



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

**EVALUACIÓN DEL ESTADO TRÓFICO DE LA LAGUNA DE
COLTA UTILIZANDO IMÁGENES SENTINEL-2 Y ANÁLISIS DE
LABORATORIO EN EL CANTÓN COLTA PROVINCIA DE
CHIMBORAZO.**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

AUTOR: ENDERSON RICARDO BETANCOURT BURBANO

DIRECTOR: ING. CARLOS ARTURO JARA SANTILLÁN

Riobamba – Ecuador

2024

© 2024, **Enderson Ricardo Betancourt Burbano**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Enderson Ricardo Betancourt Burbano, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor/autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 7 de mayo de 2024



Enderson Ricardo Betancourt Burbano

050358869-1

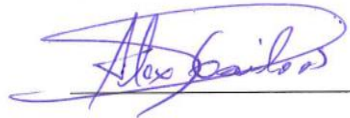
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación , **EVALUACIÓN DEL ESTADO TRÓFICO DE LA LAGUNA DE COLTA UTILIZANDO IMÁGENES SENTINEL-2 Y ANÁLISIS DE LABORATORIO EN EL CANTÓN COLTA PROVINCIA DE CHIMBORAZO**, realizado por el señor: **ENDERSON RICARDO BETANCOURT BURBANO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

FIRMA

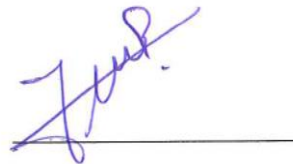
FECHA

Ing. Alex Vinicio Gavilanes Montoya
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



2024-05-07

Ing. Carlos Arturo Jara Santillán
DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR



2024-05-07

Ing. Patricio Xavier Lozano Rodríguez
ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR



2024-05-07

DEDICATORIA

Le dedico el resultado de mi trabajo de integración curricular principalmente, a mis padres que me apoyaron y me contuvieron en los momentos malos y en los buenos. Gracias por enseñarme a afrontar las dificultades y a no bajar los brazos en la búsqueda de mis sueños. Me han enseñado a ser la persona que soy hoy, mis principios, mis valores y mi empeño y todo esto con una enorme dosis de amor y sin pedir nada a cambio. También quiero dedicarle este trabajo a mi esposa y a mi hijo por su amor, por su comprensión, por su apoyo incondicional y por la fuerza que me dan día a día para culminar con mi carrera y mi trabajo de integración curricular sin duda ellos son lo mejor que me ha pasado, y han llegado en el momento indicado para darme el último empujón que me faltaba, por ultimo quiero dedicar mi trabajo a mis dos abuelitos que son mis ángeles que me da fuerzas desde el cielo, este es el regalo más lindo hasta el cielo ya que el sueño de los dos siempre fue verme como un profesional.

Enderson Betancourt.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, deseo expresar mi profundo agradecimiento a mis padres, quienes siempre me han brindado un apoyo inquebrantable en la consecución de mis metas personales y académicas. Su constante impulso y aliento han sido fundamentales para perseverar ante las adversidades. También quiero reconocer el apoyo incondicional de mi esposa, quien, a pesar de la distancia, ha sido un pilar indispensable en mi camino hacia el logro de mis metas. No puedo dejar de mencionar a mi director y asesor, cuya dedicación y paciencia han sido clave en este proceso. Sus precisas correcciones y orientaciones han sido determinantes para alcanzar este anhelado momento. Asimismo, deseo expresar mi gratitud a todos los profesores que han sido parte de mi trayectoria universitaria. Su dedicación y compromiso han sido fundamentales para adquirir los conocimientos necesarios que me han llevado hasta aquí. Sin ellos, los conceptos serían meras palabras sin significado real. Agradezco también a mis compañeros, quienes no solo han sido colegas, sino también amigos y confidentes. Valorizo enormemente las horas compartidas, los trabajos en equipo y las experiencias vividas juntos. Por último, no puedo pasar por alto el agradecimiento a la universidad, que, si bien me ha exigido, también me ha brindado la oportunidad de alcanzar mi tan ansiado título. Reconozco el arduo trabajo de cada directivo, cuya labor y gestión han sentado las bases y condiciones para mi formación académica.

Enderson Betancourt

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	xi
ÍNDICE DE ANEXOS	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.1. Planteamiento del Problema.....	2
1.2. Objetivos	3
1.2.1. <i>Objetivo General</i>	3
1.2.2. <i>Objetivos Específicos</i>	3
1.3. Justificación	3
1.4. Hipótesis	4
1.4.1. <i>Hipótesis Nula</i>	4
1.4.2. <i>Hipótesis Alterna</i>	4

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO	5
2.1. Ecosistemas acuáticos	5
2.1.1. <i>Tipos de ecosistemas acuáticos</i>	5
2.1.1.1. <i>Tipologías de los ambientes acuáticos marinos</i>	5
2.1.1.2. <i>Ecosistemas acuáticos costeros</i>	7
2.1.1.3. <i>Ecosistemas acuáticos interiores</i>	8
2.1.1.4. <i>Ambientes acuáticos loticos</i>	9
2.1.1.5. <i>Ambientes acuáticos lénticos</i>	10
2.1.2. Importancia de los ecosistemas acuáticos	12
2.2. Física y química de los ambientes acuáticos	13
2.2.1. <i>Parámetros físicos del agua</i>	14
2.2.2. <i>Parámetros químicos del agua</i>	16

2.3.	Índice de estado trófico	17
2.3.1.	<i>Índice de Carlson</i>	18
2.4.	Teledetección	18
2.4.1.	<i>Imágenes satelitales S2</i>	18
2.4.2.	<i>Corrección atmosférica</i>	19
2.4.2.1.	<i>Redes de corrección atmosférica</i>	19

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	21
3.1.	Ubicación del área de estudio	21
3.2.	Metodología	22
3.2.1.	<i>Elaborar el diagnóstico de la situación actual de la laguna de Colta</i>	22
3.2.2.	<i>Monitorear los parámetros físicos del agua de la laguna de Colta</i>	22
3.2.2.1.	<i>Parámetros físicos</i>	23
3.2.3.	<i>Generar un modelo que calcule los parámetros físicos del agua a través de imágenes sentinel-2 y los productos automáticos generados por las redes neuronales</i>	25
3.2.3.1.	<i>Índice de estado trófico</i>	26

CAPÍTULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS EN INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	28
4.1.	Elaborar el diagnóstico de la situación actual de la laguna de Colta	28
4.1.1.	<i>Condición geográfica</i>	28
4.1.1.1.	<i>Accesibilidad y conectividad</i>	28
4.1.2.	<i>Condición ambiental</i>	29
4.1.2.1.	<i>Tipología de la laguna de Colta</i>	29
4.1.2.2.	<i>Modalidad de conservación de la laguna</i>	30
4.1.2.3.	<i>Fauna característica de la laguna de Colta</i>	30
4.1.2.4.	<i>Flora característica de la laguna de Colta</i>	31
4.1.2.5.	<i>Temperatura y humedad relativa de los sitios de muestreo de la laguna de Colta</i>	31
4.1.2.6.	<i>Clasificación ecológica de los sitios de muestro en la laguna de Colta</i>	32
4.1.2.7.	<i>Usos de suelo</i>	32
4.2.	Monitorear los parámetros físicos del agua de laguna de Colta.	33
4.2.1.	<i>Monitoreo de pH</i>	33
4.2.2.	<i>Monitoreo de conductividad eléctrica</i>	34

4.2.3.	<i>Monitoreo de disco de Secchi</i>	34
4.2.4.	<i>Monitoreo de turbidez</i>	35
4.2.5.	<i>Monitoreo de oxígeno disuelto</i>	36
4.2.6.	<i>Monitoreo de oxígeno saturado</i>	37
4.2.7.	<i>Monitoreo de solidos totales disueltos</i>	38
4.2.8.	<i>Monitoreo de salinidad</i>	39
4.2.9.	<i>Monitoreo de solidos suspendidos totales</i>	39
4.3.	Generar un modelo que calcule los parámetros físicos del agua a través de imágenes sentinel-2 y los productos automáticos generados por las redes neuronales.	40
4.3.1.	<i>Comparación de gráficos de dispersión de transparencia con los tres procesadores</i>	40
4.3.2.	<i>Comparación de gráficos de dispersión de solidos totales suspendidos con los tres procesadores</i>	41
4.3.3.	<i>Análisis temporal de la laguna de Colta</i>	43
4.3.4.	<i>Cálculo de estado trófico por Disco de secchi</i>	45

CAPÍTULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	47
5.1.	CONCLUSIONES	47
5.2.	RECOMENDACIONES	48

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Clasificación de lagunas	12
Tabla 3-1: Ubicación de puntos de muestreo	22
Tabla 3-2: Criterios de aplicación de estado trófico por disco de Secchi	26
Tabla 4-1: Temperatura y humedad por sitio de monitoreo.....	31
Tabla 4-2: Cálculo de estado trófico por Disco de secchi.....	45

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 3-1: Ubicación geográfica laguna de Colta	21
Ilustración 4-1: Mapa de accesibilidad a la laguna de Colta	29
Ilustración 4-2: Mapa usos de suelo	32
Ilustración 4-3: Resultados de monitoreo de pH.....	33
Ilustración 4-4: Resultados de monitoreo de conductividad eléctrica	34
Ilustración 4-5: Resultados de monitoreo de disco de secchi.....	34
Ilustración 4-6: Resultados de monitoreo de turbidez.....	35
Ilustración 4-7: Resultados de monitoreo de oxígeno disuelto	36
Ilustración 4-8: Resultados de monitoreo de oxígeno saturado.....	37
Ilustración 4-9: Resultados de monitoreo de solidos totales disueltos	38
Ilustración 4-10: Resultados de monitoreo de salinidad	39
Ilustración 4-11: Comparación de dispersión de transparencia.....	41
Ilustración 4-12: Comparación de dispersión de solidos totales disueltos	42
Ilustración 4-13: Comparación de K_d_{Z90max} y CONCN TSM de las fechas de monitoreo ..	44

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: PREPARACIÓN DE MATERIALES PARA MUESTREO EN LA LAGUNA DE COLTA.

ANEXO B: SOCIALIZACIÓN DEL MUESTREO CON TÉCNICOS DEL GAD DEL CANTÓN COLTA SOBRE LOS SITIOS DE MUESTREO EN LA LAGUNA.

ANEXO C: TOMA DE MUESTRAS DE AGUA PARA ANÁLISIS DE LABORATORIO.

ANEXO D: MEDICIÓN DE TURBIDEZ MEDIANTE EL DISCO DE SECCHI.

ANEXO E: RECOLECCIÓN DE DATOS AMBIENTALES IN SITU.

ANEXO F: TRANSPORTE DE EQUIPOS PARA REALIZAR EL MUESTREO.

RESUMEN

La presente investigación tuvo como propósito el estudio trófico de la laguna de Colta en la provincia de Chimborazo, cuya intención fue abordar un problema ambiental como lo es la eutrofización, causada por actividades humanas y la proliferación de plantas acuáticas, que impactan en la calidad del agua y biodiversidad de los ecosistemas. Los objetivos fueron evaluar conjuntamente la situación de la laguna, monitorear sus parámetros fisicoquímicos y desarrollar modelos para su análisis a través de Imágenes Sentinel-2. Con respecto a la metodología se organizó en tres etapas muestreo en campo, análisis de laboratorio y procesamiento de imágenes satelitales. Se recolectaron datos tanto físicos y químicos del agua en seis puntos de muestreo, seguido por el procesamiento de las imágenes con tres procesadores distintos para poder generar modelos de parámetros físicos del agua analizada. Cabe destacar que los resultados revelaron problemas significativos, como alta turbidez, contaminación por sólidos suspendidos y una condición eutrófica por la presencia de nutrientes. Se concluye que el enfatizar la urgencia de implementar medidas de conservación ambiental para proteger la Laguna de Colta como un recurso hídrico vital. Por ello, se recomendó el control de la proliferación de plantas acuáticas y la remoción de sedimentos como acciones prioritarias. En resumen, el estudio proporcionó una comprensión integral del estado trófico de la laguna, resaltando la importancia de su preservación para la biodiversidad y suministro de agua local, permitiendo la implantación de un programa de gestión sostenible de los recursos naturales en la región.

Palabras claves: <ESTADO TRÓFICO>, <LAGUNA DE COLTA>, <DATOS FISICOQUÍMICOS>, <IMÁGENES SENTINEL-2>, <SOSTENIBILIDAD>, <BIODIVERSIDAD>

0479-DBRA-UPF-2024



ABSTRACT

The purpose of this research was the trophic study of Colta lagoon in the province of Chimborazo, whose intention was to address an environmental problem such as eutrophication, caused by human activities and the proliferation of aquatic plants, which impact the quality of the water and biodiversity of ecosystems. The objectives were to jointly evaluate the situation of the lagoon, monitor its physicochemical parameters and develop models for analysis through Sentinel-2 Images. Regarding the methodology, field sampling, laboratory analysis and satellite image processing were organized in three stages. Both physical and chemical water data were collected at six sampling points, followed by image processing with three different processors to generate models of physical parameters of the analyzed water. It should be noted that the results revealed significant problems, such as high turbidity, contamination by suspended solids and a eutrophic condition due to the presence of nutrients. It is concluded that emphasizing the urgency of implementing environmental conservation measures to protect Colta Lagoon as a vital water resource. Therefore, the control of the proliferation of aquatic plants and the removal of sediments were recommended as priority actions. In summary, the study provided a comprehensive understanding of the trophic state of the lagoon, highlighting the importance of its preservation for biodiversity and local water supply, allowing the implementation of a sustainable management program for natural resources in the region.

Keywords: <TROPIC STATE>, <COLTA LAGOON>, <PHYSICOCHEMICAL DATA>, <SENTINEL-2 IMAGES>, <SUSTAINABILITY>, <BIODIVERSITY>



Lic. Lorena Hernández A. Mcs
1803737889

INTRODUCCIÓN

Cuando hablamos de ecosistemas acuáticos, como su nombre indica, se trata precisamente de los ecosistemas o entornos compuestos principalmente por agua y la biodiversidad de flora y fauna, y otros organismos, que haya en dicho entorno, entre las principales características podemos encontrar que pueden ser de agua salada y de agua dulce, facilitan diversos espacios de vida para la fauna y flora entre las que podemos encontrar plantas acuáticas y algas, los ecosistemas acuáticos también ayudan en la regulación del ciclo del agua en el planeta (Juste, 2021).

Los ecosistemas acuáticos se pueden clasificar en ecosistemas acuáticos de agua salada los cuales tienen un alto nivel de sal, este ecosistema de agua salada representan un 70% de la superficie terrestres y el 99% de su volumen entre estos podemos encontrar mares, océanos y marismas que son ecosistemas mixtos y los ecosistemas de agua dulce tienen un bajo contenido de sal y pueden ser: ríos, lagunas, lagos, pantanos, estos constituyen fuentes de agua para beber y de regadío para cultivos (Juste, 2021).

Estudiar el estado trófico de los ecosistemas acuáticos ha despertado mucho interés en el campo científico debido a que estos ecosistemas influyen en el diario vivir de los seres humanos, siendo abastecedores de agua la misma que es usada en distintas actividades como como la agricultura, producción de energía y consumo humano. Además, en la última década, estos ecosistemas se han visto sometidos a una fuerte presión antrópica producto del crecimiento demográfico y la inequitativa distribución de la riqueza y los sistemas productivos (Terneus et al., 2020). Sin embargo, las técnicas utilizadas para su estudio, son principalmente la extracción de muestras in situ y estudios de laboratorio involucrado de esta manera presupuestos elevados, tiempos largos, y además de difícil acceso (Barraza et al., 2022; Zhang et al., 2021).

El uso de sensores remotos como las imágenes satelitales Sentinel 2 (S2) optimiza esfuerzos y recursos. Esto se debe a que S2 permite realizar evaluaciones del agua y sus propiedades ópticas (Urrego, Pasqualotto y Delegido 2020) debido a su resolución espacial y su alta frecuencia de captura de datos y que Sentinel-2 es una constelación de dos satélites que orbitan en una distancia de 180°, con lo que se quiere decir que el mismo punto sobre el Ecuador es visitado cada 5 días y esto puede ser más frecuente en latitudes más altas (ODA). Sin embargo, debido a la baja reflectividad del agua, el proceso de corrección atmosférica es fundamental, estos se lo puede realizar con el método de corrección atmosférica procesador Case 2 Regional Coast Colour (C2RCC) el cual incluye tres versiones (C2RCC, C2X y C2X-COMPLEX) basados en redes neuronales (Soriano et al., 2022).

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del Problema

La laguna de Colta pertenece a la demarcación hidrográfica del Pastaza, esta se encuentra en la Provincia de Chimborazo, en la que observa propagación de la totora, rasgos de contaminación, eutrofización, la modificación en los niveles de agua, sedimentos y deterioro del hábitat de las especies que habitan en el lugar. (Brito et al., 2019). El deterioro del estado trófico se ha convertido en preocupación a nivel mundial con el incremento de la población humana, la expansión de las actividades industriales y agrícolas, y la amenaza del cambio climático como causa de importantes alteraciones en el ciclo hidrológico (Ban Ki-moon, 2014).

Por estos motivos, evaluar y monitorear el estado trófico para las necesidades humanas, la salud pública, la industria, la agricultura y la sostenibilidad de los ecosistemas acuáticos, ha despertado interés científico involucrando una amplia gama de campos interdisciplinarios para su evaluación (Quing, y otros, 2019). En la actualidad existen procesos que facilitan estos estudios a través de sistemas inteligentes como el uso de la teledetección que permite tener una cobertura y visión total de diversos elementos presentes en la cubierta terrestre, para evaluar el estado trófico, el uso de las imágenes satelitales y la implementación de métodos de aprendizaje automáticos son herramientas poderosas para comprender el estado actual del agua.

En consecuencia, es apropiado para el monitoreo de los ecosistemas acuáticos, debido a que brinda continuidad a los servicios que se basan en observaciones ópticas multiespectrales (GIS&Beers, 2019). La aplicación del procesador Case 2 Regional Coast Colour C2RCC y sus tres redes neuronales (C2RCC, C2X y C2X-COMPLEX en las imágenes S2 generan productos automáticos como las concentraciones absolutas de clorofila (conc_chl [mg/m^3]), sólidos suspendidos (conc_tsm [g/m^3]) y transparencia del agua (kd_z90max [m])) (Soria, y otros, 2021) facilitando de esta manera el estudio del estado trófico de la laguna de Colta ya que por medio de su información espacial como temporal se puede conocer el estado trófico de todo el cuerpo del agua, esto en base a las comparaciones de las muestras de agua con los productos automáticos del satélite.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Evaluar el estado trófico de la laguna de Colta usando imágenes Sentinel-2 y análisis de laboratorio, en el Cantón Colta-provincia de Chimborazo.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Elaborar el diagnóstico de la situación actual de la laguna de Colta.
- Monitorear los parámetros físicos del agua de laguna de Colta.
- Generar un modelo que calcule los parámetros físicos del agua a través de imágenes sentinel-2 y los productos automáticos generados por las redes neuronales.

1.3. Justificación

La laguna de Colta es un cuerpo de agua de vital importancia para la biodiversidad y el suministro de agua para las comunidades locales. Pero su estado trófico actual no es óptimo esto debido a la proliferación de plantas macrófitas y diversos factores antropogénicos, estos incluyen actividades agrícolas, pecuarias y turísticas que se llevan a cabo en el área circundante de la laguna, contribuyendo a la eutrofización acelerada de este ecosistema frágil.

La eutrofización, es un proceso por el cual un cuerpo de agua se enriquece con nutrientes, como nitrógeno y fósforo, provocando el crecimiento excesivo de plantas acuáticas y algas. Este fenómeno puede llevar a la disminución del oxígeno en el agua, dañando la vida acuática y afectando negativamente la calidad del agua. La laguna de Colta ha experimentado este problema, lo que ha suscitado preocupación en las comunidades locales y los expertos en recursos naturales.

Con el objetivo de abordar esta problemática, la presente investigación propone monitorear el estado trófico de la laguna de Colta. Para ello, se realizarán análisis de laboratorio de propiedades físico-químicas del agua. Además, se utilizarán imágenes del satélite S2, un recurso valioso para el monitoreo ambiental debido a su alta resolución espacial y capacidad para capturar información multiespectral. Estas imágenes serán procesadas mediante el software libre Sentinel Application Platform (SNAP), que emplea redes neuronales para automatizar la generación de mapas de las diferentes propiedades físico-químicas relacionadas con el estado trófico de la laguna.

Este enfoque innovador permitirá una evaluación exhaustiva y eficiente del estado trófico de la laguna de Colta. Al identificar áreas específicas donde el estado trófico está más alterado, esta investigación contribuirá significativamente al diseño de estrategias de conservación y gestión adecuadas. Además, proporcionará información crucial para comprender las razones subyacentes del deterioro del estado trófico, permitiendo así a las autoridades locales y las comunidades tomar informadas y medidas efectivas para mitigar estos problemas.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis Nula

Las redes neuronales C2RCC, C2X-COMPLEX y C2X-NETS tienen una baja confiabilidad en el estudio del estado trófico del agua de la laguna de Colta.

1.4.2. Hipótesis Alternativa

Las redes neuronales C2RCC, C2X-COMPLEX y C2X-NETS tienen una alta confiabilidad en el estudio del estado trófico del agua de la laguna de Colta.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Ecosistemas acuáticos

Los ecosistemas acuáticos son aquellos que se desarrollan en un cuerpo de agua que actúa como su medio físico principal, ya sea esta agua salada o dulce, la diversidad de estos ecosistemas es mayor en los ecosistemas marinos que en los ecosistemas de agua dulce (Lupi et al., 2021, pág. 3). El agua es un elemento esencial para la vida, siendo que históricamente los primeros asentamientos humanos se dieron cerca de fuentes hídricas (Galván, 2019, pág. 23), asimismo, los ecosistemas acuáticos proveen una variedad de servicios a los demás organismos, siendo estos los que proporcionan el medio en el que se desarrolla la mayoría de los procesos biológicos, estos cuentan con la presencia de una gran diversidad de plantas y animales (FAO, 2023).

Los ecosistemas acuáticos representan uno de los recursos naturales más importantes para el desarrollo de la vida, siendo así que en los últimos 20 años el interés científico en estos ecosistemas ha dado como resultado el aumento en publicaciones centradas en su conservación y cuidado (Schneider, 2022, pág. 28) esto debido a que son proveedores de servicios ecosistémicos de regulación, culturales, abastecimiento y soporte, necesitándose estudios con enfoque multidisciplinario que garanticen el buen estado de este recurso natural a largo plazo (Salibián, 2016, pág. 18).

2.1.1. *Tipos de ecosistemas acuáticos*

Se conoce como ecosistemas acuáticos a todos los cuerpos de agua superficiales distribuidos entre los diferentes continentes (Tierno, 2007, pág. 796) a su vez, estos se clasifican en ecosistemas costeros, marinos e interiores, siendo estos últimos se subdivididos en ecosistemas lóticos que tratan a las aguas corrientes y los sistemas lénticos que hace referencia a las aguas sin movimiento, es decir estancadas (Cervantes, 2007, pág. 37).

2.1.1.1. *Tipologías de los ambientes acuáticos marinos*

- **Océanos:** Son ecosistemas en los que su principal característica es la salinidad, son los más importantes a escala planetaria y los menos conocidos conforme va aumentando su profundidad, la presión de este tipo de ecosistemas oscila entre 1 atm en la parte superficial y más de 1000 atm en las fosas, de la misma manera estas cualidades en

ambientes marítimos han permitido la categorización de estos ecosistemas en Zona pelágica, Zona béntica, Abismos oceánicos, Aguas pelágicas y Arrecifes (Sánchez et al., 2007, págs. 13-14).

- **Zona pelágica:** también conocida como mar abierto, es una zona iluminada (fótica), hace referencia a una columna de agua que se encuentra en las lejanías de las costas sin incluir al fondo marino, su profundidad máxima es de 200 m, estos ecosistemas contienen diversidad de especies tanto vegetales como animales las cuales viven en aguas medias o próximas a la superficie y tienen limitado contacto tanto con las costas como con el fondo marino (Reyes, 2022, pág. 13).

Las especies que habitan esta zona son conocidas como pelágicas y se agrupan en dos categorías Necton que ralentizan los movimientos de las corrientes marinas y Plancton que son organismos microscópicos arrastrados por las corrientes (Biodiversidad Mexicana 2021).

- **Zona béntica:** parte desde el área litoral que abarca la costa y las áreas poco profundas, con influencia de las mareas con alta diversidad hasta la zona batipelágica, las propiedades de este tipo de ecosistemas son presión alta, temperaturas frías y corrientes impredecibles que presentan variaciones en las diferentes partes del océano (Sánchez et al, 2007, pág. 13).

La zona béntica abarca el sustrato y las capas inmediatamente superiores del fondo acuático, incluyendo sedimentos, rocas y corales, es fundamental para la salud de los ecosistemas acuáticos, debido a que en esta área se descompone materia orgánica y se liberan nutrientes esenciales para la cadena alimentaria (Uquiche, 2019, págs. 54-55), en esta zona los organismos dependen de detritos que caen desde arriba y la quimiosíntesis para sobrevivir (Villamar y Cruz, 2007, pág. 140).

- **Abismos oceánicos:** refiere a las fosas con profundidades mayores a 1500 m y 4000 m parte desde la zona más profunda de la zona béntica, estudios desarrollados en las últimas dos décadas han demostrado que aun en la falta de luz solar se encuentran colonias de bacterias y varias especies de invertebrados y en menor cantidad vertebrados (Ospina & Bedoya, 2018, pág. 56), esto posibilitado por la actividad volcánica que se desarrolla bajo la corteza terrestre, en esta zona de condiciones extremas las bacterias son los productores

primarios, depredados por especies abisales de las que aún se desconoce la mayor parte (Moreno, 2016, pág. 62).

- ***Aguas pelágicas:*** son aguas intermedias altamente productivas para los seres humanos, en esta área se desarrolla la pesca marítima, aunque aún no se han determinado tanto la magnitud de las poblaciones de las especies ni como estas interactúan con otras especies y comunidades, además de los diferentes movimientos que mantienen la pesca y resisten la sobreexplotación causada por los hombres sobre los mares (Coll et al., 2021, pág. 123).
- ***Arrecifes:*** son ecosistemas submarinos formados por carbonato de calcio denominadas riscalas y morros que es secretado por los corales tienen alto valor ecológico, su topografía ha sido moldeada por la parte biótica y abiótica que los rodea, estos sistemas son el asentamiento de biota bentónica y además es el refugio de una gran diversidad de especies (Lizarazo et al., 2023, pág. 80). La pérdida de estos ecosistemas representa amenaza a nivel global como la pérdida de biodiversidad que alterara varios servicios ecosistémicos como la provisión de alimentos y el secuestro de carbono (Zambrano, 2022 pág. 33).

2.1.1.2. *Ecosistemas acuáticos costeros*

Son ecosistemas variados que se encuentran en el litoral considerado un entorno delicado, los mismos cuentan con una conexión ya sea permanente o temporal con el mar por lo cual influye de manera importante sobre la dinámica marítima (FAO, 2023) y en ocasiones también presentando conexiones con fuentes de agua dulce, este tipo de ecosistema tiene como característica principal la alta productividad biológica, los ecosistemas acuáticos costeros pueden ser estuarios, esteros, bahía, lagunas costeras, marismas (Rodiles, 2013, págs. 47-48).

- ***Estuarios:*** son ecosistemas costeros en los que el agua dulce del continente se mezcla con agua salada del océano (Chávez, 2022, pág. 1130), teniendo su formación en este último, su importancia resalta en ámbitos como la pesca, la recreación y la investigación científica, entre otros servicios ecosistémicos que presta (Arceo & Chávez, 2019, pág. 276). Una de las características más importantes en este tipo de ecosistemas es su dinámica, las mareas y las corrientes mezclan constantemente agua dulce y salada creando condiciones únicas e ideales para una gran variedad de especies de plantas y animales generando un punto de alta biodiversidad (Gonzales et al., 2017, pág. 21).

- ***Esteros:*** son ecosistemas costeros formados por la acumulación de sedimentos en la desembocadura de los ríos, sus aguas son salobres y poco profundas, contienen una rica vegetación acuática sirviendo como un indicador de la calidad de agua y el funcionamiento adecuado del ambiente (Osorio et al., 2023, pág. 66). Tienen importancia económica debido a la pesca y la gran variedad de peces y mariscos, asimismo una de las funciones más importantes de los esteros es la protección de las costas actuando como barreras naturales contra las tormentas y la erosión (Rodríguez & Silva, 2017, pág. 16).
- ***Bahía:*** son cuerpos de agua semicerrados que se encuentran en las costas, debido a la variedad de hábitats y de recursos biológicos estos ecosistemas contribuyen con importantes servicios ecosistémicos entre los que destacan su importancia en la pesca, además de ser puntos estratégicos para el comercio y navegación y al igual que los esteros actúa como una barrera natural ante las afectaciones naturales (Williams, 2017, pág. 6).
- ***Lagunas costeras:*** Las lagunas costeras son cuerpos de agua poco profundos que se encuentran a lo largo de la costa, son ecosistemas sensibles a las variaciones de su entorno por consecuencia de su parcial revestimiento con el mar adyacente que es una limitante para la circulación y renovación de sus aguas, a su vez esta condición también es la causante de que en estas lagunas la cantidad de nutrientes por unidad de superficie sea superior a la contenida en otros ecosistemas (Ruíz, 2017, pág. 1)
- ***Marismas:*** Las marismas son ecosistemas que se caracterizan por aguas salobres y poco profundas, con una rica vegetación acuática, estos ecosistemas acuáticos se encuentran expuestos de manera directa al daño antrópico, considerándose un área muy sensible ante las actividades del ser humano y las variaciones en el ambiente ya sean progresivos o eventuales, comúnmente representados por eventos catastróficos como son los tsunamis (Catalán, 2021, pág. 66).

2.1.1.3. *Ecosistemas acuáticos interiores*

Son cuerpos de agua de diferentes formas y tamaños que se localizan dentro de los continentes que poseen alto valor natural, social y cultural, estos pueden ser de agua dulce o salada y su origen suele ser natural o artificial (Pascual et al., 2022, pág. 195). De igual forma, los ambientes interiores se encuentran clasificados, estos se dividen en ambientes acuáticos lóticos o de aguas corrientes y ambientes acuáticos lentos que hace referencia al agua “quieta” (Prates & Bonomo, 2017, pág. 13).

Estos ecosistemas tienen alta importancia ecológica como el hábitat de una gran diversidad de especies, la regulación climática por ser sumideros que involucran la relación agua- tierra-atmosfera por consecuencia son los primeros en ser afectados por el deterioro ambiental siendo necesaria su protección ante las amenazas de la contaminación y la crisis climática (Pascual et al., 2022, pág. 195).

2.1.1.4. Ambientes acuáticos loticos

Se conocen de esta manera a aquellos ambientes en los que el agua tiene un movimiento constante o una corriente, son sistemas heterótrofos (Cuadros, 2022, pág. 6), las especies de estos ambientes están condicionadas a sus principales características que son el movimiento del agua causado por la gravedad, la profundidad que va desde pocos centímetros hasta varios metros, la cantidad de oxígeno disuelto que por tener una buena circulación será alta y la concentración de nutrientes que será alta abasteciendo a la comunidad biótica de los ambientes acuáticos loticos (Jiménez, 2022, pág. 31).

Estos ecosistemas brindan varios servicios a los seres humanos por su cualidad de poseedores de una gran diversidad de especies de plantas y animales que son de interés comercial como peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos, además de otros servicios ecosistémicos importantes (Cuadros, 2022, pág. 6). Los ambientes acuáticos loticos se pueden clasificar en dos tipos principales que son Ríos y Arroyos (Prates & Bonomo, 2017, pág. 14).

a) Tipología de los ambientes acuáticos loticos

- **Río:** es un cuerpo de agua corriente que fluye a través de la tierra y funciona como colector primario por el aporte generado por afluentes (Romero, 2018, pág. 45), los ríos se forman cuando el agua de la lluvia o del deshielo se acumula en una depresión en la tierra y comienza a fluir desde las zonas más altas hacia abajo en donde pueden desembocar directamente en el mar o en otro río (Gutiérrez, 2018, pág. 40). Los ríos pueden ser pequeños o grandes, y pueden fluir rápida o lentamente, los mismos desempeñan un papel importante en el medio ambiente mediante su capacidad de depuración proporcionan agua para beber, riego y transporte (Pauta, 2019, pág. 77).
- **Arroyo:** Un arroyo es un cuerpo de agua corriente más pequeño que un río, se encuentran al final de la ramificación de los ríos considerándose así colectores secundarios y

terciarios (Díez-Canseco & Cuevas, 2017). Los arroyos a diferencia de los ríos pueden ser permanentes o temporales, y pueden fluir rápida o lentamente (Díez-Canseco & Cuevas, 2017).

2.1.1.5. *Ambientes acuáticos lénticos*

Estos se caracterizan por ser cuerpos de agua en cuencas endorreicas, son aquellos en los que el agua tiene un movimiento lento o nulo (Mendoza, 2020, pág. 7) , Se caracterizan por la presencia de una columna de agua vertical, con una superficie libre y un fondo y su ausencia relativa de flujo con movimientos leves causados por la gravedad, el viento y las mareas, acumulación de sedimentos y nutrientes que es variable en los diferentes ambientes por el acceso a la zona fotosintética, su oxigenación no es alta a comparación de los ríos a excepción de los lagos y lagunas que se consideran con buen movimiento (Ramos, 2022, pág. 7).

Los ambientes acuáticos lénticos según Cervantes & Gutiérrez en 2017 se clasifican en bordo, embalse, cenote, bolsón, ciénega, lago y laguna. Estos diferentes ecosistemas se encuentran amenazados por una serie de factores, como la eutrofización y contaminación del agua que puede dañar la vida acuática, el desarrollo antropogénico y su expansión demográfica, que influye directamente en la destrucción de hábitats y el cambio climático que genera cambios importantes en la temperatura y los patrones de lluvia (Vásquez et al., 2018, pág. 113).

a) *Tipología de los ambientes acuáticos lénticos*

- **Bordo:** también conocidos como Jagüey, son estructuras artificiales que se utilizan para almacenar agua, se construyen generalmente en ríos o arroyos, y pueden ser utilizados para fines de riego, abastecimiento de agua potable o control de inundaciones, estos sistemas llamados antiguamente entarquinamiento cumplían la función de contener el agua para proveer de esta a los suelos, además de abastecer a las comunidades de este recurso, y, según registros, estos mecanismos de obtención de agua se han venido realizando desde hace más de tres siglos (Garrido, 2017, pág. 21).
- **Embalse:** Los embalses son cuerpos de agua artificiales que se forman al construir una presa en un río o arroyo, se utilizan para fines similares a los bordos, como el riego, el abastecimiento de agua potable y el control de inundaciones asimismo una de sus funciones más importantes es la generación de energía hidroeléctrica desde la instalación de las primeras generadoras en el siglo XIX (Viteri et al., 2017, pág. 632). Otra de las funciones

reconocidas de estos ambientes acuáticos es la utilización para la piscicultura, la vegetación será dependiente del hidroperiodo según las características de la cuenca o microcuenca en donde se encuentre ubicado (Pineda & Zurita, 2019, pág. 371).

- **Cenote:** son sistemas acuáticos que concentran grandes cantidades de agua lluvia, consiste en formaciones geológicas que se forman cuando el techo de una cueva colapsa, dejando al descubierto un acuífero (Cervantes & Gutiérrez, 2017, pág. 7). Uno de los servicios ecosistémicos más importantes que ofrecen estos ambientes es el cultural, apegado al turismo de aventura enfocad al buceo, el esnórquel y el rappel generando recursos importantes para los habitantes de las comunidades (Callaghan et al., 2020, pág. 45).
- **Bolsón:** son depresiones naturales en la superficie terrestre que están llenas de agua la cual llega desde las laderas, su circulación es lenta tanto a través de la bentonita como de la arena, se encuentran comúnmente en regiones áridas o semiáridas, son producto de la presión hidráulica y son de excavación frecuente por los vientos (Orozco & Madinaveitia, 1945, pág. 13).
- **Ciénega:** son sistemas acuáticos de poca profundidad, se diferencian de las lagunas debido a que las ciénegas están en llanuras de inundación, se localizan en zonas de transición entre la tierra y el agua y dependen totalmente de la acción inundante de los ríos (Valderrama, 2021, pág. 42), son un tipo de humedal que representa una fuente importante de biodiversidad, contando con la presencia abundante de vegetación acuática, se encuentran comúnmente en regiones tropicales y subtropicales estos ambientes albergan una gran variedad de plantas y animales, muchos de los cuales están en peligro de extinción por lo cual muchas de estas áreas son destinadas para la conservación de la biodiversidad (Montoya & Aguirre, 2009, pág. 88).
- **Lago:** son cuerpos de agua dulce relativamente grandes, estos se encuentran cercados por tierra y están aislados del océano, los lagos pueden ser de origen glacial, volcánico, fluvial o tectónico y normalmente se encuentran alimentados por ríos y arroyos, tienen un volumen superior a los estanques en casos específicos los lagos contienen cierto grado de salinidad debido al movimiento de las placas tectónicas oceánicas dejando atrapada una parte en las depresiones existentes (Roldán & Ramírez, 2022, pág. 101).

- **Lagunas:** son cuerpos de agua dulce o salada poco profundos que se encuentran una depresión natural de la superficie terrestre, se forman por diferentes procesos, entre los que se incluyen la subsidencia de la corteza terrestre creándose una depresión que se llena de agua, la acumulación de sedimentos desde los ríos o los glaciares en una zona, se crea una depresión que se llena de agua, por el desbordamiento de los ríos agua puede inundarse en las orillas, formando lagunas y se pueden clasificar de diferentes maneras, según su origen, su ubicación o su composición química (Flores & Ríos, 29-31).

Tabla 2-1: Clasificación de lagunas

Clasificación	Tipo	Descripción
Según su origen	Lagunas tectónicas	Se forman por la subsidencia de la corteza terrestre, creando una depresión que se llena de agua
	Lagunas volcánicas	Se forman en los cráteres de volcanes extintos o activos.
	Lagunas glaciares	Se forman en las depresiones que dejan los glaciares que se han retirado.
	Lagunas fluviales:	Se forman en las orillas de los ríos, debido al desbordamiento del agua o a la formación de meandros
Según su ubicación	Lagunas continentales	Se encuentran en el interior de un continente
	Lagunas costeras	Se encuentran en la costa, cerca del mar.
	Lagunas endorreicas	Se encuentran en una cuenca endorreica, es decir, una cuenca que no tiene salida al mar
Según su composición química	Lagunas de agua dulce	Son las más comunes
	Lagunas de agua salada	Se encuentran en regiones costeras o en regiones áridas.
	Lagunas de agua salobre:	Tienen una concentración de sal intermedia entre las aguas dulces y las aguas saladas

Fuente: Flores & Ríos 1998

Elaborado por: Betancourt, 2024

2.1.2. Importancia de los ecosistemas acuáticos

Los ecosistemas acuáticos son esenciales para la vida en la Tierra, ya que proporcionan una variedad de servicios ecosistémicos fundamentales para la vida como la conocemos, abastecen de

alimentos a los seres humanos debido a que en ellos albergan una gran diversidad de organismos (García, 2022, pág. 22) y según la Organización de las Naciones Unidas ONU en 2018, los ecosistemas acuáticos proporcionan el 17% de las proteínas animales consumidas por los seres humanos, como el caso de los peces, los mariscos, las algas y las plantas acuáticas son fuentes importantes de alimento para las personas (Ceballos et al., 2018, pág. 35).

Estos ecosistemas son uno de los principales sumideros de CO₂ contribuyendo a la regulación climática mientras que en los ambientes acuáticos costeros existe una barrera natural que brinda protección ante las tormentas, contribuye en la purificación del agua y fomenta el desarrollo de la biodiversidad (Morales, 2021, pág. 15).

En el caso específico de los ecosistemas acuáticos lénticos (humedales), poseen aproximadamente el 6% del área terrestre y son los proveedores de aproximadamente el 40% de los servicios ecosistémicos a nivel global siendo uno de los más importantes la regulación climática y en la absorción de dióxido de carbono atmosférico y son poseedores de una extensa biodiversidad, pues muchas especies depende exclusivamente de estos hábitats (Casares, 2019, pág. 32).

Participan en el ciclado de nutrientes, actuando como sumideros y fuentes de nutrientes esenciales, como el fósforo y el nitrógeno, ayudan a la regulación del clima, absorbiendo dióxido de carbono, reflejando la radiación solar, modulando la temperatura, participando en el ciclo del agua, generando oxígeno y también gases de efecto invernadero al descomponer la materia orgánica (Capeletti, 2023, pág. 26). La vegetación acuática y los microorganismos presentes en estos ecosistemas contribuyen a filtrar contaminantes y mejorar la calidad del agua, además, los ecosistemas acuáticos lenticos son usados por las personas como espacios de recreación y turismo (Jiménez, 2018, pág. 30).

2.2. Física y química de los ambientes acuáticos

Los ambientes acuáticos están sujetos a una serie de condiciones físico-químicas que influyen en su composición y en la distribución de los organismos que los habitan y conocer sus propiedades permite implementar medidas de preservación y manejo de los ambientes en cuestión, asimismo, si las propiedades de los ambientes acuáticos se ven alteradas no podrá cumplir sus funciones de manera adecuado, limitando la producción de servicios ecosistémicos (Vargas & Monroy, 2018, pág. 26).

La combinación de factores físicos y químicos como la temperatura, la salinidad, la luz, la turbiedad y otros factores físicos determinan las condiciones en las que viven los organismos acuáticos, al igual que los nutrientes, como el oxígeno disuelto, el nitrógeno y el fósforo, son

esenciales para el crecimiento de las plantas y algas acuáticas, sin embargo, los excesos de nutrientes pueden provocar eutrofización, un proceso que puede conducir a la proliferación de algas y al agotamiento del oxígeno disuelto (Fonseca, 2013, pág. 8).

2.2.1. Parámetros físicos del agua

Olor y Sabor: estos parámetros están estrechamente relacionados, siendo que, el agua con mal olor o sabor es rechazada por los consumidores también por su mal sabor, las sustancias que causan estos problemas pueden provenir de fuentes naturales como por la actividad de microorganismos y algas o antropogénicas (Torres et al., 2020, pág. 58).

Entre las fuentes naturales de mal olor en el agua incluyen las bacterias reductoras de sulfatos, que producen un olor a huevo podrido, y las algas azuladas o cianobacterias, que producen un olor a tierra mojada (Picado, 2022, pág. 35). En las fuentes antropogénicas de mal olor en el agua incluyen las descargas de desechos industriales, que pueden contener compuestos orgánicos o metales pesados, además de la contaminación causada por actividades agrícolas, que puede aumentar los niveles de nutrientes en el agua, lo que puede provocar la proliferación de algas (Picado, 2022, pág. 35).

Color: el color se define como una de las características más importantes que posee un cuerpo de agua para poder evaluar su calidad, es el resultado de la presencia de materia orgánica y algunos metales, también es efecto de la intervención de algunas propiedades fisicoquímicas del agua como el pH y la temperatura, entre los efectos que se percibe en presencia de un color en el agua es la pérdida de transparencia, afectando la vida acuática (Espinoza, 2016, págs. 32-33), además de que genera una barrera para el paso de la luz solar por consecuencia limita la fotosíntesis tanto del fitoplancton como en el caso de las plantas acuáticas (Sánchez, 2018, pág. 17).

Conductividad eléctrica: La conductividad eléctrica (CE) es una medida de la capacidad de un fluido para conducir electricidad, es un indicador de las sales disueltas que se encuentran en el recurso hídrico y se expresa en unidades de Siemens por metro (S/m) (Gómez et al., 2015, pág. 42). La CE del agua se debe a la presencia de iones disueltos, que son partículas cargadas eléctricamente de los cuales los iones más comunes en el agua son el sodio (Na⁺), el cloruro (Cl⁻), el calcio (Ca²⁺) y el magnesio (Mg²⁺), este parámetro es un indicador de la calidad del agua y de la presencia de contaminantes, las aguas con una CE alta pueden ser perjudiciales para la salud humana y para los ecosistemas acuáticos (Barraza, 2019, pág. 29).

La CE del agua está influenciada por una serie de factores, entre los que se incluyen la salinidad, el agua de mar tiene una alta, mientras que el agua dulce tiene una salinidad baja, la temperatura del agua afecta a la conductividad eléctrica de dos maneras, a medida que aumenta la temperatura, los iones se mueven más rápido, lo que aumenta la conductividad eléctrica y conforme va aumentando la temperatura, se disuelven más sales en el agua, lo que también aumenta la conductividad eléctrica (Gómez et al., 2010, pág. 127). Además, la composición de los iones con cargas más extremas, como el Na^+ y el Cl^- , tienen una mayor conductividad eléctrica que los iones con cargas más suaves, como el Ca^{2+} y el Mg^{2+} (Gómez et al., 2010, pág. 127).

Temperatura: es un factor físico que influye en su calidad, afecta la viscosidad y la velocidad de las reacciones químicas, reduce la solubilidad del oxígeno, esto debido a que el oxígeno es más soluble en agua fría que en agua caliente (Cevallos, 2020, pág. 1). La reducción de la solubilidad del oxígeno puede provocar la muerte de los organismos acuáticos, ya que necesitan oxígeno para respirar (Oroxón, 2017, pág. 15).

Transparencia: La transparencia del agua es una medida de su claridad y está estrechamente relacionada con la cantidad de luz que puede penetrarla, dos factores clave que afectan la transparencia del agua son la turbidez y la profundidad del disco de Secchi.

Turbidez: La turbidez es la medida de la cantidad de partículas suspendidas en el agua que dispersan o absorben la luz. Estas partículas pueden ser sedimentos minerales como limo y arcilla, materia orgánica en descomposición, plancton y microorganismos. A mayor turbidez, menos luz puede penetrar el agua, lo que reduce la visibilidad y afecta la fotosíntesis de las plantas acuáticas. La turbidez se mide con unidades nefelométrica de turbidez (NTU) o unidades Jackson de turbidez (JTU) (Gastón, 2010, pág. 13)

Disco de Secchi: El disco de Secchi es un instrumento simple y económico que se utiliza para medir la transparencia del agua, es un disco blanco o negro de 20 a 30 centímetros de diámetro, con un peso en el centro para que se hunda en el agua, se baja verticalmente en el agua desde una embarcación o desde la orilla, la profundidad a la que el disco desaparece de la vista se conoce como profundidad del disco de Secchi (Cabreja, 2017, pág. 31).

Cuanto mayor sea la profundidad del disco de Secchi, más clara es el agua, esto se debe a que el agua más clara permite que la luz penetre más profundamente en el agua, la profundidad del disco de Secchi se utiliza para monitorear la calidad del agua y los cambios en la transparencia del agua a lo largo del tiempo, los valores de profundidad del disco de Secchi se utilizan para clasificar la

calidad del agua en función de la transparencia y para determinar la cantidad de luz disponible para la fotosíntesis en los ecosistemas acuáticos (Cabreja, 2017, pág. 31).

Sólidos Totales Disueltos (TDS): Los sólidos totales disueltos (TDS) son la cantidad de sustancias que se encuentran disueltas en el agua. Estas sustancias pueden ser sales minerales, metales, iones orgánicos o inorgánicos, los TDS se miden en miligramos por litro (mg/L) o partes por millón (ppm), un agua con un TDS de 100 mg/L contiene 100 miligramos de sustancias químicas por cada litro de agua (Quijano, 2019, pág. 7).

Salinidad: La salinidad es la concentración total de sales disueltas en el agua esta se mide en partes por mil (ppt) o partes por millón (ppm), sus niveles pueden variar en función de la ubicación del cuerpo de agua, siendo así que los océanos tienen una alta salinidad, mientras que los ríos y lagos suelen tener una salinidad más baja (Olaya, 2017, pág. 55).

2.2.2. *Parámetros químicos del agua*

pH: El pH es una medida de la acidez o alcalinidad del agua. El pH del agua pura es neutro, es decir 7 en la escala de 0 a 14. Los valores de pH inferiores a 7 indican que el agua es ácida, mientras que los valores superiores a 7 indican que el agua es alcalina, los peces y otros organismos acuáticos tienen un rango de pH óptimo para su supervivencia (Zalocar et al., 2013, pág. 120), los valores de pH fuera de este rango pueden ser perjudiciales para la vida acuática (Hernández, 2021, pág. 16).

Oxígeno disuelto: hace referencia a la cantidad de oxígeno que se encuentra disuelto en el agua. El oxígeno disuelto es esencial para la vida acuática (Nadal et al., 2017, pág. 23). Los peces y otros organismos acuáticos necesitan oxígeno para respirar, los niveles de oxígeno disuelto en el agua pueden variar en función de varios factores, como la temperatura del agua, la cantidad de materia orgánica en el agua y la actividad de las plantas acuáticas, los peces y otros organismos acuáticos pueden morir por asfixia si los niveles de oxígeno disuelto son demasiado bajos (Pinargote & Méndez, 2020, pág. 7).

Nitrógeno: El nitrógeno es un nutriente esencial para el crecimiento de las plantas y los organismos acuáticos, este elemento se encuentra en el agua en forma de amonio, nitrato y otros compuestos, sus niveles en el agua pueden variar en función de varios factores, como la actividad biológica y la contaminación por nutrientes (Mesa, 2021, pág. 31). Los niveles altos de nitrógeno pueden ser perjudiciales para la vida acuática, los altos niveles de nitrógeno pueden provocar la

proliferación de algas, lo que puede reducir la transparencia del agua y la cantidad de oxígeno disuelto (Mateu, 2017, pág. 4).

Fósforo: es un elemento químico que desempeña un papel importante en la salud de los ambientes acuáticos, su disponibilidad puede afectar el crecimiento de los organismos y sus principales fuentes son desechos humanos y animales, fertilizantes agrícolas, aguas residuales, y la descomposición de materia orgánica (Acosta et al., 2019, pág. 298). El exceso de fósforo en el agua puede provocar eutrofización, un proceso caracterizado por un crecimiento excesivo de algas y otras plantas acuáticas y una disminución de la cantidad de oxígeno disuelto en el agua (Acosta et al., 2019, pág. 298).

Clorofila: es un pigmento verde esencial para la fotosíntesis, es producido en las células de cianobacterias, algas y plantas, sirve como indicador de la productividad primaria en un ambiente acuático y proporciona información acerca del estado de salud del cuerpo de agua, en concreto, una indicación directa de la cantidad de fitoplancton presente (Quirós, 2022, pág. 10). La clorofila se mide comúnmente en el agua utilizando técnicas como la espectrofotometría y la fluorimetría. Para mediciones a gran escala se usa la teledetección, que utiliza sensores remotos instalados en satélites como los Sentinel-2, que tiene un instrumento multiespectral que captura la reflectancia de la luz en bandas útiles para estudiar la vegetación y la clorofila (Quirós, 2022, pág. 10).

2.3. Índice de estado trófico

La determinación del estado trófico de un ecosistema acuático es importante para comprender su productividad y capacidad de soporte, esto es especialmente relevante en sistemas naturales que se utilizan para el abasto de agua, la acuicultura y la recreación (Marín, 2017, pág. 31). Los sistemas acuáticos lénticos se pueden clasificar en función de su carga de nutrientes y capacidad productiva, los sistemas eutróficos, que tienen una carga de nutrientes alta, son los más productivos, pero también son más susceptibles a la eutrofización (Olano, 2017, pág. 39). La eutrofización es un proceso causado por la acumulación de nutrientes en el agua, lo que puede provocar la proliferación de algas y otras plantas acuáticas (Bueno., 2017, págs. 16-17).

La eutrofización puede tener graves consecuencias para los ecosistemas acuáticos, como la disminución de la transparencia del agua, la disminución de la diversidad biológica y la contaminación de las aguas, es importante tomar medidas para prevenir la eutrofización, como reducir la contaminación por nutrientes y mejorar la gestión de los recursos naturales (Bueno et al., 2016, pág. 16-17).

2.3.1. Índice de Carlson

El índice de Carlson es una herramienta que se utiliza para evaluar la calidad del agua de los ecosistemas acuáticos, varía entre 0 y 100 es decir, de oligotrófico a hipereutrófico, este índice se basa en la medición de dos parámetros: la concentración de clorofila a (chl-a) que es una medida de la biomasa de fitoplancton en el agua y la profundidad del disco de Secchi (Ds) (Cuellar, 2018, pág. 56). Según Cuellar el índice de Carlson se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$TSI = 0.1 * \log(chl-a) + 1.7 * \log (Ds)$$

2.4. Teledetección

La teledetección tiene como objetivo reconocer las características de la superficie terrestre y los fenómenos que ocurren en ella, mediante la recolección de información a distancia. Para la recopilación de datos se usan sensores remotos montados en drones, aviones o satélites (Sobrin, 2000, pág. 19).

2.4.1. Imágenes satelitales S2

Las imágenes satelitales S2 son proporcionadas por la Agencia Espacial Europea (ESA) y forman parte del programa “Copernicus”, el cual es un programa ambicioso de observación de la Tierra. Los satélites S2 poseen equipos de teledetección que capturan imágenes de la superficie terrestre en alta resolución y en varios espectros. Se usan principalmente para mapear la superficie terrestre, monitorear el medio ambiente y para la observación de fenómenos naturales (Borrás et al., 2017, pág. 55).

Las imágenes S2 se proporcionan en varios niveles de procesamiento, sin embargo, solo dos niveles están disponibles para todos los usuarios (ESA, 2015):

El nivel 1C ofrece imágenes corregidas atmosféricamente por debajo de la atmósfera. Está compuesto por mosaicos de 110 x 110 km² utilizando un intervalo de 100 km para cada imagen para proporcionar un gran solapamiento con los vecinos. Incluyen información de calidad como Máscaras de Nubes y datos auxiliares como datos ECMWF (columna total de ozono, columna total de vapor de agua y presión media del nivel del mar) e información de contenido de aerosoles CAMS (Servicio de Monitorización Atmosférica de Copernicus). El procesamiento de estas imágenes se realiza de manera automática por los satélites S2. Son adecuadas para usos que requieren datos calibrados y corregidos en la geometría (ESA, 2015).

El nivel 2A presenta imágenes corregidas atmosféricamente a nivel del suelo y requieren un procesamiento adicional. Incluyen la corrección de la dispersión de las moléculas de aire (dispersión de Rayleigh), de los efectos de absorción y dispersión de gases atmosféricos, en particular del ozono, oxígeno y vapor de agua, y la corrección de la absorción y dispersión debida a partículas de aerosol (ESA, 2015).

2.4.2. Corrección atmosférica

La corrección atmosférica es un procesamiento que elimina la influencia de la atmósfera en la reflectancia de la superficie terrestre. Permite mejorar la precisión de los datos observados desde el espacio siendo de gran ayuda en aplicaciones que requieren una cuantificación precisa de la superficie terrestre, como la agricultura y la gestión de recursos naturales (Brockman et al., 2016, pág. 54).

La Agencia Espacial Europea (ESA) utiliza varios procesadores atmosféricos para corregir las imágenes S2 y generar productos nivel-2A a partir de datos S2 de nivel-1C, entre ellos Sen2Cor y C2RCC (Li et al., 2023, pág. 2065). Sen2Cor es un procesador atmosférico que usa un método llamado corrección de retrodispersión que estima la reflectancia de la superficie terrestre utilizando la reflectancia de las nubes (Casella et al., 2018, pág. 4).

2.4.2.1. Redes de corrección atmosférica

El C2RCC es un procesador, basado en redes neuronales, diseñado específicamente para calcular la cantidad de clorofila en el agua y corregir las imperfecciones atmosféricas en regiones costeras y cuerpos de agua interiores. Su funcionalidad incluye la generación automática de datos como la concentración de clorofila-a, sedimentación suspendida, coeficientes de absorción lumínica y otros indicadores de la calidad del agua. Estos resultados son valiosos para aplicaciones que involucran el monitoreo de entornos acuáticos, evaluación de la calidad del agua y estudios sobre la ecología costera (Brockman et al., 2016, págs. 54-58). Está compuesto por tres procesadores como el C2RCC, C2X-COMPLEX Y C2X-NETS.

El C2RCC es la red neural original que cubre rangos típicos de propiedades ópticas inherentes costeras. A partir de esta se han entrenado y complementado otras redes neuronales adaptadas a diferentes propiedades ópticas inherentes (Estévez, 2022, pág. 31). Mientras que el C2X NETS son redes neuronales entrenadas para rangos extremos de propiedades ópticas inherentes. C2X (Case-2 Extreme Cases) se emplea en aguas continentales, que son más turbias que las marinas, debido a la mayor presencia de sólidos y fitoplancton (Estévez, 2022, pág. 31). Finalmente, el C2X-

COMPLEX-Net (C2XC) es un conjunto de redes neuronales que se entrenaron con rangos intermedios de propiedades ópticas inherentes, más grandes que C2RCC, pero menores que C2X (Soriano et al., 2022, pág. 6).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Ubicación del área de estudio

El presente trabajo de integración curricular se desarrolló en la laguna de Colta que se encuentra en la Parroquia Villa La Unión perteneciente al cantón Colta, Provincia de Chimborazo. Tiene un área de 186.32 ha y un perímetro de 8365.6 m, la temperatura promedio es de 16 °C. Se extienden entre las coordenadas (X = 749655.3; Y = 98907738) Zona Sur 17, Datum WGS 1984 y sus elevaciones van desde 2500 msnm hasta los 3328 msnm. La laguna de Colta está rodeada de vegetación que esta alterada ya que básicamente está rodeada de tierras agrícolas en su mayoría y otras están abandonadas y en menor cantidad existen plantaciones de *Eucalytus globulus* (eucalipto), en el espejo de agua la especie vegetal predominante es la *Schoenoplectus californicos* (totora) (Fares, 2023, pág. 58).

Para el presente estudio se identificaron dentro del espejo de agua 6 puntos de muestreo, estos puntos se seleccionaron lo suficientemente alejado del borde de la laguna para evitar el efecto del suelo y lo suficientemente alejados entre sí para asegurar la independencia de la muestra (3-1).

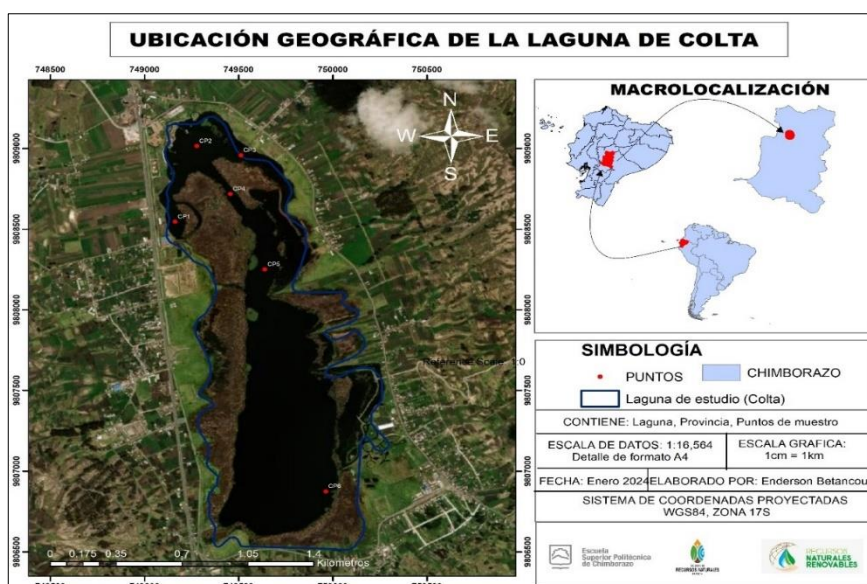


Ilustración 3-1: Ubicación geográfica laguna de Colta

Realizado por: Betancourt, E., 2024.

3.2. Metodología

Para determinar el estado trófico de la laguna de Colta se siguió el siguiente proceso metodológico:

3.2.1. *Elaborar el diagnóstico de la situación actual de la laguna de Colta*

Para el desarrollo del primer objetivo, se realizó el diagnóstico de la situación actual de la condición geográfica y ambiental de la Laguna de Colta, este proceso se lo hizo en dos instancias. La primera instancia consistió en revisión documental por medio de técnicas de análisis y síntesis de información bibliográfica; en segunda instancia se revisó y descargo cartografía actual del cantón Colta por medio de los geo-portales SIGTIERRAS, IGM y SUIA con el fin de realizar mapas de la situación actual de la laguna de Colta como usos del suelo, red hídrica, red vial entre otros. Cabe recalcar que por medio de las salidas de campo se pudo realizar una observación directa de la situación actual del área de estudio.

3.2.2. *Monitorear los parámetros físicos del agua de la laguna de Colta*

Para el monitoreo de los parámetros físicos del agua de laguna de Colta se identificaron 6 puntos de muestreo los cuales estuvieron ubicados lo suficientemente alejado de los bordes de la laguna para evitar el efecto del suelo al momento de procesar la información, las campañas de muestreo se realizaron en las fechas: 12 y 19 de diciembre del 2023 y 26 de enero del 2024, cabe recalcar que las muestras tomadas de cada punto se lo identifico con las siguientes siglas CP. A continuación, se detallan los puntos seleccionados, junto con su información geográfica (ver tabla 3-1).

Tabla 3-1: Ubicación de puntos de muestreo.

Código	Latitud	Longitud	Altitud
CP1	749162	9808546	3304
CP2	749277	9809015	3304
CP3	749511	9808958	3306
CP4	749455	9808718	3307
CP5	749638	9808250	3306
CP6	749962	9806874	3307

Realizado por: Betancourt, E., 2024.

*CP= Colta punto

Cabe recalcar que en cada punto de muestreo se recolectaron 2 litros de muestras de agua en botellas plásticas, las mismas que fueron transportadas bajo refrigeración hasta el laboratorio para el procesamiento de la muestra. En el laboratorio se midieron los siguientes parámetros físicos del agua:

3.2.2.1. Parámetros físicos

a) Oxígeno disuelto y saturado

Para la medición de oxígeno disuelto y oxígeno saturado se utilizó como equipo de medición el multiparámetro HQ40D, en donde se sumergió la sonda en la muestra de agua de modo que el agua cubra completamente la membrana del electrodo, luego se pulsó la tecla de medición y se esperó hasta que la sonda se estabilice, los valores de oxígeno saturado se registran en porcentaje (%), mientras que las de oxígeno disuelto en mg/L, cuando se finalizó la medición, se lavó la sonda con abundante agua destilada.

b) Turbidez en el agua

Para realizar la medición de turbidez se utilizó el multiparámetro HACH, para lo cual se tomó 25 ml de la muestra del agua, se colocó en una celda y se agitó de tal modo que la muestra se homogenice. Posteriormente se introdujo en el multiparámetro y se midió el valor.

c) pH

Se tomó 100 ml de agua y se agitó durante 1 minuto para asegurar la homogeneidad. Posteriormente se sumergió el electrodo en la muestra durante 1 minuto y se leyó el valor de pH una vez que el equipo se estabilizó se registró el valor. Finalizada la medición, se lavó el electrodo con abundante agua destilada para su próxima medición.

d) Conductividad eléctrica

Para la medición de conductividad eléctrica se utilizó como equipo de medición el multiparámetro HQ40D, se sumergió la sonda en la muestra de agua, luego se pulsó la tecla de medición y se esperó hasta que la sonda se estabilizó y se registró el valor el cual sus unidades de medición es $\mu\text{s/cm}$ y cuando se terminó la medición se procedió a lavar la sonda con abundante agua destilada para realizar la próxima medición.

e) *Salinidad*

Para la medición de salinidad se utilizó el multiparámetro de Toledo con el método 2520B, se sumergió la sonda en la muestra de agua, luego se pulso la tecla de medición y se esperó a que la sonda se estabilice, se registró el valor y cuando finalizo la medición se lavó la sonda con abundante agua destilada para realizar la próxima medición.

f) *Sólidos totales disueltos*

Se sumergió el electrodo en la muestra durante 1 minuto y se leyó el valor total de sólidos disueltos cuando la lectura se estabilizo. Terminada la medición, se lavó el electrodo con abundante agua destilada para su siguiente medición.

g) *Sólidos suspendidos*

Para la medición de sólidos suspendido se colocaron crisoles en el horno a 90° C por dos horas, luego con una pinza se retiró cuidadosamente los crisol del horno y se dejó reposar en el desecador por 30 minutos, se pesó el crisol vacío en la balanza, para este proceso se cerró la puerta del cuarto de balanzas para que no exista corrientes de viento ya que la balanza es muy sensible a cualquier actividad, una vez que se pesó el crisol vacío se anotó el peso en la libreta de apuntes como peso 1 (P1); posteriormente se agito bien la muestra y con ayuda de una probeta se colocó 50 ml de agua y se vertió en el crisol ,con ayuda de la pinza se llevó el crisol con la muestra al horno a 90° C por un día para que el agua se evapore, cuando el agua se evaporo se sacó el crisol del horno con una pinza y por 30 minutos se dejó reposar en el desecador, se pesó el crisol y se anotó el peso en la libreta de apuntes como peso 2 (P2).

Obtenido los dos pesos de los crisoles se aplicó la siguiente formula:

$$ST_{(mg/L)} = \frac{P_2 - P_1}{V(ml)} \times 10^6$$

Donde:

P_2 = Peso del crisol con la muestra evaporada

P_1 = Peso del crisol vacío

V= valor de la muestra del agua (50 ml)

h) *Disco de Secchi*

En el campo se midió el disco de secchi para lo cual se introdujo el disco en el sitio de monitoreo hasta que no se lo observo, para lo cual la medida se tomó de la parte del bote que se encuentra

a contra luz para tener una mejor visibilidad del mismo, el disco que está pintado de color blanco y negro y sujeto de una cuerda debe estar graduada por metros para facilitar la medición, este se introdujo en el sitio de muestreo hasta que desaparece de la vista, luego se lo retiro del agua y se registró la medida en metros.

3.2.3. Generar un modelo que calcule los parámetros físicos del agua a través de imágenes sentinel-2 y los productos automáticos generados por las redes neuronales

Para el desarrollo del tercer objetivo se descargaron 2 imágenes satelitales S2 en nivel 1C de procesado, es decir con datos de radiancia en el techo de la atmósfera (TOA, Top Of Atmosphere), las imágenes satelitales se descargaron de la página Copernicus Open Access Hub en el siguiente link <https://scihub.copernicus.eu/>. Para un mejor resultado se procuró descargar imágenes con una temporalidad de 10 días antes o después de la fecha del muestreo, sin embargo debido a las condiciones climáticas del área de estudio se obtuvieron imágenes de hasta 2 meses por lo que para la salida del 12 de diciembre del 2023 se obtuvo la imagen del 13 de octubre del 2023, mientras que para la salida del 26 de enero del 2024 se obtuvo la imagen satelital del mismo día.

Para realizar la búsqueda y descarga de las imágenes satelitales, primero se realizó el registro en la página Copernicus Open Access Hub desde el menú SIGN UPÁG. Se completó el formulario y al finalizar el registro se recibió un email de confirmación del registro.

Para la búsqueda y descarga de las imágenes satelitales se consideró los siguientes puntos:

- Para la búsqueda de las imágenes satelitales se lo realizo con las herramientas disponibles en la interfaz del usuario en la ventana de la página Copernicus Open Access Hub.
- La interfaz de Copernicus nos ofrece una barra de búsqueda y un mapa en el cual se puede navegar y se puede cambiar el modo ROI (región de interés) en el cual se puede dibujar un recuadro en el área de la cual se desea descargar la imagen.
- En la opción de búsqueda avanzada se puede indicar la fecha de la cual deseamos descargar la imagen.
- En la opción detalles del producto podemos encontrar información correspondiente al nombre del producto, dirección URL, nubosidad, cobertura del producto, sensor, plataforma e información contenida dentro del archivo de la imagen que se desea descargar.
- Se puede descargar un total de tres imágenes satelitales simultaneas.

- Para realizar la descarga de la imagen se debe tener en cuenta que la misma no debe tener mucha nubosidad sobre los puntos de muestreo o de preferencia que sobre toda la laguna.

Posteriormente con ayuda del software SNAP se procedió a realizar un remuestreo de las imágenes a 10 metros con ayuda de la opción resampling, luego se hizo un recorte del área de estudio; mientras que para el proceso de corrección se utilizó el procesador C2RCC en sus tres versiones C2RCC, C2X-NETS Y C2X-COMPLEX. Cabe recalcar que para este proceso se consideró la elevación del área de estudio para evitar errores en el procesamiento.

Finalmente, con los datos de campo del disco de secchi y solidos suspendidos se realizó un análisis de error cuadrático medio RSME con los productos automáticos del sensor del procesador C2RCC para solidos suspendidos y C2X – COMPLEX para transparencia y los datos in situ de disco de secchi y solidos suspendidos para estimar cuál de los procesadores se acerca más a la realidad acercándose a la recta 1:1.

3.2.3.1. Índice de estado trófico

Para el índice de estado trófico se utilizó el disco de secchi, para lo cual el índice Carlson menciona que se puede usar este parámetro para determinar el estado trófico por transparencia del agua.

Tabla 3-2: Criterios de aplicación de estado trófico por disco de Secchi

Categoría trófica	Profundidad Secchi (metros)	Descripción
Oligotrófico	>8 - 4	El cuerpo de agua tiene muy pocos nutrientes, el oxígeno disuelto se encuentra en niveles elevados debido a la baja concentración de plantas acuáticas que permiten una penetración más profunda de la luz y por ende hay menos descomposición
Mesotrófico	4 - 2	A diferencia de las aguas oligotróficas, su nivel de nutrientes y producción es un poco más alto. Los lagos mesotróficos presentan una baja propagación de algas en la superficie y un mínimo contenido de materia orgánica acumulada en el fondo.

Eutrófico	2 - 0.5	Los lagos eutróficos presentan una gran biomasa y están sujetos a una proliferación de algas, malezas o distintas plantas acuáticas. A menudo hay una gran cantidad de materia orgánica acumulada en el fondo del lago, son susceptibles al agotamiento de oxígeno, tiene poca claridad del agua, las lecturas de fósforo y clorofila son altas.
Hipertrófico	0.5 - <0.25	El cuerpo de agua presenta elevadas concentraciones de componentes orgánicos y nutrientes, turbidez algal, mortandad de diversas especies acuáticas, tiene limitaciones de acuerdo con sus usos.

Realizado por: Betancourt, E., 2024.

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS EN INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Elaborar el diagnóstico de la situación actual de la laguna de Colta

Para la preparación del diagnóstico situacional se identificaron seis sitios de visita en la laguna de Colta, donde se consideró la condición geográfica y condición ambiental, los datos levantados se realizaron en base a las salidas de campo.

4.1.1. *Condición geográfica*

4.1.1.1. *Accesibilidad y conectividad*

La laguna de Colta está ubicada en la zona centro del Ecuador en la Provincia de Chimborazo, Cantón Colta, Parroquia Villa la Unión, a unos 24 km de la ciudad de Riobamba (Provincia de Chimborazo). Para dirigirse hacia la laguna se puede tomar diferentes buses de diferentes cooperativas como Ñuca Llacta, Guamote, Alausí, o se puede dirigir en auto propio.

El horario de visita a la laguna es de 7:30 a.m. hasta las 18:00 pm., el ingreso a la laguna se da durante todo el transcurso del año, el ingreso al malecón escénico tiene un valor de 0,50 centavos para adultos y 0,25 centavos para niños, personas con discapacidad y adultos mayores.

Los alrededores de la laguna en el cual se encuentra el malecón escénico cuentan con señalética de información de lo que se puede realizar dentro del mismo.

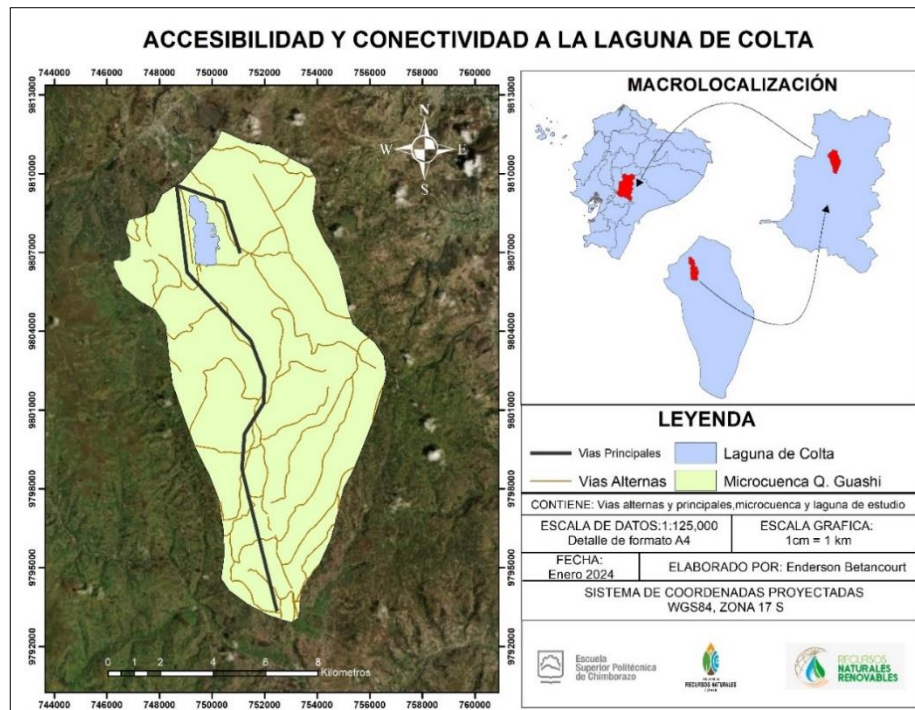


Ilustración 4-1: Mapa de accesibilidad a la laguna de Colta

Realizado por: Betancourt, E., 2024.

En lo que respecta a accesibilidad dentro de la microcuenca Q. Guashi se encuentran diferentes vías alternas que conducen a la laguna de Colta entre las que podemos encontrar vías de primer orden y también se encuentran caminos de verano y senderos, la vía de acceso más importante es la panamericana E35 la cual conduce de Riobamba hasta la laguna de Colta. Véase en la (ilustración 4-1).

4.1.2. Condición ambiental

4.1.2.1. Tipología de la laguna de Colta

La laguna de Colta es de tipología natural y esta se denomina como una laguna ya que es de poca profundidad con un máximo de 10 metros de profundidad (Cardona, 2019), también se dice que es de tipología lentic ya que sus aguas son estáticas y no presentan ningún tipo de corriente; Terán, et al., (s.f) dice que la laguna de Colta es de tipo endógeno tectónico, considerando que es laguna se nutre principalmente de manera hipogea, esta tipo de laguna se forma por el colapso de estructuras carstificadas que es la disolución de una roca fisurada por el agua o por la disolución de materiales. (Camacho, et al., 2009).

4.1.2.2. Modalidad de conservación de la laguna

La modalidad de conservación de la laguna Colta se maneja bajo la zona de uso turístico y recreativo, ya que permite la actividad turística con instalaciones acordes al ecosistema y senderos bien delimitados, donde están permitidas actividades por lugares turísticos identificados, caminatas, paseos en bote, observación de flora y fauna y fotografía, los operadores que realicen actividades de turismo dentro del área protegida deben estar regulados. (MAE, 2013, pág. 115).

En la Laguna de Colta, la estrategia de conservación se centraliza en la adquisición de dragas, mini excavadoras y equipos de portátiles para monitorear la calidad del agua, esto debido a un serio problema de sedimentación. Esta situación ha provocado una disminución en la profundidad y el volumen en el espejo de agua, así como un aumento significativo en la demanda de oxígeno, esto es causado por la acumulación de sedimentos a un ritmo aproximado de 3 cm por año. Esta acumulación progresiva ha propiciado la proliferación de acelerada de *Schoenoplectus californicus* (totora), y también se ofrece asesoría técnica. (MAE, 2013, pág. 115).

Esto se apoya en la Ley para la conservación y uso sustentable de la biodiversidad en el Art. 17, donde menciona que, la conservación de la biodiversidad se realizará insitu o exsitu dependiendo de sus características ecológicas, niveles de endemismo, peligro de extinción y erosión genética, conforme a las directrices de la Estrategia Nacional de Biodiversidad y sus correspondientes planes de acción, que serán formulados por el Ministerio del Ambiente.

4.1.2.3. Fauna característica de la laguna de Colta

En la laguna de Colta se encuentran alrededor de 20 especies de aves, 3 especies de peces, entre los más apreciables podemos encontrar patos, garzas, gorriones, gaviotas, garcetas y mirlos son algunas de las aves que existen en la laguna de Colta (Márquez, 2018). Según Freile y Poveda (2019), la mayor parte de ejemplares encontrados pertenecen a la familia de *anatidae*, patos andinos, *ana eórgica*, garcetas andinas. A continuación, se añade un inventario de las principales aves y su estado de conservación que se encuentran en la laguna de Colta según la Bioweb, 2023: *Podilymbus podiceps* (Zambullidor piquipinto), *Anas georgica* (Anade piquiamarillo), *Ardea alba* (Garceta grande), *Bubulcus ibis* (Garceta bueyera), *Anas andium* (Garceta andina), *Porzana carolina* (Sora), *Fulica ardesiaca* (Focha andina), *Vanellus resplendens* (Avefría andina), *Larus serranus* (Gaviota andina), *Zenaida auriculata* (Tórtola orejuda), *Turdus chiguanco* (Mirlo chiguanco), *Diglossa humeralis* (Picaflor negro), *Conirostrum cinereum* (Picocono ciénereo), *Spinus mangallanes* (Jilguero encapuchado), *Zonotrichia capensis* (Gorrión), *Pheucticus chrysogaster* (Picogrueso amarillo) estas especies tienen un estado de conservación es de

preocupación menor, *Podiceps occipitalis* (Zambullidor plateado) esta especie tiene un estado de conservación es vulnerable, *Oxyura imaicensis* (Pato andino) esta especie tiene un estado de conservación es casi amenazada, *Pseudocolopteryx acutipennis* (Doradito subtropical), esta especie tiene un estado de conservación es de peligro crítico (Bioweb, 2023).

4.1.2.4. Flora característica de la laguna de Colta

En los alrededores del espejo de agua de la laguna Colta se pueden encontrar arboles como quishuar, yagual, aliso y otras especies nativas (Márquez, 2018). Cabe recalcar que en el espejo de agua de la laguna de Colta destaca la presencia de *Scirpus californicus* (Tatora) que se utiliza como alimento para animales, también se la utiliza para realizar artesanías que son fabricadas y expandidas por moradores del lugar (Andrade, 2011, págs. 61,-62).

Entre las principales especies de flora que se pueden encontrar en la laguna de Colta y sus alrededores podemos encontrar: *Cortaderia app* (Sigse), *Pennisetum clandestinum* (Kikuyo), *Populus nigra* (Álamo negro), *Populus alba* (Álamo blanco), *Gazania riges* (Gazania), *Hebe speciosa* (Hebe), *Euryops pectinatus* (Margarita de flor amarilla), *Acacia baileyana* (Acacia), *Iris germánica* (Lirio morado), *Lupinus repens* (Lupino), *Scirpus californicus* (Tatora), *Callistemon citricus* (Cepillo blanco), *Eugenia halli* (Arrayan) (Marcatoma, 2017).

4.1.2.5. Temperatura y humedad relativa de los sitios de muestreo de la laguna de Colta

El sitio de estudio tiene un clima frío y seco, con precipitaciones con una media anual de 717 mm, con respecto a la temperatura presenta una media anual entre 12 °C a 15 °C y la humedad relativa es de 73%. Presenta viento con una velocidad de hasta 2.6 m/s entre los meses de julio a septiembre. Las épocas de lluvia son de entre los meses de enero a julio y de octubre a diciembre y la época seca son en los meses de julio, agosto y septiembre (PDOT Colta, 2014).

Por otra parte, mediante las tres salidas de campo se obtuvieron los datos de temperatura y de humedad relativa de los sitios de muestreo los cuales son descritos en la tabla 4-1:

Tabla 4-1: Temperatura y humedad por sitio de monitoreo

Sitio de muestreo	Temperatura	Humedad
CP1	22.4 °C	59%
CP2	25 °C	38.75%
CP3	20.7 °C	45.5%

CP4	21.8 °C	47.5%
CP5	21.0 °C	50.5%
CP6	24.1 °C	63.5%

Realizado por: Betancourt, E., 2024.

4.1.2.6. Clasificación ecológica de los sitios de muestro en la laguna de Colta

Según la clasificación de las zonas de vida de Holdrich Colta posee pisos ecológicos: estepa espinosa montano bajo y bosque montano bajo (PDOT de Colta, 2014). De acuerdo con la clasificación de Sierra (199), Colta pertenece al bosque herbazal lacustre montano alto, estos ecosistemas zonales tienen mayor predominio sobre la vegetación que los factores climáticos incorporados al gradiente altitudinal (Cleef 1981, Bosman et al. 1993, Cleef et al. 2008; citado en el MAE., 2012, pág. 56).

4.1.2.7. Usos de suelo

La laguna de Colta se encuentra dentro de la microcuenca Q. Guashi en la cual el uso de suelo de acuerdo con la tipología del suelo pertenece a la clase VIII la cual tiene fines de conservación, ya que se debe mantener su vegetación arbustiva y arbórea esto con el fin de evitar la erosión del suelo, conservar las fuentes de agua que existen dentro de la microcuenca y conservar la vida silvestre (IEE. MAGAP, s.f.; citado en el PDOT de Colta).

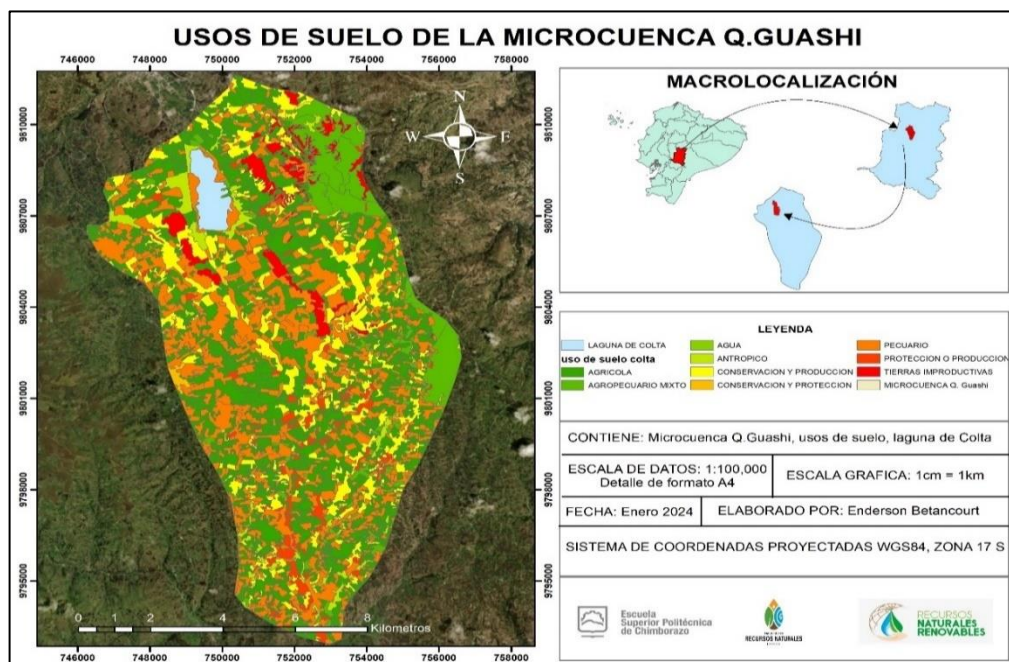


Ilustración 4-2: Mapa usos de suelo

Realizado por: Betancourt, E., 2024.

La laguna de Colta se encuentra dentro de la microcuenca Q. Guashi en cual se encuentran diferentes usos de suelo entre los que podemos encontrar: Agrícola, agropecuario, antrópico, conservación y producción, conservación y protección, pecuario, protección o producción y tierras improductivas y dentro de estos usos de suelo el que tiene mayor porcentaje es el agrícola y el agropecuario y dentro de la microcuenca también se puede visualizar tierras improductivas. Los resultados véase en la (ilustración 4-2).

4.2. Monitorear los parámetros físicos del agua de laguna de Colta.

4.2.1. Monitoreo de pH

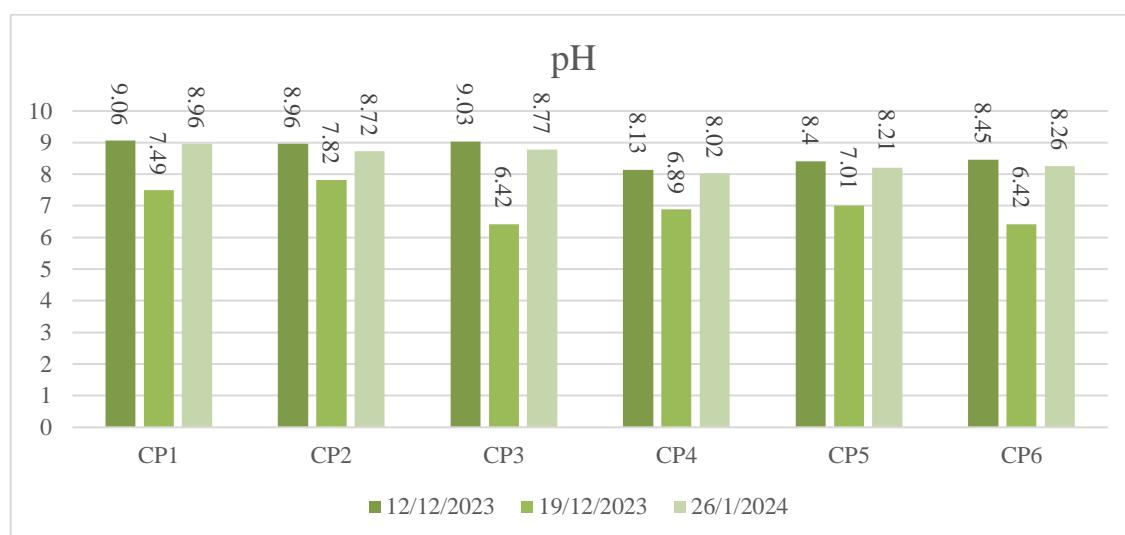


Ilustración 4-3: Resultados de monitoreo de pH

Realizado por: Betancourt, 2024.

En base a Rodier, 2011 En los sitios de muestreo CP1, CP2 y CP5, se registraron valores de pH que oscilan entre 7.01 y 9.06, lo que indica que el agua es básica o alcalina y contiene sales básicas, ya que se sitúa dentro del rango de valores de pH de 7 a 14. Por otro lado, en los sitios de muestreo CP3, CP4 y CP6, durante las fechas de muestreo del 12 de diciembre de 2023 y 26 de enero de 2024, se observaron valores de pH entre 8.02 y 9.03. Estos resultados nos indican que el agua es básica o alcalina y contiene sales básicas. Sin embargo, durante el muestreo del 19 de diciembre de 2023 en los mismos sitios, se detectaron valores de pH de 6.42 y 6.89, lo que indica que el agua es ácida y contiene ácidos libres o sales ácidas ya que se encuentran en el rango de valores de 0 a 7 pH.

4.2.2. Monitoreo de conductividad eléctrica

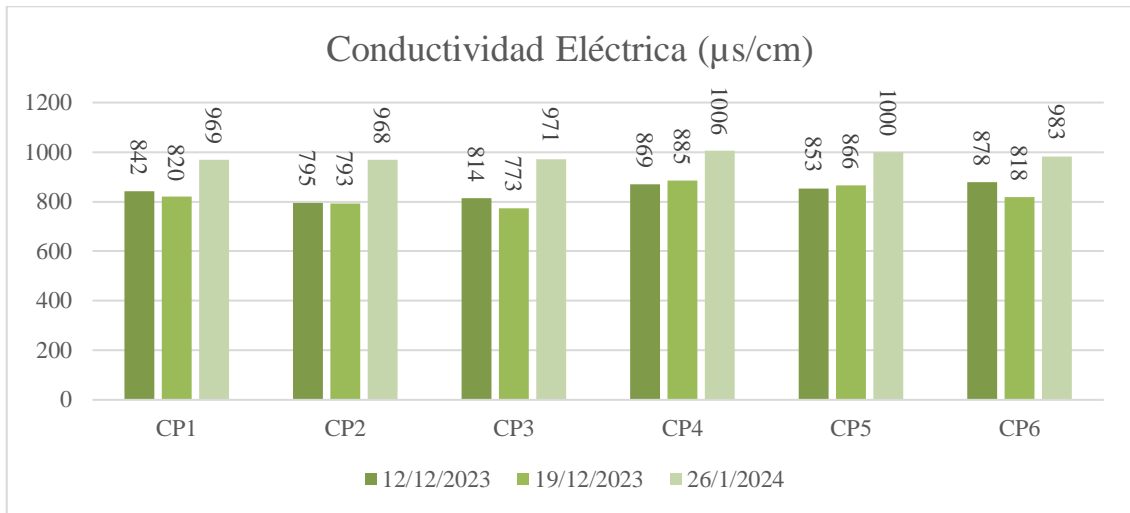


Ilustración 4-4: Resultados de monitoreo de conductividad eléctrica

Realizado por: Betancourt, 2024

En base a Water Ranger is a Canadian Registered Non-profit Organization, 2015, En los seis sitios y en las tres fechas de monitoreo se observan valores entre 773 a 1000 µs/cm con lo que se puede interpretar que estas aguas son de arroyo dulce ya que se encuentran en la escala de valores de 100 a 1000 µs/cm, con una excepción del monitoreo del 26 de enero del 2024 en el sitio CP4 que tiene un valor de 1006 µs/cm, con este valor se interpreta de igual manera que son aguas de arroyo dulce pero con un mínimo porcentaje de contaminación.

4.2.3. Monitoreo de disco de Secchi

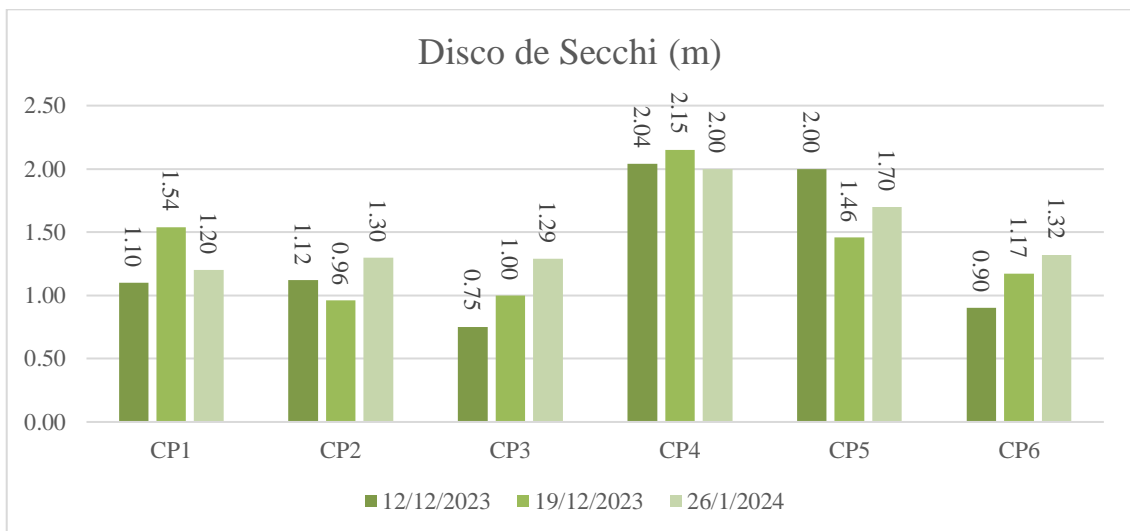


Ilustración 4-5: Resultados de monitoreo de disco de Secchi

Realizado por: Betancourt, 2024

El Disco de Secchi se realiza con la finalidad de medir la transparencia del espejo de agua, los valores se interpretan dependiendo de la visibilidad del disco ya que cuando el disco no se lo visualiza a menor profundidad es por menor transparencia y cuando al disco se lo deja de visualizar a mayor profundidad es porque existe mayor transparencia del espejo de agua. En este monitoreo se observó valores de medida de 0.75 m hasta 2.15 m de profundidad en el cual 0.75 m este valor se obtuvo en el punto CP3 el 12 de diciembre del 2023 y con este valor se interpreta que en este sitio existe un valor alto de transparencia y esto se debe a la presencia de plantas macrófitas y de sedimento, y el valor de medición de 2.15 m el 19 de diciembre del 2023 este es el valor de mayor profundidad este valor se obtuvo en el punto CP4 y esta medida se interpreta que es a que en este sitio existe menor presencia de sedimento y de plantas macrófitas y también se puede asociar a la presencia de precipitaciones en días anteriores al monitoreo.

4.2.4. Monitoreo de turbidez

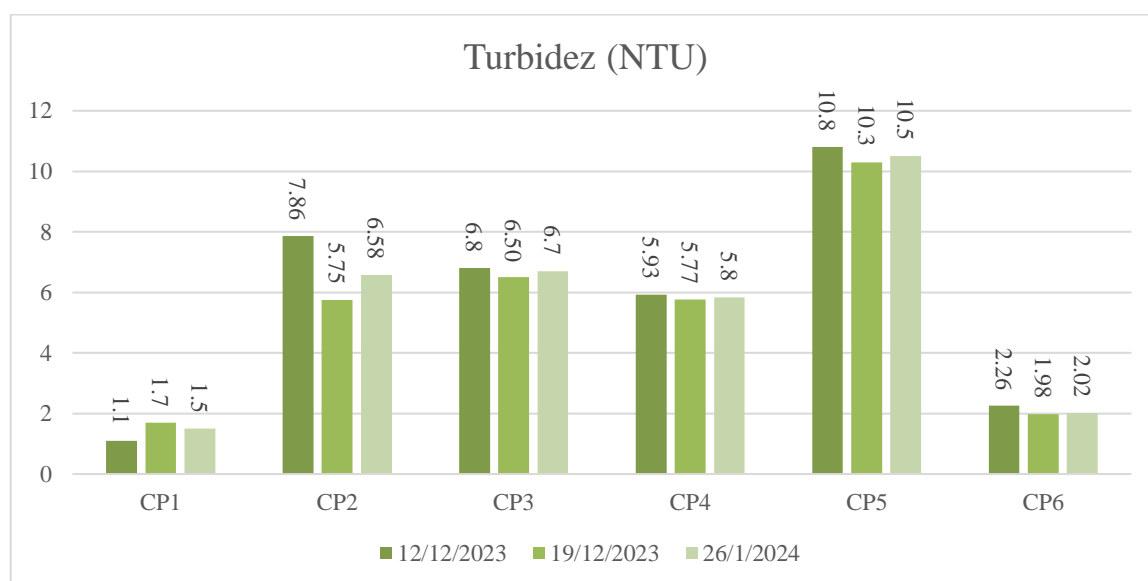


Ilustración 4-6: Resultados de monitoreo de turbidez

Realizado por: Betancourt, 2024

En base al MAATE, 2017 en los seis sitios y en las tres fechas de monitoreo se tienen datos mayores a 1 con lo que se interpreta que el agua es visiblemente turbia ya que se observan datos entre 1.1 NTU a 5.93 NTU, el valor más bajo de turbidez es de 1.1 NTU que se observó en el sitio CP1 el 12 de diciembre del 2023, este se puede asociar a la presencia de sedimento, plantas macrófitas, flora y fauna flotante en descomposición, y el valor más alto de turbidez es de 10.8 NTU el cual se observó en el sitio CP4 el 12 de diciembre del 2023.

4.2.5. Monitoreo de oxígeno disuelto

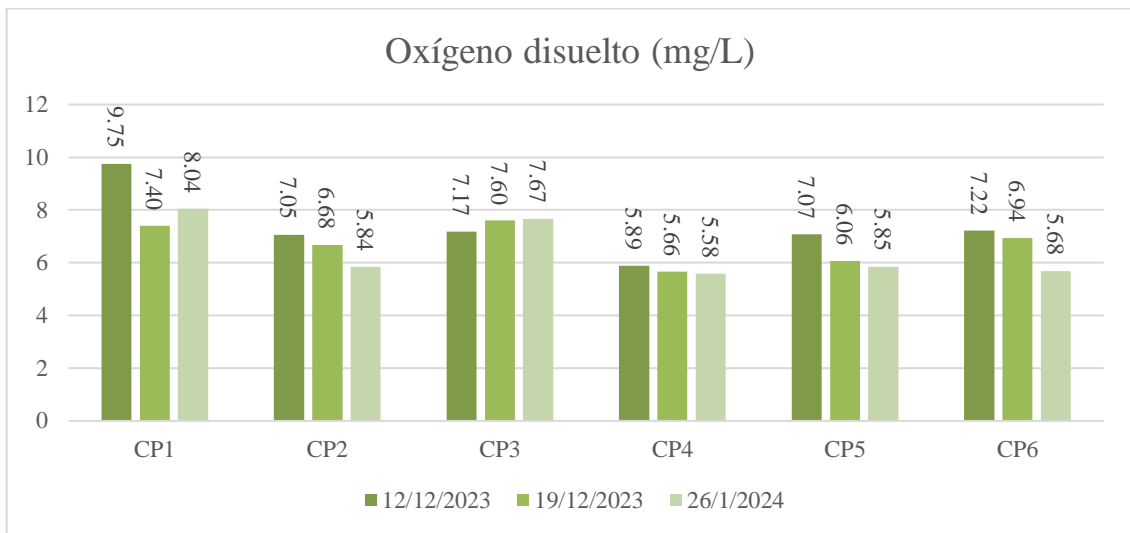


Ilustración 4-7: Resultados de monitoreo de oxígeno disuelto

Realizado por: Betancourt 2024

En base a Spellman, 2014 En los seis puntos y para las respectivas fechas de monitoreo, se registraron datos de concentración de oxígeno disuelto que varían entre 5.66 mg/L a 9.75 mg/L, el valor mínimo se observó el 19 de diciembre del 2023 en el sitio CP4 con un valor de 5.66 mg/L, mientras que el valor máximo que se registro es el 12 de diciembre del 2023 en el sitio CP1 con un valor de 9.75 mg/L. Con estos valores observados se identifica que en los seis puntos de monitoreo corresponden a aguas de corrientes frías de montaña que son caracterizadas por tener una concentración de oxígeno disuelto en una escala de 0 a 15 mg/L y esto dependiendo de factores como la temperatura y la presión atmosférica.

Cuando se observan valores altos de oxígeno disuelto se lo puede atribuir a la presencia de precipitaciones en los días anteriores o en el día del monitoreo con lo que facilita la oxigenación del agua. Por otro lado, los valores bajos de oxígeno disuelto se pueden asociar a niveles elevados de contaminación, los cuales pueden ser por la descomposición de flora y fauna muerta, la presencia de plantas macrófitas y altos niveles de sedimento.

4.2.6. Monitoreo de oxígeno saturado

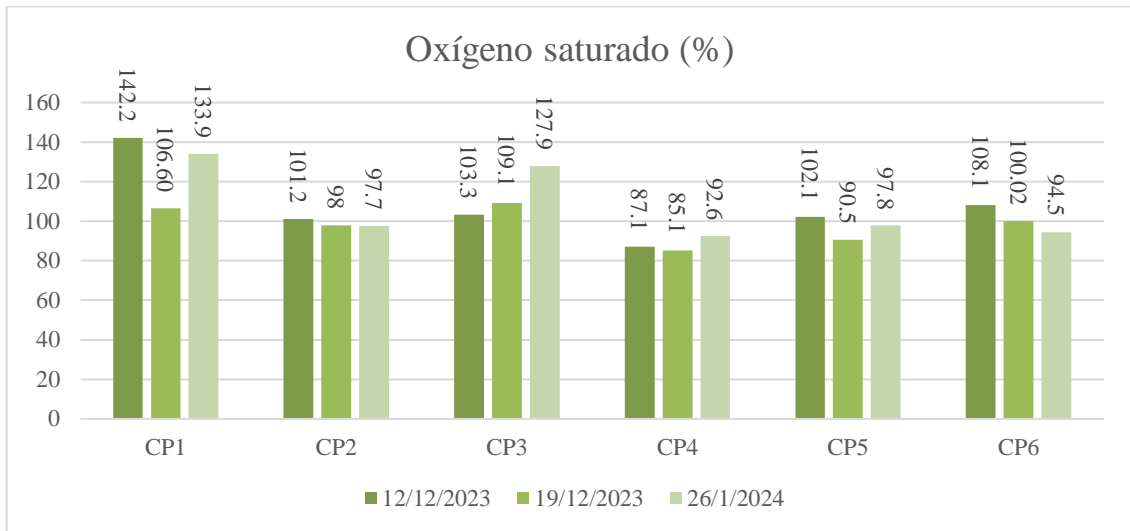


Ilustración 4-8: Resultados de monitoreo de oxígeno saturado

Realizado por: Betancourt, 2024

En el sitio de monitoreo CP1 en las tres fechas de monitoreo, en el sitio CP2 en la fecha de monitoreo del 12 de diciembre del 2023, en el sitio CP3 en las tres fechas de monitoreo, en el sitio CP5 en el monitoreo del 12 de diciembre del 2023 y en sitio CP6 en la fecha de monitoreo del 12 de diciembre, en estos sitios y fechas se observan valores entre 101.2 a 142.2 % que nos indican que existe una súper-saturación de oxígeno ya que son valores ≥ 101 , esto se debe a que en estos sitios de monitoreo existe la presencia de plantas acuáticas las cuales realizan fotosíntesis durante el día. En el sitio CP2 en las fechas de monitoreo del 19 de diciembre del 2023 y del 24 de enero del 2024, En el sitio CP4 el 26 de enero del 2024, en el sitio CP5 el 26 de enero del 2024 y en el sitio CP6 el 19 de diciembre del 2023 y el 26 de enero del 2024, en estos sitio y fechas de monitoreo se observan valores entre 90.5 a 98 % lo que nos indica que la saturación de oxígeno es excelente ya que se encuentra en el rango de 90 a 100% ya en estos sitios de muestreo tienen una alta oxigenación del agua. En el sitio CP4 en las fechas de monitoreo del 12 y 19 de diciembre del 2023 se observan valores de 85.1 y 87.1 %, con estos valores se observa que la saturación de oxígeno es adecuada ya que se encuentra en el rango de 80 a 89% de saturación de oxígeno ya que existe un equilibrio entre los factores químicos, físicos y biológicos del agua y su calidad es buena.

4.2.7. Monitoreo de solidos totales disueltos

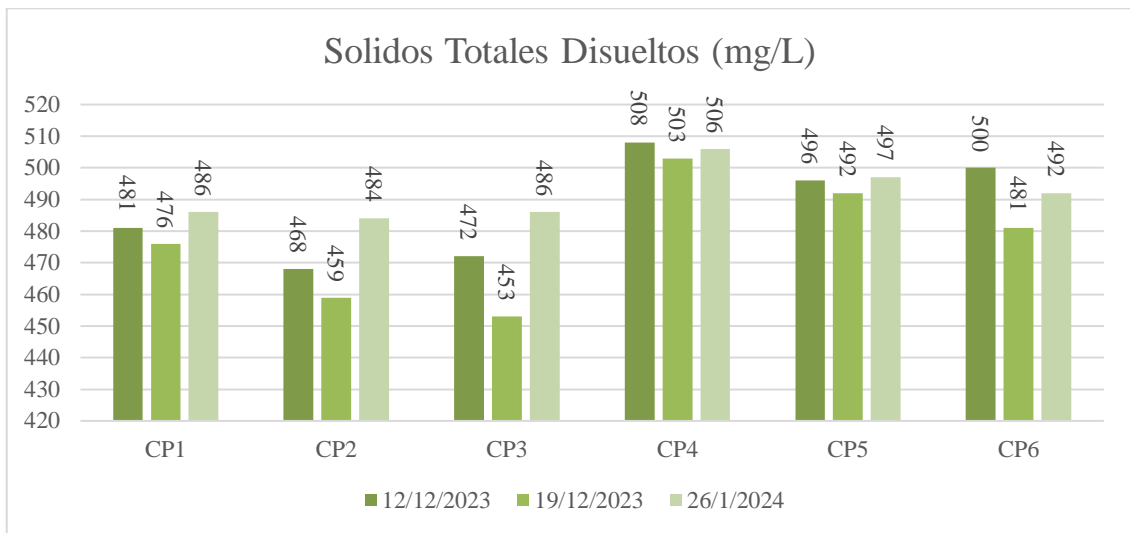


Ilustración 4-9: Resultados de monitoreo de solidos totales disueltos

Realizado por: Betancourt, 2024

En los seis puntos y para las respectivas fechas de monitoreo, se registraron datos de solidos totales disueltos que varían entre 453 mg/L a 508 mg/L, el valor mínimo se observó el 19 de diciembre del 2023 en el sitio CP3 con un valor de 453 mg/L, mientras que el valor máximo que se registro es el 12 de diciembre del 2023 en el sitio CP4 con un valor de 508 mg/L. Con estos valores observados se identifica que en los seis puntos de monitoreo el agua está fuertemente contaminada ya que los resultados obtenidos están en la escala de valores ≥ 400 mg/L.

Estos resultados se pueden atribuir a que en los 6 puntos de muestreo se identificó la presencia de desechos, fauna y flora en descomposición, sedimentos, un alto nivel de presencia de plantas macrófitas, también se puede asumir que existen zonas de descarga de las poblaciones cercanas a la laguna.

4.2.8. Monitoreo de salinidad

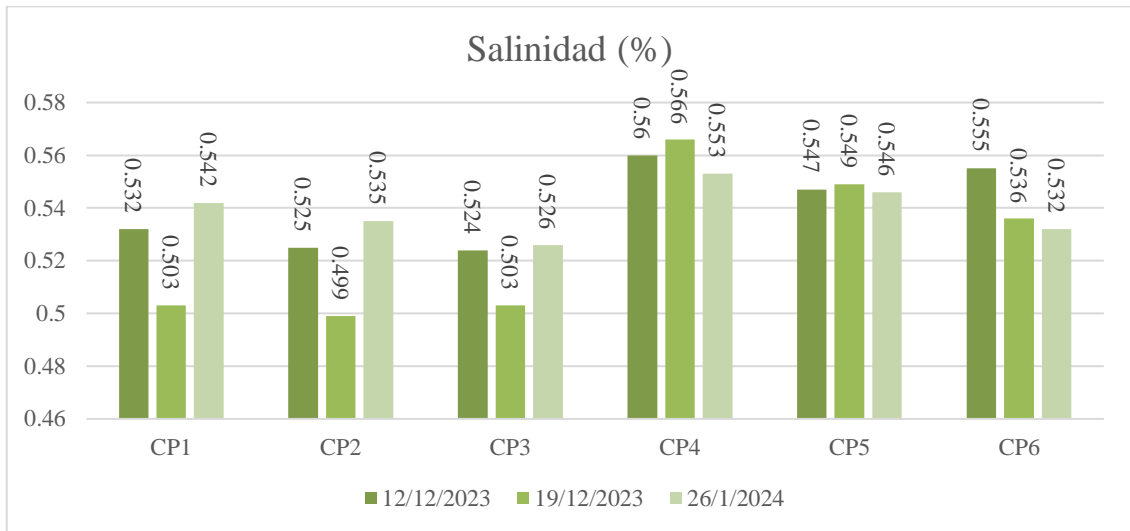


Ilustración 4-10: Resultados de monitoreo de salinidad

Realizado por: Betancourt, 2024

En los seis puntos y para las respectivas fechas de monitoreo, se registraron datos de salinidad que varían entre 0.499 % a 0.566%, el valor mínimo se observó el 19 de diciembre del 2023 en el sitio CP2 con un valor de 0.499%, mientras que el valor máximo que se registro es el 19 de diciembre del 2023 en el sitio CP4 con un valor de 0.566%. Con estos valores observados se identifica que en los seis puntos de monitoreo el agua es moderadamente salina hay que los resultados obtenidos en los sitios de monitoreo se encuentran en la escala de valores de 0.3 a 1 %.

4.2.9. Monitoreo de solidos suspendidos totales



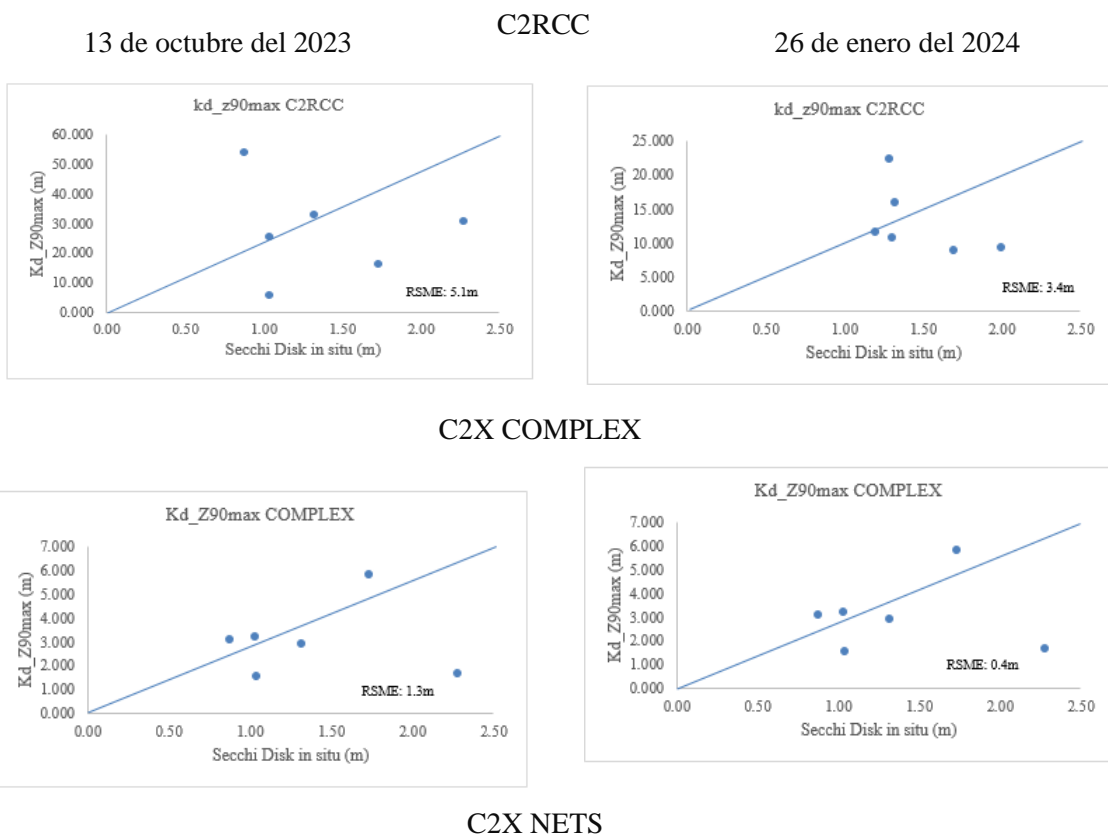
En los seis puntos y para las respectivas fechas de monitoreo, se registraron datos de sólidos suspendidos totales que varían entre 0.20 mg/L a 1.81mg/L, el valor mínimo se observó el 12 de diciembre del 2023 en el sitio CP2 con un valor de 0.20 mg/L, mientras que el valor máximo que se registro es el 12 de diciembre del 2023 en el sitio CP1 con un valor de 1.81 mg/L. Con estos valores observados se identifica que en los seis puntos de monitoreo se encuentran poca cantidad de material particulado en suspensión en la parte superficial del agua.

4.3. Generar un modelo que calcule los parámetros físicos del agua a través de imágenes sentinel-2 y los productos automáticos generados por las redes neuronales.

4.3.1. Comparación de gráficos de dispersión de transparencia con los tres procesadores

Se realizó un análisis de RMSE entre los datos promedios in situ y los datos del producto del disco de Secchi y kd_z90 con las imágenes descargadas del 13 de octubre del 2023 y del 26 de enero del 2024.

GRÁFICOS DE DISPERSIÓN DE TRANSPARENCIA



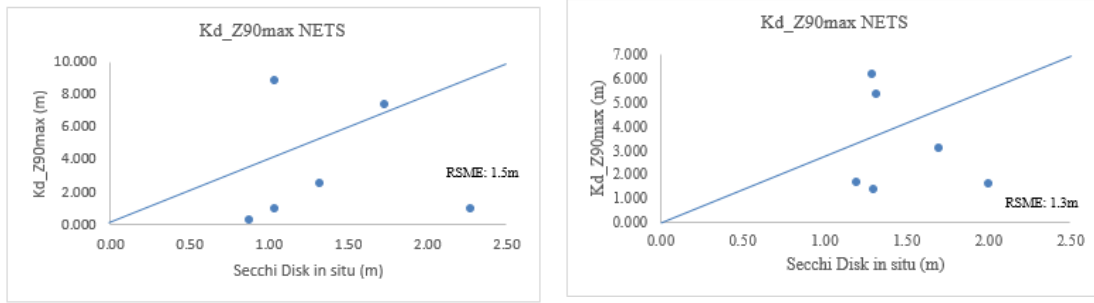


Ilustración 4-11: Comparación de dispersión de transparencia

Realizado por: Betancourt, 2024

En los gráficos de correlación de transparencia se comparó los datos Kd_Z90max descargados del sensor y los datos in situ véase en la ilustración (4-11). En general los valores in situ son considerablemente más bajos que los que se obtuvieron de las imágenes satelitales. Pero se observa una diferencia significativa entre los procesos de corrección, siendo más próximos los datos de campo los obtenidos mediante la corrección atmosférica C2X-COMPLEX, el RMSE obtenido el 13 de octubre del 2023 es de 1.29 m mientras que para el procesador C2RCC es de 5.10 m y para el procesador C2X-NETS el RMSE es de 1.5 m mientras que el RMSE del 26 de enero del 2024 del procesador C2X_COMPLEX es de 0.40 m siendo el RMSE más bajo ya que el RMSE del procesador C2RCC es de 3.40 m y el RMSE del procesador C2X-NETS es de 1.30 m. Realizando el análisis de correlación entre las tres correcciones con los datos de campo se observa como los datos como a pesar de que ninguno de los métodos es preciso como para asemejarse a la recta 1:1, el procesador C2X-COMPLEX se ajusta más a los datos in situ.

4.3.2. Comparación de gráficos de dispersión de solidos totales suspendidos con los tres procesadores

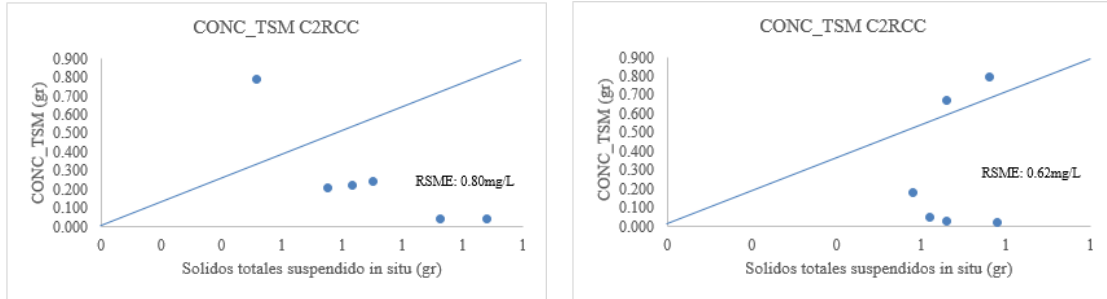
Se realizó un análisis de RMSE entre los datos promedios in situ y los datos del producto de solidos totales suspendidos y cons_tsm con las imágenes descargadas del 13 de octubre del 2023 y del 26 de enero del 2024.

GRÁFICOS DE DISPERSIÓN DE SOLIDOS TOTALES

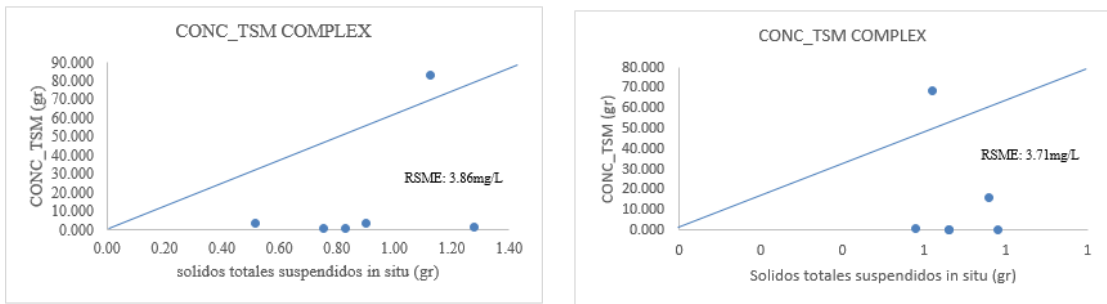
13 de octubre del 2023

26 de enero del 2024

C2RCC



C2X COMPLEX



C2X NETS NETSNETS

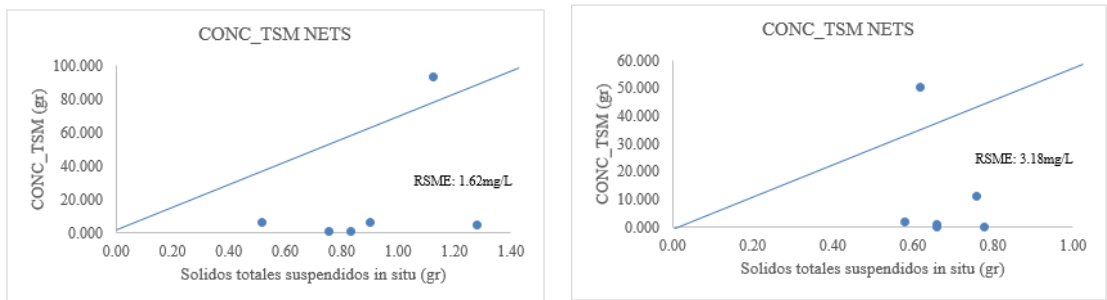


Ilustración 4-12: Comparación de dispersión de solidos totales disueltos

Realizado por: Betancourt, 2024

En los gráficos de correlación de transparencia se comparó los datos cons_tsm descargados del sensor y los datos in situ véase en la ilustración (4-12). En general los valores in situ son considerablemente más bajos que los que se obtuvieron de las imágenes satelitales. Pero se observa una diferencia significativa entre los procesos de corrección, siendo más próximos los datos de campo los obtenidos mediante la corrección atmosférica C2RCC, el RMSE obtenido el 13 de octubre del 2023 es de 0.80 mg/L mientras que para el procesador C2X-COMPLEX es de 3.86 gr/m³ y para el procesador C2X-NETS el RMSE es de 1.62 mg/L mientras que el RMSE del 26 de enero del 2024 del procesador C2RCC es de 0.62 mg/L siendo el RMSE más bajo ya que

el RMSE del procesador C2X-COMPLEX es de 3.71 mg/L y el RMSE del procesador C2X-NETS es de 3.18 mg/L. Realizando el análisis de correlación entre las tres correcciones con los datos de campo se observa como los datos como a pesar de que ninguno de los métodos es preciso como para asemejarse a la recta 1:1, el procesador C2RCC se ajusta más a los datos in situ.

4.3.3. *Análisis temporal de la laguna de Colta*

Según los análisis que se realizaron, el procesador que mejor se ajusta para la estimación de solidos totales suspendidos es el procesador C2RCC ya que este presenta el menor RMSE en las imágenes que se analizaron, en la imagen del 13 de octubre del 2023 el RMSE para solidos totales suspendidos es de 0.80 gr/m³, mientras que en la imagen del 26 de enero del 2024 el RMSE es de 0.62 gr/m³. Mientras que para transparencia el procesador que más se ajusta es el C2X COMPLEX ya que con este procesador en la imagen del 13 de octubre del 2023 el RMSE es de 1.29 m y en la imagen del 26 de enero del 2024 el RMSE es de 0.40 m.

Por lo tanto, los dos procesadores nombrados son los que más se ajustan para sus respectivos análisis ya que muestran los promedios de RMSE más bajos en comparación con los otros dos procesadores en cada caso respectivamente.

Fecha	13 /10/2023	26/01/2024
Imagen satelital		

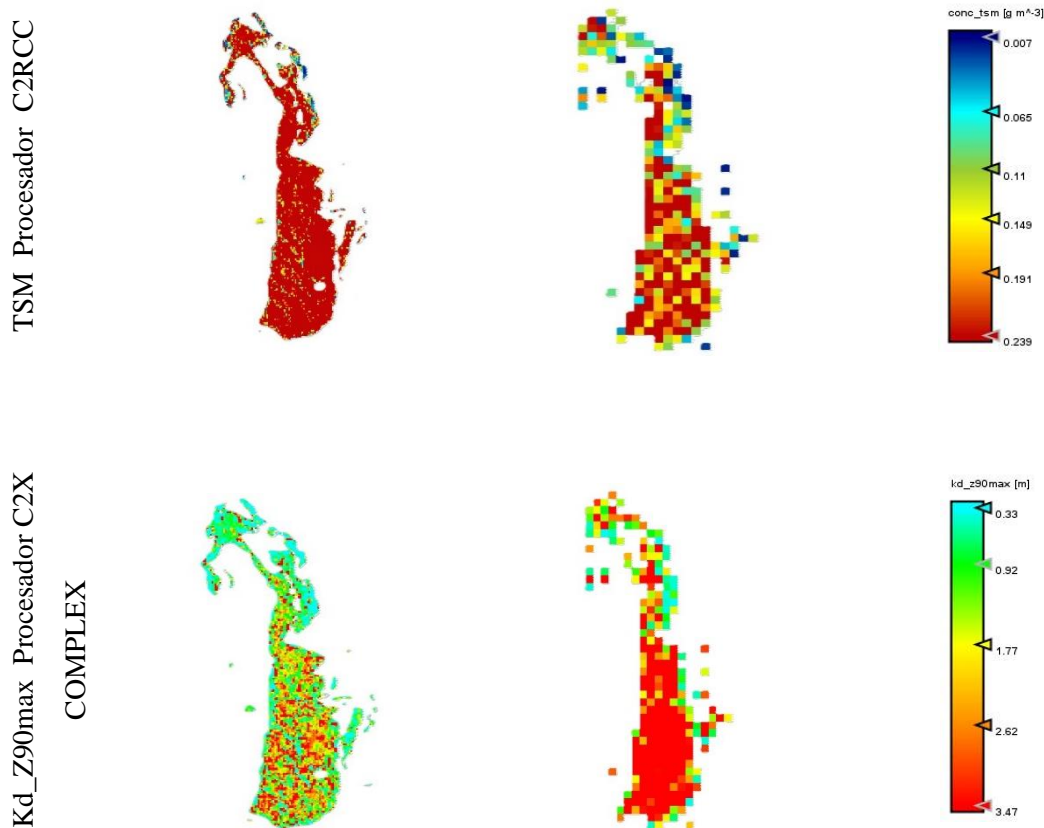


Ilustración 4-13: Comparación de Kd_Z90max y CONCN TSM de las fechas de monitoreo

Realizado por: Betancourt, 2024.

Para el análisis de los sólidos suspendidos totales, el procesador óptimo fue el C2RCC, ya que tiene un menor RMSE en comparación con los otros dos procesadores. En la imagen (4-13), se muestra la representación de los sólidos totales suspendidos (TSM) tanto del 13 de octubre de 2023 como del 26 de enero de 2024. En la primera imagen, se aprecia una concentración significativa de sólidos disueltos en gran parte del cuerpo de agua, mientras que en ciertas zonas de la laguna se encuentra una menor concentración. Por el contrario, en la imagen del 26 de enero de 2024, se observa una disminución en la concentración de sólidos totales disueltos con respecto a la imagen tomada el 13 de octubre. Según Rodier (2011), la presencia de sales orgánicas y en menor medida de materia orgánica disuelta en el agua son los principales factores que contribuyen a la concentración de sólidos disueltos totales.

Para el análisis de transparencia, el procesador más adecuado fue el C2X COMPLEX. En la imagen del 13 de octubre de 2023, se observa menor transparencia en la mayor parte del cuerpo de agua debido a su turbidez, la cual se atribuye a la presencia de plantas macrófitas y sedimentos. Sin embargo, en algunos sectores del cuerpo de agua se registra mayor transparencia. Por otro

lado, en la imagen del 26 de enero de 2024, se aprecia mayor transparencia en mayor porcentaje del cuerpo de agua, lo que sugiere una disminución en la turbidez, posiblemente como resultado de las precipitaciones. A pesar de ello, aún persisten áreas con menor transparencia, especialmente en las orillas de la laguna, lo cual podría ser atribuido a la presencia de plantas macrófitas y sedimentos en estas zonas.

4.3.4. Cálculo de estado trófico por Disco de secchi

El estudio del estado trófico de un cuerpo de agua es fundamental para comprender su vitalidad. Este análisis se enfoca en los niveles de nutrientes y la capacidad del cuerpo de agua para mantener la vida acuática. Una herramienta frecuentemente empleada para esta evaluación es el disco de Secchi, que permite medir la transparencia del agua. Al sumergir el disco, se registra la profundidad en la que desaparece de la vista, con lo que se indica claridad del agua.

La medición del disco de Secchi es decisiva para la valoración y gestión del estado trófico de los cuerpos de agua, ya que estos pueden encontrarse en diferentes estados tróficos, que van desde oligotrófico hasta hipertrófico.

Tabla 4-2: Cálculo de estado trófico por Disco de secchi

FECHAS DE MONITOREO					
Puntos	12/12/2023	19/12/2023	26/1/2024	Promedio	Clasificación
	Disco Sec (m)	Disco Sec (m)	Disco Sec (m)	Disco Sec (m)	
CP1	1.10	1.54	1.20	1.28	Eutrófico
CP2	1.12	0.96	1.3	1.13	Eutrófico
CP3	0.75	1	1.29	1.15	Eutrófico
CP4	2.04	2.15	2.0	2.06	Mesotrófico
CP5	2.0	1.46	1.70	1.72	Eutrófico
CP6	0.9	1.17	1.32	1.13	Eutrófico

Realizado por: Betancourt, 2024

Para el cálculo del estado trófico de la laguna de se realizó un promedio de cada sitio por las fechas de estudio, posteriormente se realizó el cálculo en base al establecido por Carlson por medio del disco de Secchi en el cual se obtuvieron datos en el intervalo de 1.13 a 2.06 m en el cual el menor índice de estado trófico es en los sitios CP2 y CP6 y el mayor dato de índice de estado trófico es en el sitio CP4 con lo que con los datos obtenidos se interpreta que en los puntos CP1,CP2,CP3,CP5 Y CP6 se encuentra en un estado eutrófico lo que se debe a la presencia la proliferación de plantas macrófitas y de plantas acuáticas como la totora que tiene un proliferación acelerada en esta laguna ya que no tiene un control adecuado. Según Carlson, 1980. Los lagos

eutróficos presentan una gran biomasa y están sujetos a una proliferación de algas, malezas o distintas plantas acuáticas. A menudo hay una gran cantidad de materia orgánica acumulada en el fondo del lago, son susceptibles al agotamiento de oxígeno, tiene poca claridad del agua, las lecturas de fósforo y clorofila son altas, mientras que el punto CP4 presenta un estado mesotrófico ya que en este sitio de muestreo se evidencia una menor cantidad de sedimento y de plantas macrófitas. Según Carlson, 1980. Los lagos mesotróficos presentan una baja propagación de algas en la superficie y un mínimo contenido de materia orgánica acumulada en el fondo.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

El diagnóstico de la situación de la laguna de Colta, ubicada en la microcuenca Q. Guashi, revela un panorama preocupante de deterioro ambiental. Por causas como la presencia de basura, flora y fauna muerta, un alto nivel de sedimento y una proliferación descontrolada de totora, evidencia de este deterioro. El problema se destaca por el exceso de sedimento, que está siendo abordado mediante el uso de dragas, práctica que busca remover el sedimento acumulado en el fondo de la laguna por medio de mini excavadoras y equipos de portátiles para monitorear la calidad del agua. Además, la temperatura y la humedad registradas durante las salidas de campo oscilan entre 20 y 24.1 °C y 38 a 63.5%, estos datos obtenidos con respecto al entorno en el que se desarrolla la laguna pueden tener implicaciones en los procesos biológicos y químicos que ocurren en el ecosistema acuático. Por lo tanto, la microcuenca Q. Guashi, muestra un alto nivel de intervención, predominando el uso agrícola y pecuario del suelo, así como asentamientos de población en su entorno. Todos estos hallazgos subrayaron la urgente necesidad de poder implementar medidas de conservación y gestión ambiental para proteger la laguna de Colta.

El monitoreo de parámetros físico-químicos en la laguna de Colta reveló una serie de condiciones que indican un deterioro significativo en la calidad del agua. El pH, varía entre 6.42 y 9.06, lo que muestra una amplia gama de acidez, desde aguas ácidas en los sitios CP3 y CP6 hasta aguas básicas o alcalinas en el sitio CP1. Mientras en la conductividad eléctrica, indico aguas de arroyo dulce en los tres monitoreos, reveló la presencia de aguas residuales en el sitio CP4 en uno de los muestreos, demostrando contaminación por las actividades humanas. El disco de Secchi, con valores entre 0.75 y 2.15 metros, refleja una variabilidad en la transparencia del agua, con valores más bajos indicativos en la mayor turbidez. La turbidez, con valores entre 1.1 y 10.8 NTU, también indica una alta variabilidad en la claridad del agua. Los niveles de oxígeno disuelto, entre 5.66 y 9.75 mg/L, son característicos de aguas de corrientes frías, pero la saturación de oxígeno, que varía entre 101.2% y 142.2%, indica una situación de supersaturación, debido a procesos biológicos acelerados por la eutrofización. Los sólidos totales disueltos, con valores entre 453 y 508 mg/L, muestran una fuerte contaminación del agua, dada por la acumulación de nutrientes y materia orgánica. La salinidad, con valores entre 0.499% y 0.566%, indica un nivel moderado de salinidad, posiblemente influenciado por la intervención humana en la microcuenca.

La comparación entre los procesadores C2RCC, C2X-COMPLEX y C2X-NETS en la corrección atmosférica de estimación de sólidos totales suspendidos y K_d_{Z90max} en la laguna mostró alta diferencias significativas. C2RCC demostró la estimación de sólidos totales suspendidos, con RSME de 0.80 gr/m³ y 0.62 gr/m³ en las imágenes del 13 de octubre de 2023 y 26 de enero de 2024, corrigiendo que la influencia atmosférica. Mientras que, C2X-COMPLEX estimo K_d_{Z90max} , con RSME de 1.3 m y 0.40 m en las mismas fechas, siendo este idóneo para estimar la veracidad vertical de la radiación en la columna de agua. Los resultados se destacan en su importancia de seleccionar el procesador apropiado para poder obtener estimaciones de parámetros bio-ópticos, subrayando la necesidad de evaluar y seleccionar los métodos de procesamiento en imágenes satelitales para aplicaciones específicas. El cálculo del estado trófico de la laguna se basó en el análisis del disco de Secchi y el índice de Carlson, exponiendo que se encuentra en un estado eutrófico en 5 puntos y un punto de muestreo en estado mesotrófico por la proliferación de plantas macrófitas y alto índice de sedimentos, y señala una alta disponibilidad de nutrientes en el agua, debido a la actividad agrícola y pecuaria en la microcuenca. Esta fase de eutrofización es preocupante por los efectos ambientales negativos, como disminución de calidad del agua, pérdida de biodiversidad acuática y proliferación de algas nocivas. Por ello, se sugiere implementar medidas de gestión ambiental y social para disminuir los efectos de eutrofización y conservar la vitalidad de la laguna de Colta.

5.2. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar un estudio detallado sobre la proliferación de plantas macrófitas, como la tatora, que está expandiéndose por todo el espejo de agua de la laguna de Colta. Por ello, el estudio permitirá entender mejor el impacto de esta proliferación en el ecosistema acuático y en la disponibilidad del hábitat para la fauna. Después, se debe desarrollar un plan de manejo integral para la conservación de la laguna, que tenga las medidas para controlar y gestionar la expansión de la tatora, con el objetivo de preservar la biodiversidad de la laguna y de su entorno.

Se sugiere realizar análisis de clorofila para completar la evaluación del estado trófico de la laguna, es decir, la determinación de la concentración de clorofila permitirá añadir información adicional sobre la productividad biológica del agua y ayudará a la interpretación de los resultados obtenidos por medición del disco de Secchi, lo cual permitirá una evaluación más amplia del estado trófico de la laguna.

Se recomienda analizar un plan de manejo para el dragado de los sedimentos en la laguna, esto quiere decir que los sedimentos acumulados pueden disminuir el contenido de oxígeno en el agua

y aumentar la turbidez, lo que afecta la calidad del agua y la vida acuática. Por lo tanto, el plan de manejo debe tener medidas para controlar y reducir la acumulación de sedimentos, con el fin de mejorar la calidad del agua y asegurar un ambiente saludable para la fauna y flora de la laguna.

BIBLIOGRAFÍA

1. **ABRIAL, E.** Influencia de variaciones hidrológicas e hidráulicas sobre la ictiofauna de ambientes lóticos y lénticos en la planicie aluvial del río Paraná. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Tesis Doctoral). Universidad Nacional del Nordeste, Facultad de Ciencias Exactas, Naturales y Agrimensuras, Escuela de Ciencias Biológicas. Santa Fe-Argentina 2017. págs. 106-107. [Consulta: 17-01-2023]. Disponible en: <http://repositorio.unne.edu.ar/handle/123456789/1708>
2. **ACOSTA, Rosario; et al.** “Contenido de fósforo y estado de eutrofización en sectores naturales y modificados de la marisma de Ajó”. *V Reunión Argentina de Geoquímica de la Superficie (RAGSU)* [En línea], 2019, (Argentina), págs. 298-301 [Consulta: 2023-12-27]. Disponible en: <http://sedici.unlpag.edu.ar/handle/10915/77719>
3. **ARCE ARIAS, Adrián.** Utilización de los macroinvertebrados para la determinación de la calidad del agua, ubicada en cinco cuencas ubicadas en el Corredor Biológico Garcimuñoz, Alajuela, Costa Rica. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad Técnica Nacional, Sede Central. Costa Rica. 2017. pág. 27. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.13077/131>
4. **ARCEO-CARRANZA, Daniel & CHÁVEZ-LÓPEZ, Rafael.** “Cambio climático, estuarios e hipersalinidad. Tópicos de Agenda para la Sostenibilidad de Costas y Mares Mexicanos”, *ResearchGate* [En línea], 2019, (México), págs. 275-290. [Consulta: 2023-12-27]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/340540561>
5. **ATRIA INNOVATION.** *Qué son las redes neuronales y sus funciones* [blog] 22 de Octubre de 2019. [Consulta: 2024-01-19] Disponible en: <https://www.atriainnovation.com/que-son-las-redes-neuronales-y-sus-funciones>.
6. **BÁEZ RAMÍREZ, Oliveira A.; et al.** “Bioacumulación y daños genotóxicos en Pez Cebra (*Danio rerio*) por arsénico en aguas de Zimapán, Hidalgo” (México). Ensayos en cortos plazos. *AquaTIC* [En línea]. 2004, (España) vol. 21 (1), págs. 62-70 [Consulta: 2023-12-27]. ISSN: 1578-4541. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49402108>
7. **BAN KI-MOON.** *Calidad del agua* [blog] ONU-DAES. 22 de Octubre de 2014.

[Consulta: 2024-01-19.] Disponible en:

<https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml>

8. **BARRAZA GARCÍA, Felipe.** Análisis de la estabilidad de nanotubos de carbono en función de la composición química del agua. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría en Geociencias Aplicadas). Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C. San Luis Potosí-México. 2019, pág. 29 [Consulta: 2023-12-27]. Disponible en: <https://repositorio.ipicyt.edu.mx/handle/11627/5185>
9. **BIODIVERSIDAD MEXICANA** *Ambiente pelágico*. [blog]. Ciudad de México, 21-10-2022. [Consulta: 2023-12-27]. Disponible en: <https://tinyurl.com/3s6y9jh8>
10. **BORRÁS, J.; et al.** “Clasificación de usos del suelo a partir de imágenes Sentinel-2”. *Revista de Teledetección*, [En línea]. 2017, (Argentina), vol. 2 (48), págs. 55-66. [Consulta: 2023-12-27]. ISSN 1133-0953. Disponible en: <https://doi.org/10.4995/raet.2017.7133>.
11. **BRITO J.; et al.** Índice de la calidad de agua en la laguna de Colta, en la Parroquia Santiago de Quito. *Universidad Nacional de Chimborazo* [En línea] 2019. (Ecuador) [Consulta: 2024-01-23] Disponible en: <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-nacional-de-chimborazo/manejo-de-contaminantes-ii/indice-de-calidad-de-agua-de-la-laguna-de-colta/5263438>.
12. **BROCKMANN, Carsten; et al.** “Evolution of the C2RCC neural network for Sentinel 2 and 3 for the retrieval of ocean colour products in normal and extreme optically complex waters”. *Living Planet Symposium*. [En línea]. 2016. (Estados Unidos) vol. (740) pág. 54. [Consulta: 2023-12-27]. Disponible en: http://stepág.esa.int/docs/extra/Evolution%20of%20the%20C2RCC_LPS16.pdf
13. **BUENO VALBUENA, Yucelly.** Estudio del crecimiento excesivo del Fitoplancton y sus consecuencias en la Laguna de Ortices, de San Andrés. [En línea]. (Trabajo de titulación). (Ingeniería). Universidad Nacional Abierta y A Distancia (UNAD) Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio ambiente. Bucaramanga-Colombia. 2017. págs. 16-17 [Consulta: 2023-12-27]. Disponible en: <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/12985>

14. **CABALLERO Isabel; et al.** Water quality monitoring with Sentinel-2 and Landsat-8 satellites during the 2021 volcanic eruption in La Palma (Canary Islands). *Science of The Total Environment* [En línea]. 2022 (España). vol. (822) págs. 1-13 [Consulta: 2023-12-23] ISSN 0048-9697. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969722005253>.
15. **CABREJA CONSUEGRA, Marisnelvys.** Propuesta de un Laboratorio para el control de la calidad del agua mediante la determinación de magnitudes físicas. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Tesis Doctoral). Universidad Central “Marta Abreu De Las Villas”, Facultad de Matemática, Física y Computación, Departamento de Física. 2017. Santa Clara-Cuba. 2017. pág. 31 [Consulta: 2023-12-27]. Disponible en:
<https://dspace.uclv.edu.cu/server/api/core/bitstreams/16185f19-68dd-4d4c-b1e1-bee9d5410755/content>
16. **CÁCERES URIBE, A.** “Estudio de los cuerpos lénticos en el escenario de cambio climático, una mirada a Colombia”. *Vicerrectorado Académico de la Universidad Técnica de Babahoyo* [En línea]. (Ecuador) vol. 26 (3) págs. 29-50 [Consulta: 2023-12-27]. ISSN 2588-1019, Disponible en:
<https://revistas.utb.edu.ec/index.php/rpa/article/view/2489>
17. **CALA CALA, Plutarco.** *Medio ambiente y diversidad de los peces de agua dulce de Colombia*. [En línea]. No. 36. Bogotá- Colombia: Editorial Gente Nueva, 2019. [Consulta: 2023-12-27]. ISBN 978-958-9205-96-9. Disponible en:
<https://repositorio.accefyn.org.co/handle/001/2384>
18. **CALLAGHAN-CAPETILLO, Michelle Ann; et al.** “Valoración económica de las amenidades de un cenote en Pebá, Yucatán, México: Economic valuation of recreational activities of a waterhole in Pebá, Yucatan, Mexico”. *Revista Estudios Ambientales-Environmental Studies Journal*, [En línea]. 2020, (México), vol. 1 (8), págs. 43-58. [Consulta: 2023-12-27]. ISSN 2347-0941. Disponible en:
<https://doi.org/10.47069/estudios-ambientales.v8i1.672>
19. **CAPELETTI, Julieta.** Indicadores ecológicos en grandes ríos: invertebrados en ambientes lénticos y lóxicos del sistema del río Paraná. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Tesis Doctoral.). Universidad Nacional del Litoral, Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas. Santa Fe-Argentina. 2023. pág. 26 [Consulta: 2023-12-27].

Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/374412121>

20. **CASELLA, Alejandra; et al.** “Preprocesamiento de imágenes satelitales del sensor sentinel 2A y 2B con el software SNAP 6. 0. Instituto de Clima y Agua”. *CIRN INTA Castelar*. [En línea]. 2018, (Argentina) págs. 1-31. [Consulta: 2023-12-27]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/333091912>
21. **CASTELLÓN Gómez, Juan José; et al.** “Calidad del agua para riego en la agricultura protegida en Tlaxcala”. *Ingeniería* [En línea]. 2015, (México), vol. 19 (1), págs. 39-50, [Consulta: 2023-12-27]. ISSN: 1665-529X. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46750924004>
22. **CATALÁN GONZÁLEZ, Francisco Javier; et al.** El paisaje socio-natural de la bahía de Cádiz: análisis histórico de su formación. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Tesis Doctoral.). Universidad de Cádiz. Cádiz-España 2021. pág. 66 [Consulta: 2023-12-27]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10498/28995>
23. **CEBALLOS, Gerardo; et al.** *Los peces dulceacuícolas de México en peligro de extinción. Fondo de Cultura Económica*. [En línea]. México D.F.-México: Fondo De Cultura Económica, 2018. pág. 35 [Consulta: 2023-12-27]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books/about/Los_peces_dulceacu%C3%ADcolas_de_M%C3%A9xico_en.html?id=uopjDwAAQBAJ&redir_esc=y
24. **CERVANTES, Mauricio.** “Conceptos fundamentales sobre ecosistemas acuáticos y su estado en México. Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México”. *Instituto Nacional de Ecología-Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales*. [En línea]. 2007 (México), pág. 37-67. [Consulta: 27 -12- 2023]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/MonicaHerzigZurcher/perspectivas-sobre-conservacin-de-ecosistemas-acuticos-en-mexico>
25. **CERVANTES MARTÍNEZ, Adrián & GUTIÉRREZ AGUIRRE, Martha A.** “Copépodos en cenotes de Quintana Roo”. *ECOfronteras*, [En línea]. 2017, (México), vol. 1 (21), pág. 7. [Consulta: 2023-12-27]. ISSN 2007-4549. Disponible en: <https://revistas.ecosur.mx/ecofronteras/index.php/eco/article/view/1687>
26. **CEVALLOS GANCHOZO, Andrés Roberto.** Influencia de la viscosidad cinemática,

en el coeficiente de fricción para la fórmula Darcy Weisbach. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Tesis Doctoral.). PUCE, Carrera Ingeniería Hidráulica. Manabí-Ecuador. 2020. pág. 1 [Consulta: 2023-12-27]. Disponible en: <http://201.159.223.245:8080/handle/123456789/78>

27. **CHÁVEZ. LÓPEZ, Rafael.** “Revisando los tipos de estuarios de la costa de Veracruz”. *Biocyt: Biología, Ciencia y Tecnología*, [En línea]. 2023, (México), vol. (16), págs. 1130-1135. [Consulta: 2023-12-27]. ISSN-e 2007-2082, Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8833845>
28. **COLL M.; et al.** La modelización ecológica aplicada al estudio y gestión de los peces pelágicos pequeños del Mar Mediterráneo. *Nuevas aproximaciones metodológicas para el análisis de pesquerías*, [En línea]. 2021, (España). vol. (121), pág. 119. [Consulta: 2023-12-27]. Disponible en: <https://uhu.es/juanc.gutierrez/resumeneslibro/resumencoll.pdf>
29. **CUADROS CHUCHÓN, Orlando.** Macroinvertebrados acuáticos y calidad fisicoquímica de sistemas lóticos de la cabecera de la microcuenca Yucaes, Acocro, Huamanga, Ayacucho 2020-2021. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Tesis de Licenciatura.) Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Facultad de Ciencias Biológicas, Escuela Profesional de Biología. Ayacucho–Perú 2022. pág. 6 [Consulta: 2023-12-27]. Disponible en: <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/4986>
30. **CUELLAR ARANCIBIA, Cristhian Sandro.** Estudio del estado actual de eutrofización utilizando el modelo matemático del índice de estado trófico (IET) y el grado de eutrofia establecido por la organización para la cooperación y el desarrollo económico (OCDE), en la laguna de Paca de la provincia de Jauja 2017. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Tesis de Ingeniería.). Universidad Alas Peruanas, Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental. Huancayo-Perú. 2018. pág. 56 [Consulta: 2023-12-27]. Disponible en: https://repositorio.uapág.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12990/8758/Tesis_Estudio_Eutrofizaci%c3%b3n.pdf?sequence=1&isAllowed=y
31. **DÍEZ-CANSECO, Davinia & CUEVAS, Jaime.** *Arroyos de montaña*. [blog]. Geología de Ávila, Geomorfología, Hidrogeología, Valle del Alberche, febrero 22,

2017 [Consulta: 2023-12-27]. Disponible en:

<https://geolodiaavila.com/2017/02/22/arroyos-de-montana/>

32. **DÍAZ-VARGAS M; et al.** “Estado trófico del lago Coatetelco, Morelos, México.” *Investigación Agropecuaria* [En línea]. 2017. (México), vol. 14 (3) págs. 145-152. [Consulta: 2023-12-23]. ISSN: 2007-1353. Disponible en: www.investigacionagropecuaria.com.mx
33. **ESPINOZA PECEROS, Edman Manuel.** Evaluación de calidad de agua y su uso en riego en la cuenca media del Río Chumbao, Andahuaylas-Apurímac 2016 [En línea]. (Trabajo de titulación) (Tesis de Ingeniería.) Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Facultad de ciencias agrícolas, Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola. Ayacucho-Perú 2016. págs. 32-33 [Consulta: 2023-12-27]. Disponible en: <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/3718>
34. **ESTÉVEZ, Aarón.** Estimación de índices y parámetros ambientales del agua a partir de imágenes multispectrales Sentinel en el lago de Coatepeque y el embalse Cerrón Grande de El Salvador durante el período 2017-2021. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Tesis de Licenciatura) Universidad De El Salvador, Facultad de Ciencias Naturales y Matemática. Escuela de Física Licenciatura en Geofísica. El Salvador, 2022. pág. 31 [Consulta: 2023-12-27]. Disponible en: <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/30787>
35. **EUROPEAN SPACE AGENCY (ESA).** *Sentinel 2* [blog] España: 17 de Junio de 2015. [Consulta: 2024-01-22] Disponible en: https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Spain/SENTINEL_2.
36. **EUROPEAN SPACE AGENCY (ESA).** *Sentinel-2 MSI User Guide - Product Types*. [blog]. Agencia Espacial Europea 2015 [Consulta: 2023-12-27]. Disponible en: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/product-types>
37. **EUROPEAN SPACE AGENCY (ESA).** *Level-1C. Sentinel Online* [blog]. Agencia Espacial Europea. 2015 [Consulta: 2023-12-27]. Disponible en: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/product-types/level-1c>
38. **EUROPEAN SPACE AGENCY (ESA).** *Level-2A. Sentinel Online* [blog]. Agencia

Espacial Europea. 2015 [Consulta: 2023-12-27]. Disponible en:
<https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/product-types/level-2a>

39. **FAO Biodiversidad acuática y pesca continental.** [blog]. 2023 [Consulta: 2023-12-27]. Disponible en: <https://www.fao.org/inland-fisheries/background/aquatic-biodiversity/es/>
40. **FAO 2023, Ecosistemas costeros y marinos.** [blog]. Departamento de Pesca y Agricultura. [Consulta: 2023-12-27]. Disponible en: <https://www.fao.org/figis/pdf/fishery/topic/3542/es?title=FAO%20Pesca%20y%20Acuicultura%20-%20Ecosistemas%20costeros%20y%20marinos>
41. **FARES GUAMANÍ Melany D.** Evaluación de impactos ambientales generados por la actividad turística en tres sitios de visita de la Laguna Colta. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Tesis de Licenciatura). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Recursos Renovables, Carrera de Turismo. Riobamba-Ecuador. 2023. pág. 58 [Consulta: 2023-12-27]. Disponible en:
42. **FLOREZ A. & RIOS K.** “Las lagunas de alta montaña”. *Cuad. Geogr. Rev. Colomb. Geogr.* [En línea]. 1998 (Colombia). Vol. 7(1-2), págs. .25-49. [Consulta: 2023-12-27]. ISSN 2256-5442. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcg/article/view/70831>
43. **FONSECA BÁRCENAS, Geiling.** Dinámica del fitoplancton en las aguas del cultivo de la isla Santa Lucía y el Lima en la comunidad Las Peñitas, León 2013. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Tesis Doctoral). Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Facultad de Ciencias y Tecnología, Departamento de Biología, Carrera de Ingeniería Acuícola. León–Nicaragua. 2013. pág. 8 [Consulta: 2023-12-27]. Disponible en: <http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/bitstream/123456789/6944/1/240613.pdf>
44. **GASTÓN JARA, Fabián.** Plasticidad fenotípica en anuros Patagónicos de los géneros *Pleurodema* y *Rhinella*: respuestas al hidropereodo ya los depredadores. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Tesis de Doctoral). Universidad Nacional del Comahue. Buenos Aires-Argentina. 2010. pág. 13 [Consulta: 2023-12-27]. Disponible en: <http://rdi.uncoma.edu.ar/handle/uncomaid/170> .

45. **GIS & beers.** 2019. *Todo lo que deberías saber sobre imágenes Sentinel 2*, [blog] 21 de Diciembre de 2019. [Consulta: 2024-01-22] Disponible en: <http://www.gisandbeers.com/lo-deberias-saber-imagenes-sentinel-2/>.
46. **GÓMEZ FONTALVA, José Manuel; et al.** “Origen de la salinidad de las aguas subterráneas del sistema acuífero costero de Torrevieja: Aspectos Hidroquímicos”. *Geogaceta*, [En línea]. vol. (48), págs. 127-130. 2010, [Consulta: 2023-12-27]. ISSN 0213-683X Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3465124>
47. **GÓMEZ, Isis.** *¿Qué son los Sensores Remotos?* [blog] 2020. EcoScript. 27 de Julio, 2020. [Consulta: 2024-01-19] Disponible en: <https://ecoscript.org/quesonlossensoresremotos/>.
48. **HANSON, Paul; et al.** “Capítulo 1: Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos”. *Rev. biol. trop* [En línea]. 2010, (Costa Rica). vol. (58), págs. .3-37. [Consulta: 2023-12-27]. ISSN 0034-7744 Disponible en: http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442010000800001&lng=en&nrm=iso .
49. **HERNÁNDEZ NIÑO, Johann Alexander.** Diseño de un sistema de monitoreo de parámetros del agua en que habitan peces ornamentales para brindar las condiciones óptimas de supervivencia a las especies, basado en el uso de tecnologías de sensores de precisión y sistemas embebidos. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNA. Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería Programa de Ingeniería Electrónica. Bogotá-Colombia, 2021. pág. 16 [Consulta: 2023-12-27]. Disponible en: <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/43157>.
50. **JIMÉNEZ ORTEGA, Dennis.** Evaluación de la captura de carbono y respiración foliar del bosque de Intimpa (*Podocarpus glomeratus* D. Don), en el Santuario Nacional de Ampay-Abancay–Apurímac. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Tesis de Doctoral) Universidad Nacional de San Antonio Abad Del Cusco. facultad de Ciencias Escuela Profesional de Biología. Cusco–Perú. 2022. pág. 31 [Consulta: 2023-12-27]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12918/6884>

51. **JIMÉNEZ RAMOS, Alexandra M.** Evaluación de la evolución de cargas contaminantes aportadas por vertimientos de aguas residuales en un humedal natural, mediante la implementación de un modelo computacional hidráulico y de calidad de agua. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Tesis Doctoral). Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. (Bogotá-Colombia) 2018. pág. 30 [Consulta: 2023-12-27]. Disponible en: <https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/729>
52. **JUSTE, Irene.** *Ecosistema acuático: qué es, características, tipos y ejemplos* [blog] España: Ecología verde, 19 de Abril, 2021. [Consulta: 2024-01-19] Disponible en: <https://www.ecologiaverde.com/que-es-un-ecosistema-acuatico-332.html>.
53. **LI, Sijia; et al.** “Rendimiento de los procesadores de corrección atmosférica para imágenes MSI de Sentinel-2 sobre lagos típicos de China”. *Revista IEEE de temas seleccionados en observaciones aplicadas de la Tierra y teledetección*, [En línea]. 2023, (China). vol. (16), págs. 2065-2078. [Consulta: 2023-12-27]. ISSN: 2151-1535. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10025610>
54. **LUPI Oreste Daniel; et al.** “Monitoreo de ecosistemas acuáticos”. *Revista Digital del Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas* [En línea]. 2021, (Argentina). vol. 6(2), págs. .1-9. [Consulta: 2023-12-27] ISSN: 2525-1333. Disponible en: <http://repositoriocynt.unlam.edu.ar/handle/123456789/1216>
55. **MALDONADO-OCAMPO, Javier A.; et al.** *Peces de los Andes de Colombia*. [En línea]. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. Bogotá, DC-Colombia, 2005, pág. 346. [Consulta: 2023-12-27]. Disponible en: https://wwfeu.awsassets.panda.org/downloads/peces_de_los_andes_de_colombia.pdf
56. **MARÍN AVENDAÑO, Carlos Mario.** Interacciones tróficas y productividad íctica en el sistema cenagoso de Ayapel, Córdoba Colombia. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Tesis Doctoral). Universidad de Antioquia, Facultad de Ingeniería. Antioquia-Colombia, 2017. pág. 31 [Consulta: 2023-12-27]. Disponible en: https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/7404/1/MarinCarlos_2017_InteraccionesTrophicasProductividad.pdf
57. **MATEU CUENCA, Ana.** Los problemas de eutrofización de las aguas superficiales en relación con la agricultura. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Tesis de Doctoral).

Universidad Politécnica de Valencia, Escuela Superior Politécnica de Gandía. Valencia-España. 2017 pág. 4 [Consulta: 27-12- 2023]. Disponible en:
<http://hdl.handle.net/10251/78548>

58. **MENDOZA ALMEIDA, Merinia.** Plantas acuáticas en ambientes lénticos del Bofedal Minas Corral, distrito Vinchos, provincia de Huamanga, Ayacucho 2017-2018. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Tesis de Doctoral). Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Facultad de Ciencias Biológicas. Ayacucho-Perú, 2020. pág. 7 [Consulta: 2023-12-27]. Disponible en:
<http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/4474>
59. **MESA VILLEGAS, Laura.** Evaluación de la eficiencia de un sistema de acuaponía por biofiltración en el sistema RAS. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Tesis de Doctoral). Unilasallista Corporación Universitaria, Facultad de ciencias agropecuarias y administrativas. Caldas-Antioquia 2021. pág. 31 [Consulta: 2023-12-27]. Disponible en: <http://repository.unilasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/3185/1/20162114.pdf>
60. **MORALES Carrillo, M.** Los servicios ecosistémicos en ríos urbanos, el canal San Antonio en Bogotá como estrategia de aula ambiental para estudiantes de secundaria. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias, Maestría en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales. Bogotá, Colombia 2021. pág. 15 [Consulta: 2023-12-27]. Disponible en:
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/79409>
61. **MORENO Ostos E.** “Chimeneas hidrotermales y las ciudades perdidas abisales”. *enbio* [En línea]. 2016, (España). vol. 9 (157) págs. .61-5. [Consulta: 2023-12-27]. Disponible en: <https://www.revistas.uma.es/index.php/enbio/article/view/17971>
62. **NADAL, A.; et al.** “Modelación de oxígeno disuelto y DBO5 con tasas cinéticas determinadas experimentalmente: Un aporte para la gestión del arroyo Chicamtoltina”. *Rev. la Fac. Ciencias Exactas, Físicas y Nat* [En línea]. 2017, (Argentina). vol. 4(1), pág. 23. [Consulta: 2023-12-27]. Disponible en:
<https://revistas.unc.edu.ar/index.php/FCEFYN/article/download/14292/16508/46063>
63. **OLANO RODRÍGUEZ, Hernán.** Factores que favorecen la ocurrencia de cianobacterias en la cuenca del Río Santa Lucía, Uruguay: aporte de nutrientes y

fitoplancton de una fuente puntual. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Tesis de Licenciatura). Universidad de la república de Uruguay, Facultad de Ciencias, Carrera de Ciencias Biológicas. Montevideo-Uruguay 2018. pág. 39 [Consulta: 2023-12-27].

Disponible en:

<https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/24321/1/uy24-18742.pdf>

64. **OLAYA JIMÉNEZ, David Felipe.** Diseño y análisis del sistema de filtración del agua en el proceso de lavado de motores de la empresa rectificadora de Motores Velázquez para su reutilización. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Tesis de Licenciatura). Fundación Universitaria Los Libertadores, Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas Ingeniería Industrial. Bogotá-Colombia 2017. pág. 55 [Consulta: 2023-12-27].

Disponible en:

<https://repository.libertadores.edu.co/bitstream/handle/11371/1160/olayadavid2017.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

65. **ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS (ONU).**, *Los latinoamericanos comerán cada vez más pescado, Mirada global Historias humanas.* [blog]. Vietnam. 2023. [Consulta: 2023-12-27]. Disponible en:

<https://news.un.org/es/story/2018/07/1437452>

66. **OROZCO DÍAZ, Fernando; & MADINAVEITIA Antonio.** “Estudio del Yacimiento de Salmueras Alcalinas en el Valle de México”. *Instituto de Química* [En línea]. 1945 (México). págs. 6-25 [Consulta: 2023-12-27]. Disponible en:

http://rdu.iqumica.unam.mx/bitstream/20.500.12214/738/1/Orozco_BIQ_v1_6-25_1945.pdf

67. **OSORTO Núñez M.; et al.**, “Evaluación de la calidad de agua mediante un análisis multivariante en los esteros del Golfo de Fonseca, Honduras: Calidad de agua en los esteros del Golfo de Fonseca”. *Bol. Investig. Mar. Costeras* [En línea]. 2023, (Honduras) vol. 52 (1) págs. 65-92. [Consulta: 2023-12-27]. ISSN 0122-9761

Disponible en:

<http://boletin.invemar.org.co:8085/ojs/index.php/boletin/article/view/1181>

68. **OSPINA OSPINA Juan Sebastián; & BEDOYA GIRALDO Daniela.** Diversidad y relaciones ecomorfológicas de la comunidad íctica del complejo de humedales de paz

de Ariporo - hato corozal, Casanare. Ibagué. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Tesis de Licenciatura). Universidad del Tolima, Facultad de Ciencias. Programa de Biología. Tolima-Colombia. 2018. pág. 56 [Consulta: 2023-12-27]. Disponible en: <https://repository.ut.edu.co/handle/001/2643>

69. **PASCUAL, Miguel, et al.** “Ecosistemas acuáticos continentales y sus servicios: Enfoques y escenarios de aplicación en el mundo real”. *Ecología Austral*, [En línea]. 2022, (Argentina). vol. 32 (1). págs. .195-212. [Consulta: 2023-12-27]. ISSN: 2525-1333. Disponible en <https://doi.org/10.25260/EA.22.32.1.1.1290>
70. **PAUTA, Guillermina, et al.** “Evaluación de la calidad del agua de los ríos de la ciudad de Cuenca, Ecuador”. *Maskana*, [En línea]. 2019, (Ecuador) vol. 10 (2) págs. 76-88. [Consulta: 2023-12-27]. ISSN 1390-6143. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7345331>
71. **PICADO CARBALLO, Karina.** Caracterización, recolección y disposición final de materiales flotantes residuales en las etapas de floculación y sedimentación en la planta potabilizadora de Tres Ríos. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Tesis de Ingeniería). Universidad Técnica Nacional, Carrera de Ingeniería en Manejo del Recurso Hídrico. Alajuela-Costa Rica. 2022. pág. 35 [Consulta: 2023-12-27]. Disponible en: <https://repositorio.utn.ac.cr/items/fd1b227c-793c-421e-b094-008ccd8ce0d1>
72. **PINARGOTE FLORES José A. & MENÉNDEZ VERA Jesús Y.** Evaluación de la capacidad de autodepuración de materia orgánica del río carrizal sobre los efluentes de la laguna de oxidación de Calceta. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Tesis de Licenciatura). Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Carrera de Medio Ambiente. Calceta-Ecuador, 2020 pág. 7 [Consulta: 2023-12-27]. Disponible en: <https://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/1324>
73. **PRATES Luciano Raúl & BONOMO, Mariano.** “Los ambientes acuáticos en arqueología; Universidad de Buenos Aires. Facultad de Filosofía y Letras”. *Instituto de Arqueología; Arqueología* [En línea]. 2017 (Argentina) vol. 3 (10) págs. .11-33 [Consulta: 2023-12-27]. ISSN 0327-5159 Disponible en: <http://hdl.handle.net/11336/57130>
74. **QING Yang; et al.** Emergy-based accounting method for aquatic ecosystem services

valuation: A case of China. *Journal of cleaner production*, [En línea] 2019, (China). vol. (230) págs. 55-68 [Consulta: 2024-01-23] ISSN 0959-6526 Disponible en: http://www.advancesincleanerproduction.net/papers/journals/2019/2019_jcp_05.pdf.

75. **QUIJANO CARRANZA Antony, D.** Remoción de arsénico de las aguas del río Pelagatos utilizando ceniza de paja de trigo. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Tesis de Ingeniería). Universidad San Pedro, Facultad de Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería Civil. Chimbote-Perú 2020. pág. 7 [Consulta: 2023-12-27]. Disponible en: <http://repositorio.usanpedro.edu.pe/handle/USANPEDRO/14276>
76. **QUIRÓS FERNÁNDEZ, Jorge Arturo.** Determinación del estado de la calidad del agua del embalse de As Conchas mediante técnicas de teledetección. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Tesis de Maestría). Universidad de Alcalá. Máster Universitario en Hidrología y Gestión de Recursos Hídricos Madrid-España, 2022. pág. 10 [Consulta: 2023-12-27]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10017/52716>
77. **RADIN, C.; et al.** 2020. Estudio multitemporal de calidad del agua del embalse de Sitjar (Castelló, España) utilizando imágenes Sentinel-2. *Revista de Teledetección*. [En línea]. 2020 (España) vol. (56) págs. 117-130. [Consulta: 2024-01-23]. ISSN 1133-0953. Disponible en: DOI 10.4995/raet.2020.13864
78. **RAMOS-RODRÍGUEZ, Eloísa.** *Principios básicos de muestreo en ecosistemas acuáticos lénticos. ecología de comunidades y sistemas*, [En línea]. Granada: Departamento de ecología, facultad de ciencias, universidad de Granada. 2022. [Consulta: 2023-12-27]. Disponible en <https://digibug.ugr.es/bitstream/handle/10481/76316/MANUAL%20PRACTICAS%20ECS.pdf?sequence=1&isAllowed=y#page=20>
79. **REYES Merino, C. B.** “Aves Pelágicas, habitantes incomprendidas de los océanos”. *AQUACIENCIA* [En línea]. 2022, (El Salvador) vol. (1) págs. 13-6. [Consulta: 2023-12-27]. ISSN: 2960-2297, Disponible en: <https://revistas.ues.edu.sv/index.php/aqc/article/view/2325>
80. **REYES-MORALES F.** “Macroinvertebrados acuáticos de los cuerpos lénticos de la Región Maya, Guatemala”. *Rev.Cient.*, [En línea]. 2013, (Guatemala). vol. 23 (1) págs. .7-16. [Consulta: 2023-12-27]. ISSN: 2224-5545, Disponible en:

<https://rcientifica.com/index.php/revista/article/view/107>

81. **RODILES-HERNÁNDEZ, R.; et al.** Ecosistemas acuáticos. *La biodiversidad en Chiapas: Estudio de Estado. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (conabio) y Gobierno del Estado de Chiapas, México.* [En línea]. 2013. México. págs. 45-57. [Consulta: 2023-12-27], Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/260752925>
82. **RODRÍGUEZ-ARIAS Cindy E. & SILVA BENAVIDES Ana M.** “Los Humedales de la Quebrada Estero en San Ramón, Costa Rica: importancia y estado actual”. *RPyS* [En línea]. 2017, (Costa Rica). vol. 15 (1), págs. 13-26. [Consulta: 2023-12-27], ISSN: 2215-2172 Disponible en: <https://revistas.uned.ac.cr/index.php/posgrado/article/view/1822>.
83. **ROLDÁN PÉREZ, Gabriel & RAMÍREZ RESTREPO, John Jairo.** *Fundamentos de limnología neotropical.* [En línea]. No. 18, Bogotá-Colombia, Editorial Gente Nueva 2022. [Consulta: 2023-12-27], Disponible en: <https://repositorio.accefyn.org.co/handle/001/2381>
84. **ROMERO CÓNDOR, Christian Wladimir.** Identificación y Caracterización de Facies de la Formación Hollín en Centro Shaima: El Registro de una Transición Fluvio-Marina en la Región Sur Oriental del Ecuador. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Tesis de Maestría). Escuela Politécnica Nacional Ecuador, 2018. [Consulta: 2023-12-27], Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19278>
85. **SÁNCHEZ, O.; et al.** *Ecosistemas acuáticos: diversidad, procesos, problemática y conservación. Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México,* [En línea]. vol. 11. México: Instituto Nacional de Ecología, 2007, [Consulta: 2023-12-27], Disponible en <https://es.slideshare.net/MonicaHerzigZurcher/perspectivas-sobre-conservacin-de-ecosistemas-acuticos-en-mexico>
86. **SCHNEIDER, Berenice; et al.,** *Plantas acuáticas del río Paraná Medio.* [En línea]. Santa Fe-Argentina: Universidad Nacional del Litoral, 2022 [Consulta 2023-12-27], Disponible en: <https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar/bitstream/handle/11185/6737/edunl-plantas-acuaticas-digital.pdf>

87. **SOBRINO, José A.** *Teledetección*. [En línea]. Valencia-España: Universidad de Valencia, 2001. ISBN 84-370-4220-8. pág. 19 [Consulta: 2023-12-27], Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=Yb6xIldfoT0C&lpg=PA89&ots=oUwCruJJ_k&dq=teledetecci%C3%B3n&lr&hl=es&pg=PA5#v=onepage&q=teledetecci%C3%B3n&f=false
88. **SORIANO-GONZÁLEZ, Jesús; et al.** “Towards the combination of C2RCC processors for improving water quality retrieval in inland and coastal areas”. *Remote Sensing*, [En línea]. 2022, vol. 14 (5). págs. 2-24. [Consulta: 2023-12-27], Disponible en: <https://doi.org/10.3390/rs14051124>
89. **TIERNO DE FIGUEROA; et al.** “Los ríos mediterráneos: diversidad y conservación de su fauna. En Biodiversidad y conservación de fauna y flora en ambientes mediterráneos”. *Sociedad Granatense de Historia Natural Granada*, [En línea]. 2007, (Granadas). págs. 795-838. [Consulta: 2023-12-27], Disponible en: <https://ecologia.ugr.es/sites/dpto/ecologia/public/inline-images/LOS-RIOS-MEDITERRANEOS-DIVERSIDAD.pdf>
90. **TORRES-SILVA, Stephanie; et al.**, “Análisis físico - químico e influencia de los minerales disueltos en el sabor del agua potable, de las principales plantas de tratamiento de Quito”. *Enfoque UTE* [En línea]. 2020, (Ecuador) vol. 11 (4) págs. 57-70. [Consulta: 2023-12-27], ISSN 1390-6542 Disponible en: <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v11n4.533>.
91. **UQUICHE MAUCAYLLE, Rogger Miguel.** Alimentación y biología reproductiva de la carpa común (*Cyprinus carpio* (Linnaeus, 1758)) en las lagunas de Huacarpay y Urcos, provincia de Quispicanchi–región Cusco. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional de San Antonio Abad Del Cusco Facultad de Ciencias Escuela Profesional de Biología. Cusco-Perú, 2019. págs. 54-55 [Consulta: 2023-12-27], Disponible en: <https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/4170>
92. **URREGO, Patricia; et al.** *Introducción a la teledetección y aplicaciones medioambientales del programa europeo Copernicus. Calidad de aguas continentales*. [En línea]. Valencia-España: Unión Europea, 2018. [Consulta: 2024-01-23]. Disponible en:

93. **VALDERRAMA NITOLA, Halison D.** Identificación de impactos del cambio climático en cuerpos superficiales de agua dulce de la Región Caribe colombiana. 2021. Identificación de impactos del cambio climático en cuerpos superficiales de agua dulce de la Región Caribe colombiana. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Tesis de Ingeniería). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Ambiental. Tunja-Colombia 2021. pág. 42 [Consulta: 2023-12-27], Disponible en: <http://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/8700>
94. **VARGAS, L. & MONROY, D.** Formulación de una propuesta metodológica de medición de la efectividad en el manejo ambiental de humedales urbanos en la ciudad de Bogotá D.C. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Tesis de maestría). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Especialización en Gerencia de Recursos Naturales. Bogotá-Colombia 2018. pág. 26 [Consulta: 2023-12-27], Disponible en: <http://hdl.handle.net/11349/13972>
95. **VÁSQUEZ Zapata; et al.** “Metodología para determinar niveles de Eutrofización en ecosistemas acuáticos”. *ACCB Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas* [En línea]. 2015, (Colombia). vol. 1 (24). págs. 112-128. [Consulta: 2023-12-27], ISSN 2500-7459 Disponible en: <https://www.revistaaccb.org/r/index.php/accb/article/view/81>
96. **VENEROS, Jaris; et al.** Aplicación de sensores remotos para el análisis de cobertura vegetal y cuerpos de agua. *Idesia* [En línea]. 2020, (México). vol. 38 (4) págs. 99-107. [Consulta: 2024-01-23], ISSN 0718-3429. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292020000400099>
97. **VITERI Garcés; et al.** “Determinación de bioindicadores y protocolos de la calidad de agua en el embalse de la Central Hidroeléctrica Baba”. *Dominio de las Ciencias*, [En línea]. 2017, (Ecuador). vol. 3, (3) pág. 628-646. [Consulta: 2023-12-27] ISSN: 2477-8818. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6326670.pdf>
98. **VILLAMAR, Francisco & CRUZ, Manuel.** “Macrofauna bentónica en la zona intermareal y submareal en Caleta Aeolian, Isla Baltra (Galápagos, Ecuador)”. *Acta Oceanográfica del Pacífico*, [En línea]. 2007 (Ecuador) vol. 14 (1). págs. 139-145

[Consulta: 2023-12-27] Disponible en <http://hdl.handle.net/1834/2405>

99. **WILLIAMS, Gabriela Noemí.** Caracterización ambiental del golfo San Matías mediante sensores remotos y parámetros oceanográficos: relación con la distribución y abundancia de los recursos biológicos de interés pesqueros. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Tesis de Doctorado). Universidad Nacional del Comahue, Centro Regional Universitario Bariloche, Departamento de Postgrado – Doctorado en Biología. Argentina, 2017. pág. 6 [Consulta: 2023-12-27] Disponible en <http://rdi.uncoma.edu.ar/handle/uncomaid/174>

100. **YANG, H.; et al.** A Review on Ecosystem Health Research: A Visualization Based on CiteSpace. *Sustainability (Switzerland)*, [En línea]. vol. 11(18), pág. 4908 [Consulta: 2024-01-23]. ISSN 20711050. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/su11184908>

101. **ZALOCAR DE DOMITROVIC, Yolanda; et al.** *Factores que regulan la distribución y abundancia del perifíton en ambientes lenticos.* [En línea]. Argentina: RIMA 2013. ISBN 978-8576562931. [Consulta: 2023-12-27] Disponible en <http://repositorio.unne.edu.ar/handle/123456789/28491>

102. **ZAMBRANO, S. Croquer; et al.** “Factores globales y locales que inciden sobre la degradación de los arrecifes coralinos: Una revisión para la República Dominicana”. *AULA Revista de Humanidades y Ciencias Sociales*, [En línea]. 2022, (República Dominicana). vol. 68 (1), págs. 31-60 [Consulta: 2023-12-27] ISSN 0254-7597. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8931238>

103. **SORIA, Xavier; et al.** 2021. Water. Water. [En línea] 3 de Marzo de 2021. [Citado el: 23 de enero de 2023.] <file:///C:/Users/Home/Downloads/water-13-00686-v3.pdf>.

ANEXOS

ANEXO A: PREPARACIÓN DE MATERIALES PARA MUESTREO EN LA LAGUNA DE COLTA.



ANEXO B: SOCIALIZACIÓN DEL MUESTREO CON TÉCNICOS DEL GAD DEL CANTÓN COLTA SOBRE LOS SITIOS DE MUESTREO EN LA LAGUNA



ANEXO C: TOMA DE MUESTRAS DE AGUA PARA ANÁLISIS DE LABORATORIO



ANEXO D: MEDICIÓN DE TURBIDEZ MEDIANTE EL DISCO DE SECCHI



ANEXO E: RECOLECCIÓN DE DATOS AMBIENTALES IN SITU.





ANEXO F: TRANSPORTE DE EQUIPOS PARA REALIZAR EL MUESTREO.





ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA
NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO

Fecha de entrega: 07/ 03 / 2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR
Nombres – Apellidos: Enderson Ricardo Betancourt Burbano
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Recursos Naturales
Carrera: Recursos Naturales Renovables
Título a optar: Ingeniero en Recursos Naturales Renovables
 Ing. Carlos Arturo Jara Santillán Director del Trabajo de Integración Curricular
 Ing. Patricio Xavier Lozano Rodríguez Asesor del Trabajo de Integración Curricular