaduras en febrero 2023*



*Nota:* El punto 1 se ubicó en la zona más interna del RG y el punto 8 en la zona más saliente

Los muestreos realizados en las desembocaduras, reafirman la influencia antrópica en RG. El punto uno corresponde a la desembocadura del estero que pasa por zonas pobladas de Durán e industrias dedicadas al balanceado, en el que se encontró un valor de 7.1, el cual probablemente influya en los puntos dos y tres, aunque estos se encuentran en zonas de descargas de aguas, como producto de la industrial acuícola. De manera general, se observó que

el pH aumenta conforme nos dirigimos hacia la zona más externa del estuario, exceptuando al punto seis, el cual se desconoce el motivo del bajo valor respecto a sus puntos vecinos.

### 3.1.5 *Del plan de monitoreo*

Los resultados esperados para este punto son la obtención de una base de datos continua, en el que se debe unir a los parámetros medidos en campo, los ambientales, oceanográficos y considerar el estado del caudal de los afluentes, los cuales van a depender de las precipitaciones que se den en el área. Todo este proceso debe ser realizado por un investigador oceanógrafo, debido a las capacidades que este tiene sobre el conocimiento y la correlación de los parámetros anteriormente mencionados y con ello proceder realizar modelos de difusión para entender la dinámica del estuario. Dependiendo de la propuesta a la que se incline el cliente, tenemos los siguientes presupuestos:

**Tabla 3.1.5.1**

*Presupuesto para campaña simultánea de un día*

<b>1ERA CAMPAÑA DE UN DÍA</b>			
<b>Costos</b>	<b>V. Unitario</b>	<b>Cantidad</b>	<b>V. Total</b>
Investigador + auxiliares	\$ 1,500.00	1	\$ 1,500.00
Multiparámetro HI98194/10	\$ 2,036.16	2	\$ 4,072.32
Espectrofotometro	\$ 4,032.00	1	\$ 4,032.00
Botella Van Dorn	\$ 600.00	2	\$ 1,200.00
Disco Secchi	\$ 83.00	2	\$ 166.00
Minibar 87 L	\$ 229.00	1	\$ 229.00
GPS Garmin	\$ 449.00	2	\$ 898.00
Pipeta mecánica	\$ 306.63	1	\$ 306.63
Reactivos Fosfato	\$ 30.91	1	\$ 30.91
Reactivos Nitrato	\$ 57.79	1	\$ 57.79
Reactivos nitrito	\$ 55.10	1	\$ 55.10
Reactivos Amoniac	\$ 29.57	1	\$ 29.57
Coliformes fecales	\$ 18.00	10	\$ 180.00
Botellas ámbar 500 ml	\$ 1.50	20	\$ 30.00
Hielera	\$ 10.00	4	\$ 40.00
Hielo	\$ 1.00	8	\$ 8.00

Transp. Terrestre	\$ 50.00	2	\$ 100.00
Transp. Agua	\$ 120.00	2	\$ 240.00
Varios	\$ 800.00	2	\$ 1,600.00
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 14,775.32</b>

*Nota:* Los cálculos se basaron en los precios actuales del mercado ecuatoriano y en base a la experiencia trabajada del autor en los laboratorios durante la carrera en ESPOL

### **Tabla 3.1.5.2**

*Costos totales para un año de muestreo, con base a la tabla anterior*

<b>CAMPAÑAS POSTERIORES DE UN DÍA</b>			
<b>Costos</b>	<b>V. Unitario</b>	<b>Cantidad</b>	<b>V. Total</b>
Investigador + auxiliares	\$ 1,500.00	1	\$ 1,500.00
Reactivos Fosfato	\$ 30.91	1	\$ 30.91
Reactivos Nitrato	\$ 57.79	1	\$ 57.79
Reactivos nitrito	\$ 55.10	1	\$ 55.10
Reactivos Amoniaco	\$ 29.57	1	\$ 29.57
Coliformes fecales	\$ 18.00	10	\$ 180.00
Botellas ámbar 500 ml	\$ 1.50	20	\$ 30.00
Hielera	\$ 10.00	4	\$ 40.00
Hielo	\$ 1.00	8	\$ 8.00
Transp. Terrestre	\$ 50.00	2	\$ 100.00
Transp. Agua	\$ 120.00	2	\$ 240.00
Varios	\$ 400.00	2	\$ 800.00
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 3,071.37</b>
<b>TOTAL ANUAL</b>			<b>\$ 45,491.02</b>

*Nota:* Cálculo anual del presupuesto realizado por el autor (2023)

La **Tabla 3.1.5.2** está dirigida para que el cliente pueda hacer de forma independiente, pero con un investigador asociado, el muestreo en base a sus necesidades. Todos los ítems de la **Tabla 3.1.5.1** se consideran inversión, la cual pasa a ser amortizable en los meses posteriores. En varios se incluyen a los costos variables como luz, agua y materiales de laboratorio de un solo uso.

**Tabla 3.1.5.3***Presupuesto para campaña de dos días*

<b>1ERA CAMPAÑA DE DOS DÍAS</b>			
<b>Costos</b>	<b>V. Unitario</b>	<b>Cantidad</b>	<b>V. Total</b>
Investigador asociado	\$ 1,200.00	1	\$ 1,200.00
Multiparámetro HI98194/10	\$ 2,036.16	1	\$ 2,036.16
Espectrofotometro	\$ 4,032.00	1	\$ 4,032.00
Botella Van Dorn	\$ 600.00	1	\$ 600.00
Disco Secchi	\$ 83.00	1	\$ 83.00
Minibar 87 L	\$ 229.00	1	\$ 229.00
GPS Garmin	\$ 449.00	1	\$ 449.00
Pipeta mecánica	\$ 306.63	1	\$ 306.63
Reactivos Fosfato	\$ 30.91	1	\$ 30.91
Reactivos Nitrato	\$ 57.79	1	\$ 57.79
Reactivos nitrito	\$ 55.10	1	\$ 55.10
Reactivos Amoniaco	\$ 29.57	1	\$ 29.57
Coliformes fecales	\$ 18.00	10	\$ 180.00
Botellas ámbar 500 ml	\$ 1.50	20	\$ 30.00
Hielera	\$ 10.00	2	\$ 20.00
Hielo	\$ 1.00	4	\$ 4.00
Transp. Terrestre	\$ 50.00	2	\$ 100.00
Transp. Agua	\$ 120.00	2	\$ 240.00
Varios	\$ 800.00	2	\$ 1,600.00
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 11,283.16</b>

*Nota:* Elaborado por el autor (2023)**Tabla 3.1.5.4***Costos totales para un año de muestreo, con base al presupuesto de dos días*

<b>CAMPAÑAS POSTERIORES DE DOS DÍAS</b>			
<b>Costos</b>	<b>V. Unitario</b>	<b>Cantidad</b>	<b>V. Total</b>
Investigador asociado	\$ 1,200.00	1	\$ 1,200.00
Reactivos Fosfato	\$ 30.91	1	\$ 30.91
Reactivos Nitrato	\$ 57.79	1	\$ 57.79
Reactivos nitrito	\$ 55.10	1	\$ 55.10
Reactivos Amoniaco	\$ 29.57	1	\$ 29.57
Coliformes fecales	\$ 18.00	10	\$ 180.00
Botellas ámbar 500 ml	\$ 1.50	20	\$ 30.00
Hielera	\$ 10.00	2	\$ 20.00
Hielo	\$ 1.00	4	\$ 4.00
Transp. Terrestre	\$ 50.00	2	\$ 100.00

Transp. Agua	\$ 90.00	2	\$ 180.00
Varios	\$ 300.00	2	\$ 600.00
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 2,487.37</b>
<b>TOTAL ANUAL</b>			<b>\$ 35,683.86</b>

*Nota:* Elaborado por el autor (2023)

Para una campaña de dos días, los costos son más económicos, debido a que los costos aumentan en la campaña simultánea por el doble de equipos y de personal que se requerirían para su ejecución. Frente a estas propuestas, existe una alternativa tanto para la campaña de un día como la de dos días, que prescinde del investigador asociado y cuyo análisis sería efectuado por laboratorios privados, con la diferencia de que solo se obtendrían los resultados, sin análisis ni mucho menos modelos de difusión.

### **Tabla 3.1.5.5**

*Presupuesto de la alternativa a la propuesta inicial para campañas de un día*

<b>ALTERNATIVA PARA 1ERA CAMPAÑA DE UN DÍA</b>			
<b>Costos</b>	<b>V. Unitario</b>	<b>Cantidad</b>	<b>V. Total</b>
Multiparámetro HI98194/10	\$ 2,036.16	2	\$ 4,072.32
Botella de muestreo	\$ 600.00	2	\$ 1,200.00
Disco Secchi	\$ 83.00	2	\$ 166.00
GPS Garmin	\$ 449.00	2	\$ 898.00
Análisis fosfato	\$ 5.00	10	\$ 50.00
Análisis nitrato	\$ 7.00	10	\$ 70.00
Análisis nitrito	\$ 6.00	10	\$ 60.00
Análisis Amonio	\$ 7.00	10	\$ 70.00
Coliformes fecales	\$ 18.00	10	\$ 180.00
Botellas ámbar 500 ml	\$ 1.50	20	\$ 30.00
Hielera	\$ 10.00	4	\$ 40.00
Hielo	\$ 1.00	8	\$ 8.00
Técnico de muestreo	\$ 400.00	2	\$ 800.00
Transp. Terrestre	\$ 50.00	2	\$ 100.00
Transp. Agua	\$ 120.00	2	\$ 240.00
Varios	\$ 500.00	2	\$ 1,000.00
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 8,984.32</b>

*Nota.* Elaborado por el autor en función de los valores actuales en el mercado (2023)

**Tabla 3.1.5.6***Costos para el año de muestreo con el presupuesto de la alternativa para un día*

<b>ALTERNATIVA CAMPAÑAS POSTERIORES DE UN DÍA</b>			
<b>Costos</b>	<b>V. Unitario</b>	<b>Cantidad</b>	<b>V. Total</b>
Análisis fosfato	\$ 5.00	10	\$ 50.00
Análisis nitrato	\$ 7.00	10	\$ 70.00
Análisis nitrito	\$ 6.00	10	\$ 60.00
Análisis amonio	\$ 7.00	10	\$ 70.00
Coliformes fecales	\$ 18.00	10	\$ 180.00
Botellas ámbar 500 ml	\$ 1.50	20	\$ 30.00
Hielera	\$ 10.00	4	\$ 40.00
Hielo	\$ 1.00	8	\$ 8.00
Técnico de muestreo + aux	\$ 250.00	2	\$ 500.00
Transp. Terrestre	\$ 50.00	2	\$ 100.00
Transp. Agua	\$ 120.00	2	\$ 240.00
Varios	\$ 1,000.00	2	\$ 2,000.00
<b>TOTAL</b>			<b>\$ 3,348.00</b>
<b>TOTAL ANUAL</b>			<b>\$ 45,812.32</b>

*Nota: Elaborado por el autor (2023)***Tabla 3.1.5.7***Presupuesto de la alternativa para campaña de dos días*

<b>ALTERNATIVA PARA 1ERA CAMPAÑA DE DOS DÍAS</b>			
<b>Costos</b>	<b>V. Unitario</b>	<b>Cantidad</b>	<b>V. Total</b>
Multiparámetro HI98194/10	\$ 2,036.16	1	\$ 2,036.16
Botella de muestreo	\$ 600.00	1	\$ 600.00
Disco Secchi	\$ 83.00	1	\$ 83.00
GPS Garmin	\$ 449.00	1	\$ 449.00
Análisis fosfato	\$ 5.00	10	\$ 50.00
Análisis nitrato	\$ 7.00	10	\$ 70.00
Análisis nitrito	\$ 6.00	10	\$ 60.00
Análisis amonio	\$ 7.00	10	\$ 70.00
Coliformes fecales	\$ 18.00	10	\$ 180.00
Botellas ámbar 500 ml	\$ 1.50	20	\$ 30.00
Hielera	\$ 10.00	2	\$ 20.00
Hielo	\$ 1.00	4	\$ 4.00
Técnico de muestreo + aux	\$ 400.00	1	\$ 400.00
Transp. Terrestre	\$ 50.00	2	\$ 100.00

Transp. Agua	\$	120.00	2	\$	240.00
Varios	\$	250.00	2	\$	500.00
<b>TOTAL</b>				<b>\$</b>	<b>4,892.16</b>

*Nota:* Elaborado por el autor (2023)

### **Tabla 3.1.5.8**

*Costos para un año de muestreo con el presupuesto de la alternativa para dos días*

<b>ALTERNATIVA CAMPAÑAS POSTERIORES DE DOS DÍAS</b>					
<b>Costos</b>	<b>V. Unitario</b>	<b>Cantidad</b>	<b>V. Total</b>		
Técnico de muestreo + aux	\$	500.00	1	\$	500.00
Análisis fosfato	\$	5.00	10	\$	50.00
Análisis nitrato	\$	7.00	10	\$	70.00
Análisis nitrito	\$	6.00	10	\$	60.00
Análisis amonio	\$	7.00	10	\$	70.00
Coliformes fecales	\$	18.00	10	\$	180.00
Botellas ámbar 500 ml	\$	1.50	20	\$	30.00
Hielera	\$	10.00	2	\$	20.00
Hielo	\$	1.00	4	\$	4.00
Transp. Terrestre	\$	50.00	2	\$	100.00
Transp. Agua	\$	120.00	2	\$	240.00
Logística	\$	100.00	1	\$	100.00
Varios	\$	1,200.00	1	\$	1,200.00
<b>TOTAL</b>				<b>\$</b>	<b>2,624.00</b>
<b>TOTAL ANUAL</b>				<b>\$</b>	<b>33,756.16</b>

*Nota:* Elaborado por el autor (2023)

Tanto la propuesta como la alternativa para la campaña de un día, tienen costos similares, la diferencia será en qué tipo de productos desea recibir el cliente por esta inversión.

## Capítulo 4

## 4.1 Conclusiones y recomendaciones

### 4.1.1 Conclusiones

- En el periodo de 2019 a 2023, la disminución del nivel de pH ha sido en más de una décima de unidad en el área del canal Estero Salado y casi una décima en el canal Río Guayas, siendo en esta última zona, la que presenta un pH más bajo de 7.7 respecto al canal ES de 7.91 en el mismo año (2022), por lo que se concluye en que existe un proceso de acidificación en el estuario.
- Los valores de pH son similares tanto para flujo como reflujos, por lo que, si en intervalos de 6 horas correspondiente a cambios de marea, el pH no varía significativamente, entonces el pH no tiene un cambio significativo en intervalos de una a dos horas en todos los puntos de muestreo y en especial en los mostrados en la gráfica, por lo que no existe un riesgo de estrés por cambios bruscos del pH.
- En base al ANOVA, existen tres zonas diferenciadas, cuyos niveles de pH están relacionados entre sí. Estas zonas diferenciadas no comparten una correlación entre ellas, al igual que los puntos desde E1 a E8, debido a que son puntos de zonas de descargas de aguas, las cuales tendrán niveles de pH en función de la calidad de las aguas descargadas en esos puntos. No obstante, se concluye que los puntos de las desembocaduras pueden alterar en poco tiempo el pH para ciertas zonas que afectarían directamente a camarónicas que dependen del agua de esa zona.
- Se concluye que el comportamiento de las variables pH, OD y T es el que se esperaría encontrar normalmente. Es decir, no hay anomalías en sus correlaciones, por lo que descarta que la disminución del pH se deba a anomalías típicas tales como suelen darse en el océano, incluso en época seca y lluviosa, el estuario mantiene sus comportamientos

característicos de cada época, destacando que el estudio fue realizado en el fenómeno de La niña, lo que representaría mejores condiciones de OD en el estuario, pero los bajos niveles de pH fueron una limitante para el OD, según el estudio realizado.

- Con el estudio, se concluye que el problema no sólo es la disminución del pH en el área, sino que áreas con pH menor e igual a 7.5 van cada vez ocupando más espacio, afectando a la cabecera del RG y con el tiempo pudiendo afectar a la calidad de agua inclusive para consumo humano, ya que si no se activan las plantas de tratamiento de aguas en años posteriores, es probable que estos niveles bajos de pH se extiendan hasta la cuenca media del río Daule que es de donde se toma el agua para consumo urbano.
- Se concluye que el descenso del pH va a ser un problema dentro de unos años si los factores como urbanismo, falta de tratamiento de aguas y demanda de agua potable aumentan, por lo que esto puede afectar a la calidad del producto del sector camaronero.
- Los presupuestos mostrados en este trabajo son competitivos, tanto desde el punto de vista económico, como de los productos que se pueden obtener con ellos, siendo esto una solución para el sector, al menos hasta que se regulen las descargas de aguas no tratadas.
- Para crear un modelo de difusión en 2D y 3D, no es necesario el uso de un programa con licencia, lo que sí se requiere es que existen una buena base de datos para que las interpolaciones como las realizadas en este trabajo con el programa QGIS, sean las más exactas, destacando también que este mismo programa permite generar modelos en 3D.

#### **4.1.2 Recomendaciones**

- En términos generales, la importancia de este trabajo se basa en su utilidad para un sector del cual el país depende económicamente, aunque no basta con solo realizar muestreos, sino que se debe llegar a modelos hidrodinámicos, los cuales se recomiendan porque nos sirven no solo para monitorear y predecir la calidad del agua del estuarino, sino que también para determinar zonas de riesgo de inundación como en un evento del fenómeno de El niño, ya que el sector camaronero tiene un alto índice de riesgo y las herramientas que se pueden tener a partir de este proyecto serán de utilidad desde varios puntos de vista y para diferentes sectores, no solo el camaronero.
- Con el fin de mejorar los estudios sobre el estuario interior, se recomienda analizar otras variables en los muestreos, como fosfatos, nitritos, nitratos, amonio, ya que esto nos permitirá determinar de mejor forma la calidad del agua del área, así como identificar mediante valores de nutrientes el estado de producción primaria o las zonas que sea susceptibles a proliferación de algas y bacterias nocivas para la fauna estuarina.
- Realizar el estudio de los puntos propuestos en el plan de monitoreo, por lo menos 1 año, mensualmente, con el fin de poder usar estos datos para una propuesta de ordenanza en función de los puntos que más afecten a la calidad del agua del ES y RG.
- Se debe realizar un estudio en la cuenca alta, media y baja del río Daule, puesto que este río puede considerarse como una causa del descenso del pH por recibir descargas de aguas no tratadas.
- Se recomienda realizar una campaña de monitoreo al menos con la alternativa a la propuesta original, con el fin de usar estos datos para combinarlos con variables oceanográficas y atmosféricas y poder generar un modelo de difusión, puesto que se debe

considerar que el estuario del Golfo de Guayaquil está influenciado por mareas y precipitaciones.

- También se recomienda realizar un estudio enfocado solo en cómo afectan los sedimentos a la columna de agua para el canal RG, ya que el proceso de dragado puede influir en los niveles de pH y pueden llevar a malas lecturas del mismo.
- Es recomendable usar programas de licencia libre, puesto que los programas de modelamiento tienen costos elevados en sus licencias, mientras que con un software libre se puede realizar el mismo proceso, aunque este nos lleve más tiempo.

## Bibliografía

- Amerise, A. (2023, abril 21). Cómo Ecuador se convirtió en el mayor exportador mundial de camarones (y qué papel clave jugó China). *BBC News Mundo*.  
<https://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina-65247655>
- Blanqueamiento del Coral*. (s. f.). Coral Reef Alliance. Recuperado 5 de septiembre de 2023, de  
<https://coral.org/es/que-hacemos/global-conservation/coral-bleaching/>
- Cai, W.-J., Feely, R. A., Testa, J. M., Li, M., Evans, W., Alin, S. R., Xu, Y.-Y., Pelletier, G., Ahmed, A., Greeley, D. J., Newton, J. A., & Bednaršek, N. (2021). Natural and Anthropogenic Drivers of Acidification in Large Estuaries. *Annual Review of Marine Science*, 13(1), 23-55. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-010419-011004>
- Coba, G. (2021, julio 5). Cuatro factores mejoran el índice de producción del sector camaronero. *Primicias*.  
<https://www.primicias.ec/noticias/economia/factores-mejoran-indice-produccion-camaron/>
- Cogollos, M. F. (s. f.). *Efectos de la acidificación marina en conchas de bivalvos*.
- Cucalón-Zenck, E. (1996). *SISTEMAS BIOFÍSICOS EN EL GOLFO DE GUAYAQUIL: OCEANOGRAFÍA Y SISTEMAS FÍSICOS* (pp. 1-109).  
[https://www.researchgate.net/publication/341580602\\_SISTEMAS\\_BIOFISICOS\\_EN\\_EL\\_GOLFO\\_DE\\_GUAYAQUIL\\_OCEANOGRAFIA\\_Y\\_SISTEMAS\\_FISICOS](https://www.researchgate.net/publication/341580602_SISTEMAS_BIOFISICOS_EN_EL_GOLFO_DE_GUAYAQUIL_OCEANOGRAFIA_Y_SISTEMAS_FISICOS)
- Divaagen. (2021, marzo 24). Método del Número Más Probable (NMP). *Divaagen*.  
<https://www.divaagen.com/metodo-del-numero-mas-probable/>
- Duran padece por una deficiente obra de drenaje*. (2018, julio 22).  
<https://www.expreso.ec/actualidad/duran-padece-deficiente-obra-drenaje-38213.html>

*El camarón, el abanderado de las exportaciones ecuatorianas* | CEAP :: Centro de Estudios Asia-Pacífico. (2023, mayo 31). <https://ceap.espol.edu.ec/es/content/el-camar%C3%B3n-el-abanderado-de-las-exportaciones-ecuatorianas>

*Espectrofotómetro visible «iris»* » HANNA® instruments Ecuador. (s. f.). Recuperado 6 de septiembre de 2023, de <https://hannainst.ec/productos/fotometros-de-mesa/espectrofotometro-visible-iris/>

Estévez, R. (2019, mayo 14). *Interpolación espacial en QGIS: Métodos, procesos y evaluación*. geomapik. <https://www.geomapik.com/analisis-gis/como-realizar-interpolacion-espacial-qgis-metodos/>

Estupiñan Zambrano, M. F., Peñafiel Villareal, P. G., & Andrade Dicao, G. M. (2018). Variaciones estacionales de los parámetros físico-químicos de la calidad de agua del estero salado en el canal de acceso al puerto marítimo de Guayaquil bajo condiciones de dragado. *RECIMUNDO*, 307-326. [https://doi.org/10.26820/recimundo/2.\(2\).2018.307-326](https://doi.org/10.26820/recimundo/2.(2).2018.307-326)

Gómez, J. V. C. (s. f.). *Curso Procesos Estuarinos*.

Harrould-Kolieb, E., & Savitz, J. (2009). *¿CÓMO AFECTA EL CO2 A LOS OCÉANOS?*

iAgua, redaccion. (2020, septiembre 15). *¿Qué es un estuario?* [Text]. iAgua; iAgua. <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-estuario>

*La acidificación de los océanos afecta la vida marina – DW – 25/11/2017*. (2017, noviembre 25). dw.com. <https://www.dw.com/es/la-acidificaci%C3%B3n-de-los-oc%C3%A9anos-una-consecuencia-directa-del-cambio-clim%C3%A1tico/a-41492749>

*La acidificación de los océanos: Un enorme reto para los ecosistemas*. (2020, febrero 19). euronews. <https://es.euronews.com/green/2020/02/19/la-acidificacion-de-los-oceanos-un-enorme-reto-para-los-ecosistemas>

LABOMERSA. (s. f.). *Efectos de las Lluvias sobre los Cultivos de Camarón – Labomersa.*

Recuperado 5 de septiembre de 2023, de <https://labomersa.com/2021/04/15/efectos-de-las-lluvias-sobre-los-cultivos-de-camaron/>

*Las emisiones mundiales de CO2 repuntaron en 2021 hasta su nivel más alto de la historia /*

CMNUCC. (2022, marzo 14). <https://unfccc.int/es/news/las-emisiones-mundiales-de-co2-repuntaron-en-2021-hasta-su-nivel-mas-alto-de-la-historia>

*Manualdeanálisisdeaguas.pdf.* (s. f.). Recuperado 6 de septiembre de 2023, de

<https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/55218/manualdeanálisisdeaguas.pdf>

Marin Jarrin, M., Marin Jarrin, J., Borbor-Cordova, M. J., Espinoza Celi, M.-E., & Dominguez-

Granda, L. (2022). Seasonal dynamics in the inner Guayas estuary, Ecuador/Dinámicas

estacionales en el estuario interior del Guayas, Ecuador Seasonal dynamics in the inner

Guayas Estuary, Ecuador. *Bulletin of Marine and Coastal Research*, 51, 129-136.

<https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2022.51.2.1125>

*Medidor multiparamétrico de pH/ ORP/ CE/ TDS/ salinidad/ OD/ presión/ temperatura con 10*

*metros de cable » HANNA® instruments Ecuador.* (s. f.). HANNA® instruments Ecuador.

Recuperado 6 de septiembre de 2023, de [https://hannainst.ec/productos/medidores-](https://hannainst.ec/productos/medidores-portatiles/medidor-multiparametrico-de-ph-orp-ce-tds-salinidad-od-presion-temperatura-con-10-metros-de-cable/)

[portatiles/medidor-multiparametrico-de-ph-orp-ce-tds-salinidad-od-presion-temperatura-](https://hannainst.ec/productos/medidores-portatiles/medidor-multiparametrico-de-ph-orp-ce-tds-salinidad-od-presion-temperatura-con-10-metros-de-cable/)

[con-10-metros-de-cable/](https://hannainst.ec/productos/medidores-portatiles/medidor-multiparametrico-de-ph-orp-ce-tds-salinidad-od-presion-temperatura-con-10-metros-de-cable/)

*NAVEGABILIDAD EN EL RIO GUAYAS JUNIO 2017.pdf.* (s. f.). Recuperado 7 de septiembre de

2023,

de

[https://www.guayaquil.gob.ec/wp-](https://www.guayaquil.gob.ec/wp-content/uploads/Documentos/Dragado/7)%20NAVEGABILIDAD%20RIO%20GUAYAS%202017/NAVEGABILIDAD%20EN%20EL%20RIO%20GUAYAS%20JUNIO%202017.pdf)

[content/uploads/Documentos/Dragado/7\)%20NAVEGABILIDAD%20RIO%20GUAYAS](https://www.guayaquil.gob.ec/wp-content/uploads/Documentos/Dragado/7)%20NAVEGABILIDAD%20RIO%20GUAYAS%202017/NAVEGABILIDAD%20EN%20EL%20RIO%20GUAYAS%20JUNIO%202017.pdf)

[S%202017/NAVEGABILIDAD%20EN%20EL%20RIO%20GUAYAS%20JUNIO%202](https://www.guayaquil.gob.ec/wp-content/uploads/Documentos/Dragado/7)%20NAVEGABILIDAD%20RIO%20GUAYAS%202017/NAVEGABILIDAD%20EN%20EL%20RIO%20GUAYAS%20JUNIO%202017.pdf)

[017.pdf](https://www.guayaquil.gob.ec/wp-content/uploads/Documentos/Dragado/7)%20NAVEGABILIDAD%20RIO%20GUAYAS%202017/NAVEGABILIDAD%20EN%20EL%20RIO%20GUAYAS%20JUNIO%202017.pdf)

- Ormaza-González, F. I., Caiza-Quinga, R., Cárdenas-Condoy, J., Intriago-Basurto, A., Piguave-Tarira, E. J., Ocaña – Balcázar, K. D., Ramírez-Pozo, B. D., & Statham, P. J. (2022). Sampling bottles for shallow estuarine waters, constructed using inexpensive recyclable materials. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 275, 107965. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2022.107965>
- Piedra, P. (2022). *Análisis Del Sector Camaronero de la Provincia del Guayas y sus Ventajas Competitivas en el Mercado Internacional, Año 2021* [Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/23759/1/UPS-GT004050.pdf>
- Producir camarón local es 24 % más caro este año.* (2023, febrero 22). [www.expreso.ec](http://www.expreso.ec). <https://www.expreso.ec/actualidad/economia/producir-camaron-local-24-carro-ano-151479.html>
- Redacción. (2022, mayo 13). El Gobierno ecuatoriano informa que el camarón nacional volverá al mercado tailandés. *Panorama Acuícola Magazine*. <https://panoramaacuicola.com/2022/05/13/el-gobierno-ecuatoriano-informa-que-el-camaron-nacional-volvera-al-mercado-tailandes/>
- Saúl. (2019, junio 27). ¿Qué importancia tiene el pH en la cría de camarones? *Molinos Champion*. <https://www.molinoschampion.com/ph-cria-de-camarones/>
- S&P. (2018, diciembre 24). Efectos del CO2 en la contaminación del aire interior y en la salud | S&P. *S&P Sistemas de Ventilación*. <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/efectos-co2/>
- UK Ocean Acidification Research Programme*. (2018). <https://www.oceanacidification.org.uk/>
- US EPA, O. (2021, marzo 26). *Emisiones de dióxido de carbono* [Data and Tools]. <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/emisiones-de-dioxido-de-carbono>

## Apéndices

## Apéndice A

Figura A1: serie para punto barra norte

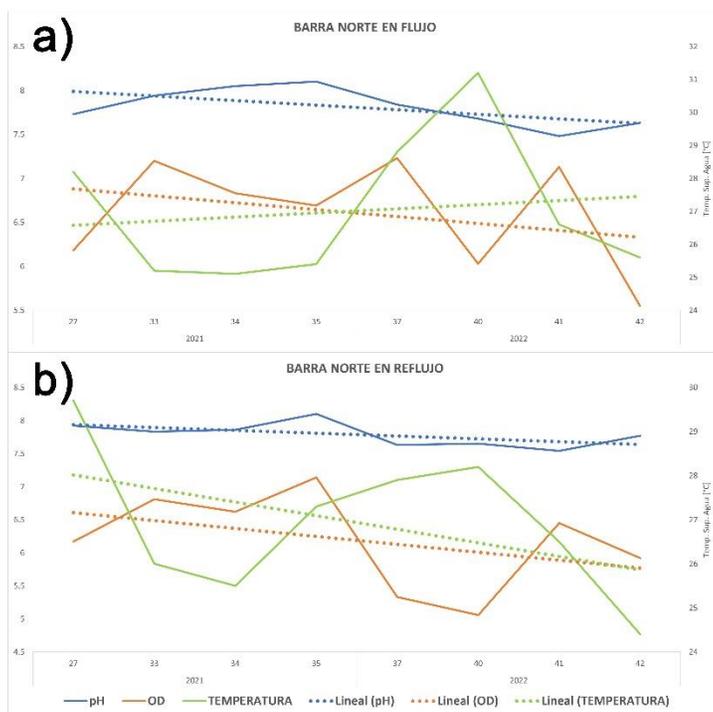
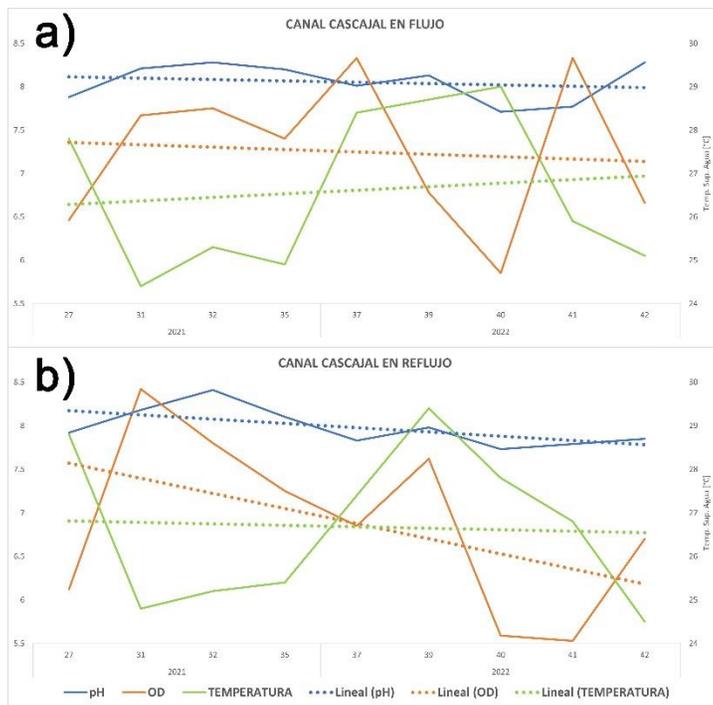
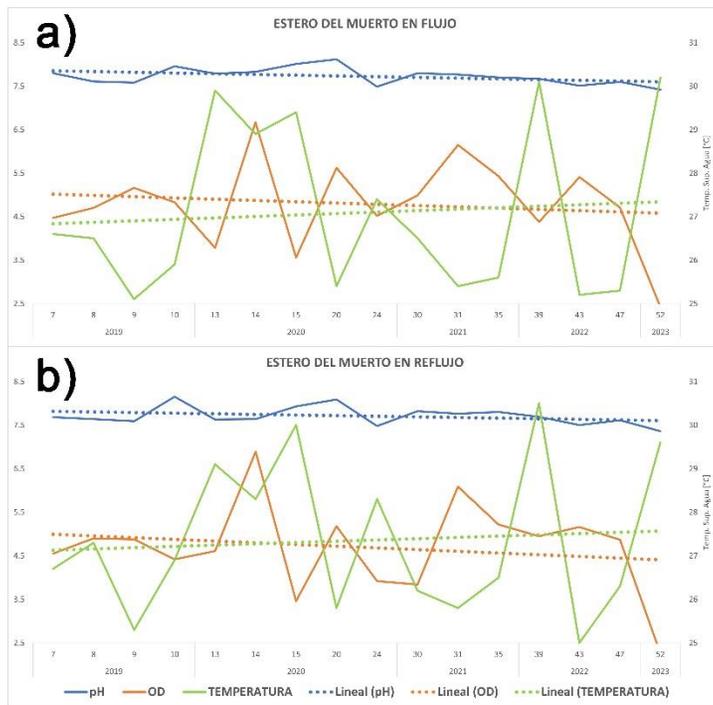


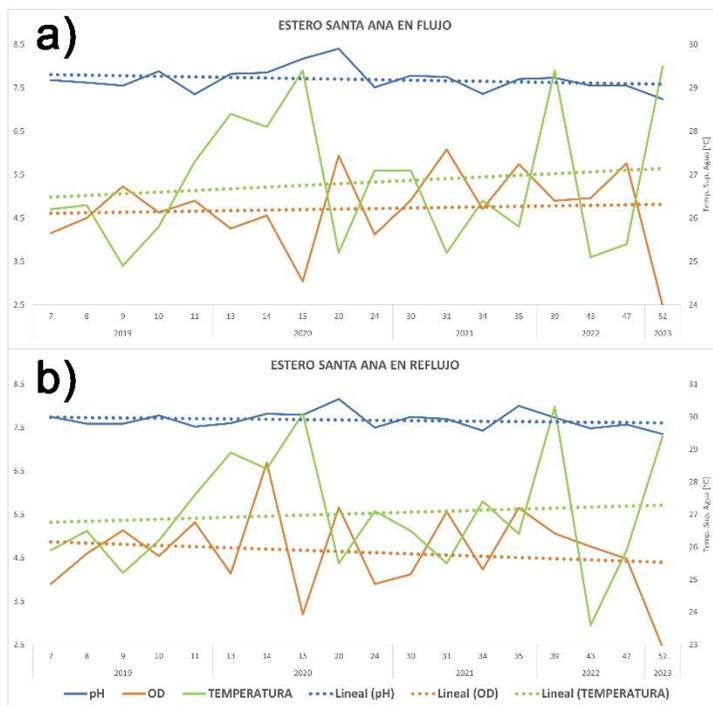
Figura A2: serie para punto cascajal



**Figura A3: serie para punto estero del muerto**



**Figura A4: serie para punto estero santa ana**



**Figura A5: serie para puntos de desembocaduras**

