



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR  
ESCUELA DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PREVIO A LA  
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL**

**"DETERMINACIÓN DEL ESTADO TROFICO DE LA LAGUNA DE  
MOJANDA"**

**MATIAS ARENDS RIVADENEIRA**

**TUTORA: MORAIMA CRISTINA MERA AGUAS**

**IBARRA – ECUADOR**

**JUNIO, 2025**

Ibarra, 17 de julio de 2025

## CERTIFICACIÓN TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de integración curricular titulado: ***DETERMINACIÓN DEL ESTADO TROFICO DE LA LAGUNA DE MOJANDA*** presentado por el estudiante Matias Arends Rivadeneira con cédula de ciudadanía N°1004769756, para obtener el Título de ingeniero ambiental.

Certifico que el trabajo cumple con todos los parámetros establecidos, mediante el cual el estudiante demuestra el desarrollo de competencias en el campo de conocimiento de su profesión con un nivel de argumentación coherente, para ser sometido a la evaluación por parte de los lectores.

Adicionalmente, se adjunta el certificado de porcentaje de originalidad de TURNITIN.

### Tesis Matías Arends

---

#### INFORME DE ORIGINALIDAD

---

2%

INDICE DE SIMILITUD

1%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

1%

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE



Mgs. Moraima Mera

**TUTORA DE TRABAJO**

C.C.: 1001743721

## PÁGINA DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

El tribunal examinador, aprueba el presente trabajo en nombre de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Ibarra:



(f) .....

Mgs. Moraima Mera

C.C. 100174372-1



(f).....

MSc. Diego Mejía

C.C.: 100191296-1



(f).....


Mgs. Fernanda López

C.C.: 1002509600...

## ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS

Yo, *Matias Arends Rivadeneira*, declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 165 del Código Orgánico de Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, que manifiesta textualmente: “Se reconoce facultad de los autores y demás titulares de derechos de disponer de sus derechos o autorizar las utilidades de sus obras o prestaciones a título gratuito y oneroso, según las condiciones que determinen. Esta facultad podrá ejercerse mediante licencias libres, abiertas y otros modelos alternativos de licenciamiento o la renuncia”.

Ibarra, 17 de julio de 2025

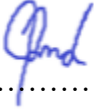
(f):   
\_\_\_\_\_

*Matias Arends Rivadeneira*

C.C.:1004769756

## AUTORIA

Yo, *Nombre del estudiante Matias Arends Rivadeneira*, portador de la cedula de ciudadanía N°1004769756, declaro que el presente trabajo de investigación es de total responsabilidad del autor, y eximo expresamente a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Ibarra de posibles reclamos o acciones legales.

(f).....  


*Matias Arends Rivadeneira*

C.C.: 1004769756

## **DEDICATORIA**

A mi familia, por su amor incondicional, por ser mi refugio en los momentos difíciles y mi impulso en cada logro.

A todas las personas que han creído en mí, por su confianza que me ha acompañado en este camino.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco profundamente a Dios por ser mi fortaleza, a mi familia por su paciencia, comprensión y constante apoyo durante todo este proceso, su presencia ha sido fundamental en cada paso del camino.

A mis docentes y tutores, por compartir su conocimiento, por guiarme con generosidad y exigencia, y por motivarme a dar siempre lo mejor de mí.

A mis amigos y colegas, por acompañarme en los momentos de incertidumbre, por las conversaciones sinceras y por recordarme que no estoy solo en este camino.

Y a todas las personas que, de una u otra forma, creyeron en mí y me brindaron su confianza: gracias por inspirarme a seguir adelante.

## ÍNDICE

CERTIFICACIÓN TUTOR.....	i
PÁGINA DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL .....	ii
ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS .....	iii
AUTORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO .....	vi
RESUMEN .....	1
ABSTRACT.....	2
CAPÍTULO I .....	3
INTRODUCCIÓN .....	3
CAPÍTULO II.....	5
OBJETIVOS .....	5
2.1. Objetivo general .....	5
2.2. Objetivos específicos.....	5
CAPÍTULO III.....	6
ESTADO DEL ARTE.....	6
3.1. Limnología.....	6
3.1.1. Definición.....	6
3.1.2. Eutrofización .....	6
3.1.3. Proceso de eutrofización .....	6

3.2. Relevancia de los recursos hídricos alto andinos .....	8
3.2.1. Sistema acuático lenticó .....	9
3.3. Medio físico.....	9
3.4. Geomorfología.....	9
3.5. Geología .....	10
3.6. Hidrogeología.....	10
CAPÍTULO IV.....	12
MATERIALES Y MÉTODOS.....	12
4.1. Materiales.....	13
4.2. Métodos.....	13
4.2.1. Ubicación geográfica.....	13
4.2.3. Recolección de muestras y mediciones <i>in situ</i> .....	17
Preparación del Instrumento .....	20
CAPÍTULO V.....	25
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	25
5.1. Caracterización Físico Química. Análisis <i>in situ</i> .....	25
5.2. Compuestos nitrogenados, fosfatos y clorofila .....	27
5.3. Determinación del estado Trófico de la laguna de Mojanda.....	36
PROPUESTA PARA EL CUIDADO DE LA LAGUNA .....	40
CAPÍTULO VI.....	46

CONCLUSIONES .....	46
CAPÍTULO VII .....	47
RECOMENDACIONES.....	47
CAPÍTULO VIII.....	48
BIBLIOGRAFÍA .....	48

## ÍNDICE DE TABLAS

Índice del estado trófico.....	8
Materiales para medición fisicoquímica y biológica. ....	13
Coordenadas geográficas de puntos de muestro. ....	15
Parámetros fisicoquímicos, métodos de recolección y límites de referencia para cuerpos de agua. .....	18
Promedios generales por punto de muestreo tomados in situ. ....	25
Cumplimiento de los promedios generales trimestrales tomadas in situ. ....	26
Promedio trimestral de amonio por puntos de muestreo. ....	27
Promedio trimestral de nitratos por puntos de muestreo. ....	29
Promedio trimestral de nitritos por puntos de muestreo. ....	30
Promedio trimestral de fosfatos por puntos de muestreo.....	32
Promedio trimestral de clorofila a por puntos de muestreo. ....	34
Cálculo del TSI por punto de muestreo. ....	37
Promedio mensual del TSI por punto. ....	37
Clase de impacto. ....	42
Temporalidad del impacto. ....	42
Criterios ambientales para evaluación de matriz de aspectos e impactos ambientales.....	43
Criterios de evaluación de aspectos e impactos ambientales.....	43
Matriz de plan de monitoreo ambiental. ....	44
Responsables de ejecución y coordinación.....	45

## ÍNDICE DE FIGURAS

Mapa Topográfico laguna de Mojanda .....	14
Puntos georreferenciados. ....	16
Concentración promedio trimestral de amonio por punto de muestreo. ....	28
Concentración promedio trimestral de nitratos por punto de muestreo. ....	29
Concentración promedio trimestral de nitritos por punto de muestreo.....	31
Concentración promedio trimestral de fosfatos por punto de muestreo. ....	32
Concentración promedio trimestral de clorofila a por punto de muestreo.....	34
Mapa de promedio trimestral del Índice del Estado trófico (TSI) por puntos de muestreo.....	38

## ÍNDICE DE ANEXOS

Toma de muestras en los diferentes puntos de la laguna. ....	56
Registro de laboratorio.....	57
Matriz de evaluación de significancia para los aspectos impactos.....	58
Matriz de evaluación de significancia para los aspectos impactos con residual .....	59
Análisis promediados por puntos de muestreo. ....	60
Factor de corrección para medición de clorofila a.....	63

## RESUMEN

La laguna de Mojanda constituye un ecosistema lacustre de gran relevancia ecológica, económica y turística en el Ecuador, su localización estratégica y sus funciones ambientales la convierten en una fuente esencial de servicios ecosistémicos, debido a factores externos antrópicos tales como el turismo descontrolado y el cambio climático se ha presentado leves alteraciones en la calidad del agua y en el equilibrio ecológico del sistema.

Este estudio de investigación se centra en determinar el estado trófico de la laguna con el fin de identificar las áreas más afectadas por la acumulación de nutrientes y la presencia de pigmentos fotosintéticos

Para llevar a cabo el presente análisis, se aplicó un método de muestreo compuesto, asegurando una cobertura representativa de la laguna tomando como referencia puntos clave tales como salida de agua, puntos de actividad antrópica y la zona más profunda de la laguna. Se recolectaron muestras en diversos puntos utilizando equipos especializados, y se evaluaron parámetros como la turbidez, concentraciones de fosfatos, nitratos, nitritos y amonio, niveles de oxígeno disuelto, la clorofila, entre otros.

Los resultados obtenidos revelaron que el agua de la laguna de Mojanda presenta un estado oligotrófico, según los cálculos realizados con el Índice de Estado Trófico de Carlson (IET). Este índice refleja niveles bajos de clorofila, moderadas concentraciones de fosfatos, aunque se resalta la necesidad de tomar medidas de manejo ambiental para preservar este importante recurso natural debido a que la laguna enfrenta amenazas por actividades humanas sin control.

**Palabras clave:** eutrofización, calidad de agua, estado trófico, laguna de Mojanda

## ABSTRACT

Mojanda Lagoon constitutes a lacustrine ecosystem of great ecological, economic, and touristic importance in Ecuador. Its strategic location and environmental functions make it an essential source of ecosystem services. Due to external anthropogenic factors such as uncontrolled tourism and climate change, slight alterations have occurred in the water quality and ecological balance of the system.

This research study focuses on determining the trophic state of the lagoon in order to identify the areas most affected by nutrient accumulation and the presence of photosynthetic pigments.

To carry out this analysis, a composite sampling method was applied, ensuring representative coverage of the lagoon by referencing key points such as the water outlet, areas of anthropogenic activity, and the deepest zone of the lagoon. Samples were collected from various strata using specialized equipment, and parameters such as turbidity, concentrations of phosphates, nitrates, nitrites, and ammonium, dissolved oxygen levels, and chlorophyll, among others, were evaluated.

The results revealed that the waters of Mojanda Lagoon exhibit an oligotrophic state, according to the calculations made using Carlson's Trophic State Index (TSI). This index reflects low chlorophyll levels and low phosphate concentrations, although it highlights the need to implement environmental management measures to preserve this important natural resource, as the lagoon faces threats from uncontrolled human activities.

**Keywords:** Eutrophication, water quality, trophic state, Mojanda Lagoon

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

Según Baran-Gurgul (2024), el ciclo hidrológico regula la disponibilidad de agua a nivel mundial mediante una serie de transformaciones en su estado y en sus características físicas, químicas, biológicas y microbiológicas. Estos procesos son fundamentales para la renovación natural y constante de los recursos hídricos en ecosistemas como ríos, lagos y océanos.

En este marco, la laguna de Mojanda, ubicada en la región andina del Ecuador, enfrenta una situación poco favorable debido a diversas amenazas que comprometen su equilibrio ambiental y la calidad de sus recursos hídricos (Cobos, 2017). Este sistema lacustre es clave para el abastecimiento de agua en cantones como Otavalo y Pedro Moncayo, pero actualmente se encuentra sometido a procesos de degradación que afectan directamente su funcionalidad ecológica, entre los factores que han contribuido al deterioro de este ecosistema se identifican el turismo descontrolado, la intervención de la cordillera vegetal y la construcción de vías sin planificación técnica. Estas actividades han generado erosión del suelo, pérdida de cobertura vegetal y contaminación del agua. La calidad hídrica es especialmente vulnerable, ya que pequeñas alteraciones en el entorno pueden tener un impacto significativo sobre los servicios ecosistémicos y la biodiversidad de la laguna (Ruiz Azurduy S. A., 2017).

La combinación de estos factores, sumada a una débil aplicación de las normativas ambientales y a la falta de coordinación entre los actores involucrados, representa una seria amenaza para los servicios clave que ofrece la laguna, como la regulación hídrica y el almacenamiento de carbono.

En este contexto, se vuelve indispensable desarrollar acciones integrales y articuladas que permitan mitigar estas amenazas y promover la sostenibilidad del ecosistema a largo plazo. Tal como lo señala Peñaherrera (2023), es urgente implementar estrategias basadas en evidencia científica y en participación local que garanticen la conservación de los recursos naturales de Mojanda.

Por lo tanto, esta investigación adquiere relevancia al enfocarse en la determinación del estado trófico de la laguna de Mojanda, como un paso clave para comprender su nivel de eutrofización y evaluar el impacto que las actividades humanas han generado en la calidad del agua. La información obtenida permitirá establecer una base técnica sólida para la toma de

decisiones ambientales, el diseño de planes de manejo y la generación de políticas públicas orientadas a la restauración y conservación de este ecosistema estratégico.

## **CAPÍTULO II**

### **OBJETIVOS**

#### **2.1. Objetivo general**

Evaluar el estado actual de eutrofización de la laguna de Mojanda para el análisis de su evolución.

#### **2.2. Objetivos específicos**

- Determinar los parámetros físicos-químicos y biológicos en base al protocolo de monitoreo propuesto.
- Establecer los puntos de muestreo de la laguna en donde se recogerán las muestras para obtener y tabular los datos sobre el avance de la eutrofización de la laguna de Mojanda.
- Presentar una propuesta del cuidado del agua de la laguna en base a los datos obtenidos para prevenir y remediar el avance de la eutrofización.

## **CAPÍTULO III**

### **ESTADO DEL ARTE**

#### **3.1. Limnología**

##### **3.1.1. Definición**

La limnología es la ciencia que estudia las aguas dulces o epicontinentales, abarcando tanto los sistemas lóticos como ríos como los lénticos como lagunas, y analiza las interacciones físicas, químicas, biológicas y ecológicas en estos ecosistemas. (Banderas, 1996) En la Laguna de Mojanda, un cuerpo de agua altoandino, esta disciplina permite entender la dinámica de sus comunidades acuáticas, los ciclos biogeoquímicos de nutrientes, y los impactos ambientales, facilitando su manejo sostenible y preservación como recurso natural valioso para las comunidades locales (Maynaguez Lloré Erika Fernanda, 2019)

##### **3.1.2. Eutrofización**

La eutrofización se define como el proceso por el cual un cuerpo de agua, como lagos y lagunas, experimenta un aumento excesivo de nutrientes, especialmente nitrógeno y fósforo, lo que conduce a un incremento de la biomasa Fito planctónica, principalmente cianobacterias. (Cuellar Arancibia, 2017) Este fenómeno es causado por factores como la escorrentía y el aporte de nutrientes de origen alóctono, lo que altera los ciclos biogeoquímicos y afecta la biodiversidad acuática. Como resultado, se produce una disminución de oxígeno disuelto, la merma en la diversidad biológica y la degradación de la calidad ambiental del ecosistema acuático (Mühlhauser, 1987)

##### **3.1.3. Proceso de eutrofización**

Cabezas (2023) señala que el proceso de eutrofización es el fenómeno mediante el cual un cuerpo de agua experimenta un incremento acelerado en la concentración de nutrientes, como nitrógeno y fósforo, lo que provoca el crecimiento descontrolado de fitoplancton, especialmente cianobacterias. Este fenómeno se intensifica por el constante aporte de nutrientes al sistema acuático, tanto de origen natural como antrópico.

En el caso de las lagunas altoandinas, como Mojanda, la eutrofización representa una preocupación ambiental creciente, factores como la expansión de actividades humanas, el calentamiento global y el turismo descontrolado han generado procesos de erosión del suelo, pérdida de cobertura vegetal y contaminación del agua, lo que agrava aún más el deterioro del ecosistema acuático.

El estado trófico de un lago es una medida que permite evaluar su nivel de eutrofización. Este estado describe la cantidad de materia orgánica y nutrientes presentes en el cuerpo de agua, clasificándolo comúnmente en tres categorías: oligotrófico (bajo nivel de nutrientes y alta calidad del agua), mesotrófico (nivel intermedio) y eutrófico (alto nivel de nutrientes y baja calidad del agua).

Para determinar el estado trófico, se utilizan índices tróficos que combinan diversos parámetros fisicoquímicos y biológicos. Uno de los métodos más utilizados es el Índice del Estado Trófico (TSI) desarrollado por Carlson (1977), que se basa principalmente en tres variables:

Concentración de clorofila-a, que indica la biomasa del fitoplancton.

Transparencia del agua medida con disco de Secchi, que refleja la cantidad de partículas y organismos suspendidos.

Concentración de fósforo total, como nutriente limitante clave.

El cálculo del TSI se realiza calculando para cada uno de estos parámetros:

$$\text{TSI Clorofila a} = 9.81 \times \ln (\text{Cl-a}) + 30.6$$

$$\text{TSI Fósforo} = 14.42 \times \ln (p \times 1000) + 4.15$$

$$\text{TSI Secchi} = 60 - 14.41 \times \ln (\text{Secchi})$$

y el resultado permite ubicar al cuerpo de agua en un espectro trófico

Evaluar el estado trófico de lagunas como Mojanda no solo permite diagnosticar su condición actual, sino que es esencial para diseñar políticas de manejo y conservación, establecer límites de carga de nutrientes, y prevenir la pérdida de biodiversidad y servicios ecosistémicos.

**TABLA 1.***Índice del estado trófico*

<b>Estado Trófico</b>	<b>TSI</b>	<b>Características</b>
Oligotrófico	0 - 40	Agua clara, baja productividad.
Mesotrófico	41 - 50	Moderada productividad.
Eutrófico	51 - 70	Alta productividad, posible proliferación de algas.
Hipertrófico	>70	Altísima productividad, severa eutrofización.

*Nota.* El índice del estado trófico permite clasificar ecosistemas acuáticos según su nivel de productividad biológica, el cual se estima mediante la concentración de clorofila-a, fósforo total y transparencia del agua (Disco Secchi), conforme a la metodología de Carlson (1977).

### **3.2. Relevancia de los recursos hídricos alto andinos**

Los recursos hídricos altoandinos, especialmente los provenientes de los páramos, desempeñan un papel fundamental en el abastecimiento de agua para los ecosistemas y las poblaciones en las zonas bajas. Según Viviroli (2007), los páramos son una fuente clave de recursos hídricos, destacando su capacidad de almacenamiento, regulación y producción sostenible de agua, gracias a la alta humedad superior al 90 % y a la baja evapotranspiración (Morocho, 2019), estos ecosistemas no solo proveen agua de calidad para las regiones costeras y la cuenca del Amazonas, sino que también actúan como reguladores al retener el agua de las precipitaciones y el descongelamiento de nieve (López, 2017). Además, la alta acumulación de materia orgánica y la morfología de sus plantas permiten que los páramos regulen eficazmente el ciclo hidrológico, lo que constituye una fuente confiable de agua a lo largo del año (Criollo Guallpa, 2023). Por ello, los recursos hídricos altoandinos son vitales para garantizar el suministro de agua para la población ecuatoriana y el mantenimiento de sus ecosistemas.

### **3.2.1. Sistema acuático léntico**

Un sistema léntico se define como un ecosistema acuático caracterizado por la presencia de aguas estancadas o con movimientos muy lentos, como lagos, lagunas, estanques y embalses. (Ministerio Para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, s.f.) Estos entornos poseen una alta diversidad biológica debido a su estabilidad hidrológica y la heterogeneidad de los microhábitats que ofrecen para la colonización y el desarrollo de distintas especies. Según García (2016), los sistemas lénticos proporcionan un escenario único para la interacción de diversos taxones y ciclos biológicos, facilitando procesos de adaptación y evolución en respuesta a las características específicas del entorno. Estos ecosistemas se distinguen por su capacidad para albergar especies tanto en sus columnas de agua como en sus márgenes, donde se encuentran zonas con alta disponibilidad de recursos y condiciones propicias para el desarrollo biológico.

### **3.3. Medio físico**

La laguna grande de Mojanda se encuentra en la Sierra Norte de Ecuador, entre las provincias de Imbabura y Pichincha, cerca de las ciudades de Otavalo y Tabacundo. Está aproximadamente a 17 kilómetros de Otavalo y a unos 3,700 metros sobre el nivel del mar. (González, 2018) La laguna es parte de un conjunto de tres lagunas en la zona, siendo la más grande y conocida la Laguna Grande, mientras que las otras dos son Karicocha y Yanacochoa, Como muchos ecosistemas de alta montaña, está influenciado por factores climáticos, geológicos y antrópicos, que afectan su calidad de agua y su estado trófico (EDUARDO CUALCHI, 2017)

### **3.4. Geomorfología**

Según (Calderón Chérrez, 2018) El páramo de Mojanda se caracteriza por una geomorfología compleja, resultado de procesos geológicos y climáticos que han modelado su superficie, este ecosistema incluye colinas, depresiones, riachuelos, lagunas y crestas, que conforman un paisaje diverso y de gran valor escénico. Las pendientes pronunciadas y zonas deglaciadas contribuyen a la variabilidad de los suelos, predominando los Andosoles, que reflejan suelos inmaduros con características volcánicas recientes. Este entorno también es influenciado por turberas que actúan como reguladores bioquímicos, almacenando grandes cantidades de

carbono orgánico debido a las bajas temperaturas que limitan la descomposición de la materia orgánica.

### **3.5. Geología**

En la investigación sobre los suelos de los páramos del Ecuador (Calispa M. V., 2023) determina que la geología de los páramos ecuatorianos está estrechamente ligada a la actividad volcánica de los andes, lo que ha dado lugar a suelos únicos como los andosoles, originados a partir de cenizas volcánicas, estos suelos poseen características ándicas que incluyen alta capacidad de retención de agua, baja densidad y una estructura mineralógica rica en alófano e imogolita. En términos espaciotemporales, los suelos de la región norte y centro-norte, como los de Imbabura, son rejuvenecidos continuamente por la deposición de material volcánico fresco, mientras que los suelos del sur son más maduros debido a la ausencia de actividad volcánica reciente (Calispa M. V.-V., 2023)

### **3.6. Hidrogeología**

El páramo de Mojanda presenta un clima tropical de alta montaña caracterizado por una baja variabilidad estacional en la temperatura media debido a su proximidad a la línea ecuatorial. Las temperaturas muestran un marcado ciclo diario, con fluctuaciones de más de 20 °C entre el día y la noche (Beltrán, 2009). La precipitación anual es moderada, variando entre 700 y 3000 mm, aunque su distribución es altamente variable tanto en espacio como en tiempo, predominando lluvias ligeras y constantes. (Buytaert, 2006) estas condiciones están influenciadas por la topografía accidentada, la altitud y los gradientes latitudinales, por ejemplo, las laderas orientales que descienden hacia la Amazonía presentan mayores precipitaciones debido al efecto orográfico, mientras que las laderas occidentales muestran un pico de lluvias entre los 2000 y 2500 m, a pesar de las bajas temperaturas nocturnas, las heladas son poco frecuentes por debajo de los 4000 m, restringiéndose a breves momentos antes del amanecer, la alta nubosidad y humedad relativa en días lluviosos reducen las amplitudes térmicas diarias, mientras que días secos tienen el efecto opuesto, en el caso del páramo de Mojanda, estas características lo

convierten en un ecosistema clave para la regulación hídrica, aunque también lo hacen vulnerable frente a cambios climáticos y actividades humanas (Buytaert, 2006)

## CAPÍTULO IV

### MATERIALES Y MÉTODOS

Para llevar a cabo este estudio se utilizaron métodos limnológicos aceptados, combinando equipos especializados con un diseño de muestreo representativo que permitió caracterizar el estado trófico de los puntos georreferenciados de la laguna de Mojanda, el muestreo se realizó considerando tanto factores morfológicos del cuerpo de agua como zonas de presión antrópica, siguiendo los lineamientos establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013), la cual describe técnicas adecuadas de muestreo en cuerpos de agua naturales.

Se seleccionaron cinco puntos de muestreo georreferenciados, distribuidos estratégicamente en la laguna, en los cuales se recolectaron muestras a tres profundidades 1, 3 y 5 metros durante tres meses distintos febrero, abril y mayo. Esta metodología permitió capturar variaciones temporales y espaciales en las condiciones del ecosistema.

Los parámetros analizados incluyeron nutrientes como nitratos, nitritos, amonio y fosfatos, así como clorofila-a, oxígeno disuelto, pH, temperatura, conductividad eléctrica y transparencia. Para ello se utilizaron técnicas basadas en los métodos estándar del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2017) junto con protocolos comerciales certificados de la empresa HACH Company (2015).

La información obtenida permitió calcular el índice de estado trófico (TSI), según el modelo propuesto por Carlson (1977), integrando variables ópticas, químicas y biológicas, y brindando una evaluación integral sobre el nivel de eutrofización presente en la laguna durante el periodo de estudio.

## 4.1. Materiales

**TABLA 2.**

*Materiales para medición fisicoquímica y biológica*

<b>Equipo</b>	<b>Marca</b>	<b>Modelo</b>
Multiparámetro	HANNA	HI98194
Espectrofotómetro	HACH	DR 3900
Equipo de filtrado al vacío	Duran	DURAN WHEATON KIMBLE
Disco Secchi	Field Master	Estándar

*Nota.* Los equipos listados fueron seleccionados por su precisión y uso frecuente en estudios limnológicos, la combinación de estos instrumentos permitió realizar una caracterización integral de las condiciones de la laguna de Mojanda.

### **Materiales**

- Vasos de precipitación
- Morteros
- Frascos Boeco 500 ml
- Membranas millipore
- Embudos
- Probetas

### **Reactivos**

- Acetona al 90%

## 4.2. Métodos

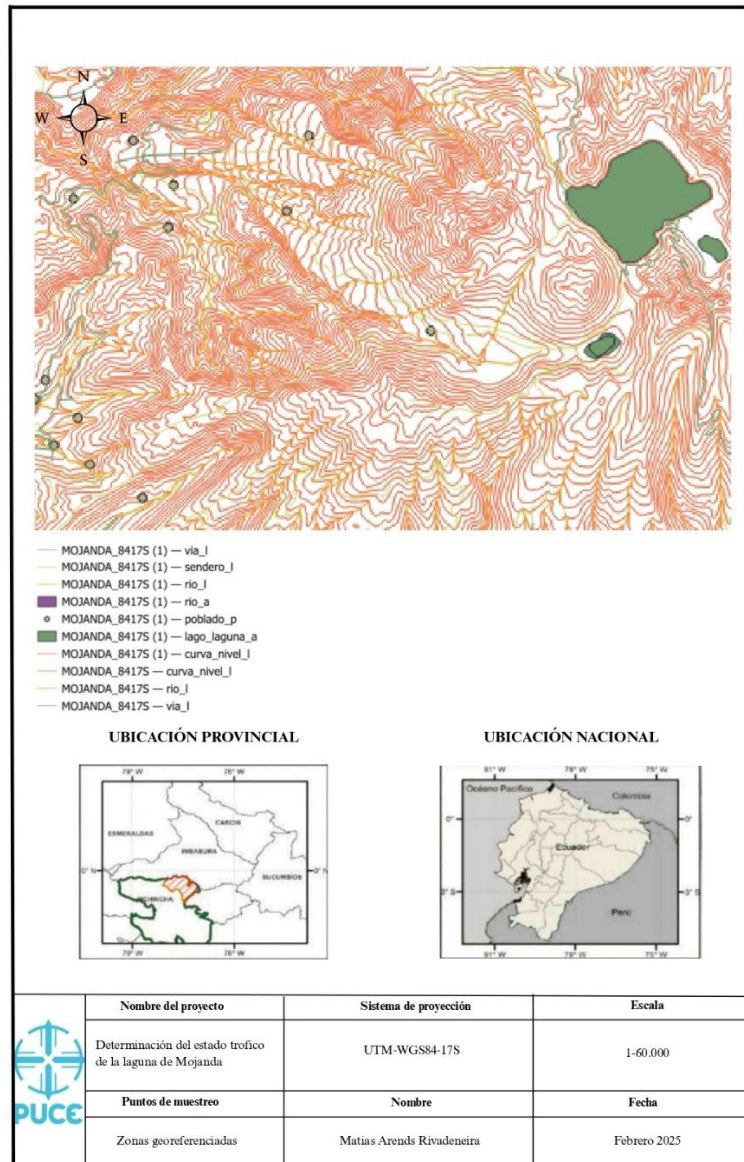
### 4.2.1. Ubicación geográfica

Para tener una amplia cobertura de la laguna se realizó un método compuesto en el que se tomaron cinco puntos importantes referenciados geográficamente con GPS, para el análisis, se partió de la morfología de esta y tomando cercanía a factores antrópicos, la laguna de Mojanda es

un cuerpo de agua con una profundidad máxima registrada de aproximadamente 80 metros en su zona central, aunque este valor puede fluctuar a lo largo del año debido a factores como la evaporación y la precipitación. Estos cambios en el nivel del agua, junto con su morfometría, influyen en la estratificación térmica y en la distribución de nutrientes dentro del ecosistema acuático, dicha variabilidad es clave para evaluar el estado trófico de la laguna (Cruz, 2017)

**FIGURA 1**

*Mapa Topográfico laguna de Mojanda*



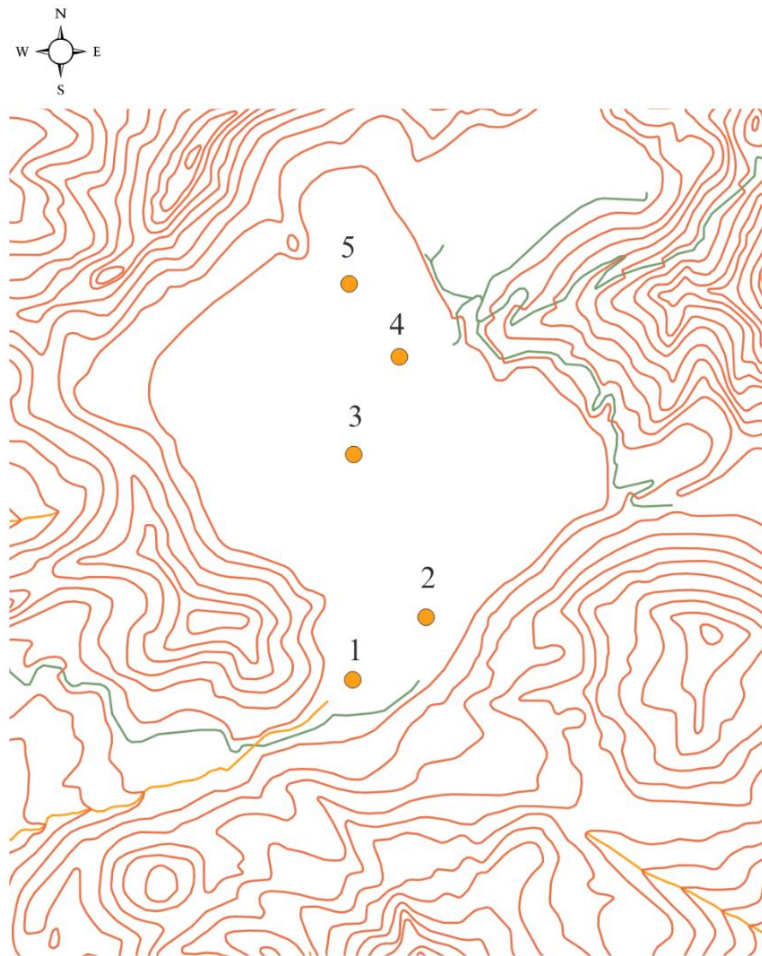
**TABLA 3.***Coordenadas geográficas de puntos de muestro*


Punto	X (UTM)	Y (UTM)
1	803112.00 m E	10015335.00 m N
2	803414.00 m E	10014981.00 m N
3	804199.00 m E	10015330.00 m N
4	805022.00 m E	10015352.00 m N
5	804670.00 m E	10015110.00 m N

*Nota.* Las coordenadas UTM corresponden a los cinco puntos de muestreo establecidos en la laguna de Mojanda, seleccionados estratégicamente en función de criterios hidrológicos y antrópicos: zonas de entrada/salida de agua, áreas de mayor actividad turística y el centro de mayor profundidad.

## FIGURA 2.

### *Puntos georreferenciados*



	Nombre del proyecto	Plano	Fecha
	Determinación del estado trófico de la laguna de Mojanda	Plano de ubicación	Febrero 2025
	Puntos de muestreo	Matias Arends Rivadeneira	

*Nota.* se definieron cinco estaciones georreferenciadas, con recolección de muestras a diferentes profundidades y en tres momentos del año (febrero, abril y mayo). Este diseño permitió integrar variaciones temporales y espaciales en la caracterización limnológica

Según La Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2176:2013, titulada "Agua. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo", define y describe las muestras compuestas de la siguiente manera: Una muestra compuesta se obtiene al combinar dos o más submuestras en proporciones conocidas, basadas en mediciones de tiempo y flujo, con el objetivo de obtener un valor promedio de una característica del agua. Es especialmente útil cuando el flujo es uniforme, los parámetros son relativamente constantes o se busca evaluar la carga contaminante total en un período determinado. Su uso permite representar variaciones temporales o espaciales en la calidad del agua, pero requiere garantizar que las submuestras sean representativas y considerar la estabilidad de los parámetros analizados, ya que algunos pueden necesitar análisis inmediatos o conservación específica (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013)

Para llevar a cabo el análisis, se aplicó un método de muestreo compuesto, asegurando una cobertura representativa de la laguna tomando como referencia puntos clave tales como salida de agua, puntos de actividad antrópica como turismo y zona más profunda de la laguna. Por cada punto se recolectaron muestras a tres profundidades de 1, 3 y 5 metros de profundidad utilizando equipos especializados, y se evaluaron parámetros los siguientes parámetros: Nitratos, Nitritos, fosfatos, Amonio, Clorofila a, Oxígeno disuelto, pH, Conductividad eléctrica, Temperatura y Transparencia.

El muestreo se realizó en tres momentos específicos del año: febrero, abril y mayo, lo cual permitió incorporar variabilidad temporal en las condiciones limnológicas del sistema, estas fechas comprenden parcialmente la época lluviosa de la región andina ecuatoriana, lo que facilita el análisis de la influencia de escorrentías, cargas externas de nutrientes y cambios en el régimen hídrico sobre el estado trófico del cuerpo de agua, la elección de este diseño de muestreo responde a la necesidad de caracterizar el estado trófico de manera representativa y temporalmente comparativa, considerando tanto las condiciones de presión antrópica como los factores naturales del ecosistema.

#### **4.2.3. Recolección de muestras y mediciones *in situ***

La localización exacta del punto de muestreo fue registrada mediante un dispositivo GPS Garmin MAP 64S, cuyos datos georreferenciados fueron consignados en la ficha de campo correspondiente. De acuerdo con la Norma Técnica INEN 2 167:2013, que establece los

lineamientos para el muestreo compuesto en cuerpos de agua, se adoptaron medidas estrictas para evitar la contaminación cruzada, en este sentido, los frascos de muestreo tipo Boeco de 500 ml fueron previamente enjuagados tres veces con agua de la misma laguna antes de recolectar las muestras, asegurando la representatividad e integridad de estas ( Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN), 2013).

La recolección del agua se realizó a diferentes profundidades 1, 3 y 5 metros, empleando un muestreador Van Dorn, con el objetivo de obtener un perfil vertical representativo de la columna de agua. Posteriormente, las muestras obtenidas en cada nivel fueron homogenizadas para formar una muestra compuesta, siguiendo los principios establecidos en la normativa técnica antes mencionada. Esta metodología permite minimizar la variabilidad espacial y obtener resultados más confiables para el análisis fisicoquímico.

Las muestras homogenizadas fueron depositadas en recipientes debidamente rotulados y conservadas inmediatamente en una hielera a una temperatura aproximada de 4 °C, conforme a las recomendaciones de preservación de muestras descritas por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (U.S. Environmental Protection Agency, 2007), esto garantiza la estabilidad de los parámetros hasta su análisis en laboratorio.

Para la medición in situ de parámetros tales como: temperatura, pH, oxígeno disuelto, transparencia y conductividad eléctrica, se utilizó una submuestra del agua homogenizada. Las sondas multiparamétricas fueron sumergidas en esta submuestra durante aproximadamente tres minutos, hasta alcanzar la estabilización de los valores registrados, lo cual es un criterio estándar en monitoreos ambientales para asegurar lecturas precisas (APHA, 2017).

**TABLA 4.***Parámetros fisicoquímicos, métodos de recolección y límites de referencia para cuerpos de agua*

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Método de recolección</b>	<b>Límite</b>
Conductividad eléctrica	μS/cm	Sonda multiparamétrica (in situ)	10 a 150 μS/cm
Oxígeno disuelto	mg/L	Sonda multiparamétrica (in situ)	≥ 5 mg/L
pH	—	Sonda multiparamétrica (in situ)	6.9 – 9.0
Temperatura	°C	Sonda multiparamétrica (in situ)	4 °C y 15 °C
Disco Secchi (transparencia)	m	Medición visual con disco Secchi	≥ 5.0 m
Clorofila-a	μg/L	Muestra filtrada, extracción con acetona al 90%	< 5 (oligotrófico)

*Nota.* Los valores de límites y métodos de recolección se basan en las recomendaciones del *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2017) y en el índice de Carlson para el índice trófico (Carlson, 1977).

### **- Determinación Nitratos $\text{NO}_3^-$**

La determinación de nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) se realizó mediante un método colorimétrico comercial, utilizando el reactivo NitraVer 5 y el espectrofotómetro HACH DR 3900, conforme a los procedimientos establecidos por el fabricante (HACH, 2015). Este método está basado en los principios colorimétricos aceptados por normativas internacionales para análisis de aguas (HACH Company, 2015).

#### **Preparación del Instrumento**

Se encendió el espectrofotómetro DR 3900 y se esperó a que completara su autodiagnóstico, se seleccionó el programa correspondiente al método de nitrato el cual fue N Nitrato RA PP, adecuado para el rango de 30.0 mg/L, utilizando el reactivo NitraVer 5 para la determinación de nitratos la longitud de onda fue de 500 nm.

#### **Preparación de la Muestra**

Se añadió agua destilada una cubeta cuadrada para preparar el blanco, en otra cubeta se agregaron 10 ml de la muestra con el reactivo para nitrato. Se dejó reposar durante 10 minutos para permitir el desarrollo del color.

#### **Medición**

Para la medición se hizo la lectura primero con el blanco para encerrar el espectrofotómetro y después se procedió hacer la lectura con las muestras de la laguna. el valor final se mostró en mg/L de  $\text{NO}_3$

### **- Determinación Nitritos ( $\text{NO}_2^-$ )**

Este método es un procedimiento colorimétrico comercial desarrollado por HACH Company, basado en una reacción química donde el reactivo NitriVer 3 reacciona con los iones nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) en la muestra, formando un compuesto de color rosado cuya intensidad es proporcional a la concentración de nitritos.

La absorbancia se mide con un espectrofotómetro a 507 nm, lo que permite cuantificar los nitritos en la muestra de agua, expresados en mg/L de  $\text{NO}_2^-$  (HACH Company, 2015)

### **Preparación del Instrumento**

Se encendió el espectrofotómetro DR 3900 y se esperó a que finalizara su autodiagnóstico. Se seleccionó el programa correspondiente al método de nitrito, N Nitrito RB AV adecuado para el rango de 0,300 mg/L, utilizando el reactivo NitriVer 3, para la determinación de nitritos la longitud de onda fue de 507 nm

### **Preparación de la Muestra y del Blanco**

Se añadió agua destilada en una celda redonda para preparar el blanco, en otra celda se agregaron 10 mL de muestra junto con reactivo, se dejó reposar durante 15 minutos hasta que adquirió un color rosa.

### **Medición**

Se encendió el instrumento utilizando la celda de agua destilada, una vez realizado el ajuste, se retiró el tubo del blanco y se colocó el tubo de la muestra con reactivo. Se presionó el botón de lectura para obtener el resultado. El valor obtenido se mostró en mg/L de  $\text{NO}_2$

### **- Determinación de Amonio ( $\text{NH}_4^+$ )**

Método colorimétrico con reactivo salicilato de amonio, utilizando espectrofotometría a 655 nm. Este procedimiento corresponde al método HACH 10205, el cual se basa en una reacción de formación de complejo verde azulado entre el amonio y el salicilato en medio alcalino (HACH Company, 2015)

### **Preparación del Instrumento**

Se procedió a encender el espectrofotómetro DR 3900 y se esperó que complete su autodiagnóstico. Se seleccionó el programa correspondiente N Amoniacal Salic, adecuado para el rango de 0,50 mg/L utilizando el reactivo salicilato de amoniaco, para la determinación de amoniaco la longitud de onda fue de 655 nm

### **Preparación de la Muestra y del Blanco**

Se agregó agua destilada en una cubeta cuadrada para asegurar el blanco en muestra. Se añadió 10 ml muestra junto con el reactivo y se esperó 20 minutos para la lectura

### **Medición**

Se ajustó a cero el instrumento con el blanco de agua destilada, una vez encendido se quitó el blanco y se colocó la muestra con el reactivo para medición

El resultado se mostró en mg/L de NH<sub>3</sub>.

### **- Determinación fosfatos PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>**

Método colorimétrico con reactivo PhosVer 3 (ácido ascórbico), basado en la formación de un complejo azul molibdeno-fosfato. Este procedimiento corresponde al método HACH 8048, ampliamente utilizado para determinar fosfato reactivo soluble en muestras de agua (HACH Company, 2015).

### **Preparación del Instrumento**

Se encendió el DR 3900 espectrofotómetro y se aguardó mientras realizaba su autodiagnóstico. Se seleccionó el programa correspondiente P react. PV AV, adecuado para el rango de 2,50 mg/L, utilizando el reactivo Phosver 3, para la determinación de onda de fosfato la longitud de onda fue de 880 nm.

### **Preparación de la Muestra y del Blanco**

Se agregó agua destilada cubeta redonda para establecer el blanco, en otra cubeta se colocaron 5 mL de la muestra y se añadió el reactivo, se agitó suavemente y se dejó reposar durante 10 minutos para permitir el desarrollo del color.

### **Medición**

Se encendió la muestra utilizando la cubeta con agua destilada, luego se introdujo la muestra con el reactivo en la celda del espectrofotómetro para realizar la lectura, el resultado se expresó en mg/L de PO<sub>4</sub>

## **- Determinación Clorofila a**

Se utilizó la extracción con acetona al 90 % para la cuantificación de clorofila-a, siguiendo las recomendaciones del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (American Public Health Association; American Water Works Association; Water Environment Federation, 2017). El procedimiento se desarrolló en las siguientes fases:

### **Filtración de la muestra**

Se filtró por muestra un volumen conocido de agua de 500 mL, usando filtros de fibra y una bomba de vacío, el filtro se dobló cuidadosamente y se colocó en un tubo de ensayo

### **Extracción del pigmento**

A cada tubo con filtro se le añadieron 10 mL de acetona al 90 % previamente enfriada. Los tubos se almacenaron en la refrigeradora a 4 °C durante 12 horas para permitir la extracción del pigmento.

### **Centrifugación**

Tras el periodo de extracción, las muestras se centrifugaron en un vortex durante 15 minutos, el filtro se recogió con cuidado

### **Lectura espectrofotométrica**

El extracto se analizó en un espectrofotómetro midiendo la absorbancia a 664 nm clorofila-a, también se realizó una lectura a 750 nm para corregir posibles interferencias por turbidez, este valor fue restado de la lectura principal y se prosiguió a aplicar la fórmula para determinar la clorofila a en microgramos sobre litro.

### *Concentración de clorofila-a*

$$\text{Clorofila-a } (\mu\text{g/L}) = (A_{\text{corr}} \times 10000) / 5.8$$

Donde:

10000: Factor que incorpora volumen de extracción, volumen filtrado y longitud de celda óptica.

5.8: Coeficiente de extinción, específico para clorofila a en acetona al 90%

A corr: 750-664

Los datos obtenidos durante la campaña de muestreo en la laguna de Mojanda fueron procesados utilizando Microsoft Excel, se calcularon promedios trimestrales para los parámetros fisicoquímicos medidos in situ, además, se estimaron los índices tróficos (TSI) mediante las fórmulas propuestas por Carlson (1977), considerando clorofila-a, fosfatos y transparencia (disco Secchi).

Para el análisis comparativo entre los distintos puntos de muestreo, se utilizaron herramientas de representación gráfica, lo que permitió visualizar tendencias espaciales de los valores de TSI y evaluar la heterogeneidad local del estado trófico en la laguna. Asimismo, los datos fueron organizados en tablas que permitieron contrastar los valores obtenidos con los límites permisibles establecidos por normativas ambientales nacionales, facilitando el juicio de cumplimiento.

## CAPÍTULO V

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La evaluación de la calidad del agua en la laguna se basó en el análisis de parámetros fisicoquímicos e indicadores tróficos, obtenidos mediante muestreos trimestrales en distintos puntos georreferenciados. Los resultados incluyen tanto mediciones in situ como concentraciones de nutrientes disueltos y clorofila-a, los cuales son clave para determinar el estado trófico del ecosistema. La información se presenta en forma de tablas y figuras, destacando los promedios por parámetro, su comparación con los límites permisibles establecidos por la normativa ecuatoriana y estándares ecológicos de referencia. Este enfoque permite interpretar la condición actual del cuerpo de agua, identificando posibles alteraciones de origen natural o antrópico, así como evaluar su grado de conservación y la presencia de presiones externas que pudieran influir en su dinámica ecológica.

#### 5.1. Caracterización Físico Química. Análisis in situ

**TABLA 5.**

*Promedios generales por punto de muestreo tomados in situ*

Puntos de muestreo	pH	OD (%)	CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	Disco Secchi (m)
Punto 1	8,64	26,83	37,33	12,12	4,33
Punto 2	8,05	41,43	36,33	12,06	4,67
Punto 3	8,53	43,33	36,33	12,09	4,67
Punto 4	8,49	52,07	34	12,28	4,33
Punto 5	7,68	45,87	36,67	12,14	4,67

*Nota.* Los datos presentados corresponden a los promedios trimestrales de parámetros fisicoquímicos medidos in situ en cinco puntos de muestreo de la laguna Mojanda.

**TABLA 6.***Cumplimiento de los promedios trimestrales tomadas in situ*

Parámetro	Promedio	Unidades	Límites permisibles	Cumplimiento
pH	8.28		6.5 – 9	Cumple
Oxígeno disuelto	41.91	%	>80% saturación	No cumple
Conductividad eléctrica	36.13	μS/cm	< 100 μS/cm	Cumple
Temperatura agua	12.14	°C	< 40	Cumple
Profundidad disco Secchi	4.53	m	> 4 m	Cumple

*Nota.* La tabla presenta los valores promedio trimestrales de parámetros fisicoquímicos medidos in situ en la laguna, se observa que todos los parámetros cumplen a excepción del oxígeno disuelto con los límites de referencia establecidos para cuerpos de agua dulce.

La caracterización in situ de parámetros como pH = 8.28, oxígeno, conductividad eléctrica = 36.13 μS/cm, temperatura = 12 °C y transparencia con disco Secchi > 4 m en los puntos de muestreo evidencian condiciones fisicoquímicas relativamente estables propias de sistemas lacustres altoandinos, investigaciones anteriores coinciden con índices bajos de los mismos parámetros (Oña Loachamin, 2017), quien tras realizar muestreos en mayo y junio en las lagunas Caricocha, Huarmicocha, Yanacocha y Chiri Yacu registraron rangos de pH entre 7.8 y 8.3, conductividades cercanas a 35 μS/cm, temperaturas entre 5 y 15 °C y alta transparencia del agua, sin embargo, el valor de oxígeno disuelto medido, correspondiente a 41.91 % de saturación, representa una desviación importante respecto a los estándares de calidad ambiental, según la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos USEPA, (1986), se considera que ecosistemas saludables deben mantener una saturación de oxígeno disuelto mayor al 80 %, aunque el lagunas altoandinas es normal presenciar bajos niveles de oxígeno disuelto valores inferiores a este umbral pueden estar influenciada por condiciones propias de la época lluviosa, como el arrastre de materia orgánica y sedimentos a través de escorrentías superficiales, lo que incrementa la demanda bioquímica de oxígeno

## 5.2. Compuestos nitrogenados, fosfatos y clorofila

Los compuestos nitrogenados como el amonio, los nitratos y los nitritos, son indicadores clave en el diagnóstico limnológico de ecosistemas lénticos, dado que su presencia está directamente relacionada con la dinámica trófica y la presión antrópica sobre el sistema, estos nutrientes, al encontrarse en concentraciones elevadas, pueden estimular procesos de eutrofización, provocar desequilibrios en las cadenas tróficas acuáticas y alterar la disponibilidad de oxígeno disuelto debido al crecimiento excesivo de fitoplancton.

La evaluación de estos parámetros permite identificar fuentes puntuales y difusas de contaminación o acumulación de materia orgánica en descomposición. Desde el enfoque limnológico, el amonio constituye una forma de nitrógeno reducido que puede indicar procesos de descomposición orgánica activa, mientras que los nitratos y nitritos reflejan etapas más avanzadas del ciclo del nitrógeno, asociados a procesos de nitrificación.

En este apartado se presentan los resultados promedio trimestrales por punto de muestreo para los compuestos derivados de nitrógeno, obtenidos mediante técnicas colorimétricas específicas validadas en laboratorio, los datos se contrastan con los límites ecológicos referenciales para cuerpos de agua dulce altoandinos, permitiendo interpretar los patrones espaciales y temporales del aporte de nutrientes inorgánicos a la laguna de Mojanda, así como identificar zonas con mayor susceptibilidad al deterioro de la calidad del agua.

**TABLA 7.**

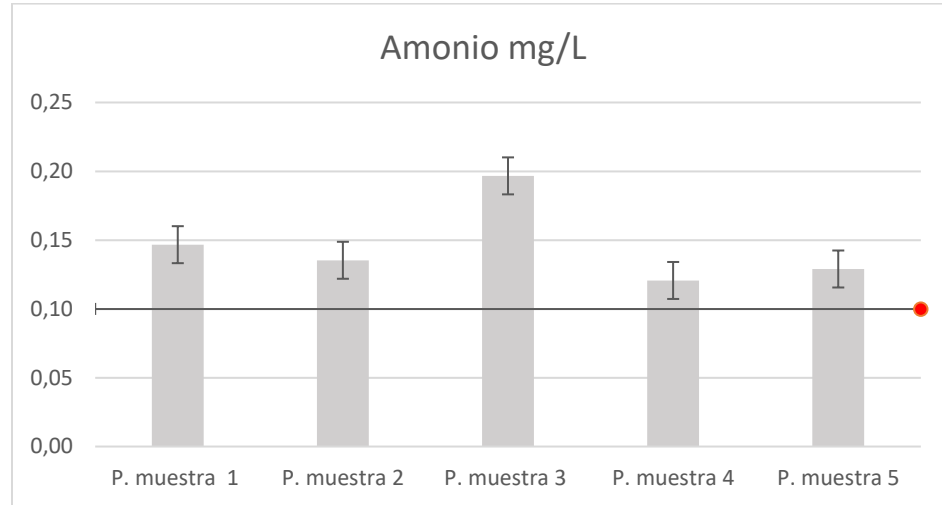
*Promedio trimestral de amonio por puntos de muestreo*

Amonio mg/L	Promedio trimestral
P. muestra 1	0,15
P. muestra 2	0,14
P. muestra 3	0,20
P. muestra 4	0,12
P. muestra 5	0,13

*Nota.* Los datos fueron obtenidos usando el método colorimétrico con salicilato de amonio, mediante espectrofotometría a 655 nm, según el protocolo HACH 10205.

**FIGURA 3.**

*Concentración promedio trimestral de amonio por punto de muestreo*



*Nota.* Se presenta la concentración promedio de amonio; todos los puntos exceden el límite ecológico referencial de 0.1 mg/L para lagos altoandinos.

Durante el periodo analizado, los cinco puntos de muestreo registraron concentraciones de amonio superiores al límite ecológico referencial de 0,1 mg/L

según Cabezas (2023), este patrón sugiere la presencia generalizada de presiones externas sobre el ecosistema tales como procesos de escorrentía por las laderas ya que abril es un mes donde las precipitaciones alcanzan 75.35mm (Maynaguez Lloré Erika, 2019) en el caso de Mojanda estos valores relativamente altos de amonio pueden ser causados por el relieve circundante y la pérdida progresiva de vegetación en las riberas, el deterioro de la cobertura vegetal natural en la cuenca alta del lago incrementa la susceptibilidad a procesos erosivos y disminuye la capacidad de infiltración del suelo, originando escorrentía superficial que transporta nutrientes y materia orgánica hacia el cuerpo de agua (Andrade Muñoz, 2017), así mismo reduciendo la cobertura vegetal por actividad antrópica se incrementa el escurrimiento superficial.

**TABLA 8.**

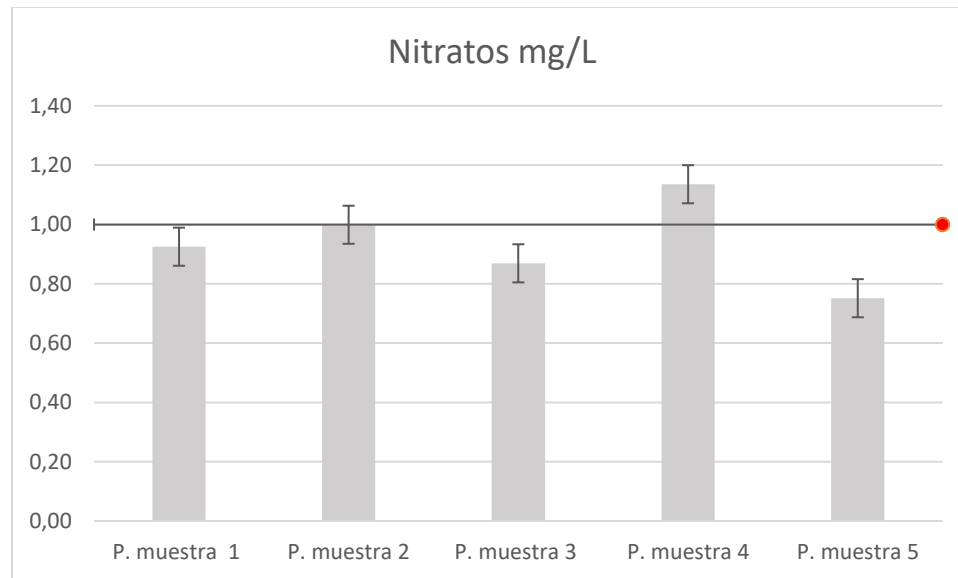
*Promedio trimestral de nitratos por puntos de muestreo*

Nitratos mg/L	Promedio trimestral
P. muestra 1	0,93
P. muestra 2	1,00
P. muestra 3	0,87
P. muestra 4	1,14
P. muestra 5	0,75

*Nota.* Los valores de nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) presentados corresponden a los promedios trimestrales obtenidos mediante un método colorimétrico comercial, utilizando el reactivo NitraVer 5 y el espectrofotómetro HACH DR 3900, conforme a los procedimientos recomendados por el fabricante.

**FIGURA 4.**

*Concentración promedio trimestral de nitratos por punto de muestreo*



*Nota.* Todos los puntos presentan concentraciones de nitratos por debajo del límite ecológico de 2 mg/L. El Punto 4 destaca con el valor más alto (1,14 mg/L), lo que podría indicar acumulación de nutrientes o influencia antrópica localizada.

Se observa que el punto 4 se registró sistemáticamente las concentraciones más altas  $\geq 1,0$  mg/L y el punto 5 las más bajas, indicando heterogeneidad local posiblemente vinculada a fuentes puntuales como escorrentía, esto puede ser provocado por precipitaciones intensas. En conjunto, los niveles de nitratos se mantienen dentro de parámetros ecológicos saludables, aunque los valores más altos en el punto 2 podrían reflejar presiones antrópicas puntuales que ameritan seguimiento. ( Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, 2015) además se resalta que en épocas lluviosas la escorrentía superficial transporta nutrientes del suelo, nutrientes lixiviados y materia orgánica disuelta desde las laderas hacia la laguna, evidencian que durante eventos de lluvia, los flujos superficiales arrastran nitrógeno en forma de nitratos desde áreas con vegetación natural, sin requerir una intervención agrícola directa para su presencia en cuerpos de agua.

En el caso específico de Mojanda, cuya cuenca inmediata presenta cobertura vegetal natural y ausencia de fuentes antrópicas puntuales como vertidos domésticos o fertilización intensiva, estos mecanismos naturales son los principales responsables de la presencia de nitratos detectados en los muestreos.

**TABLA 9.**

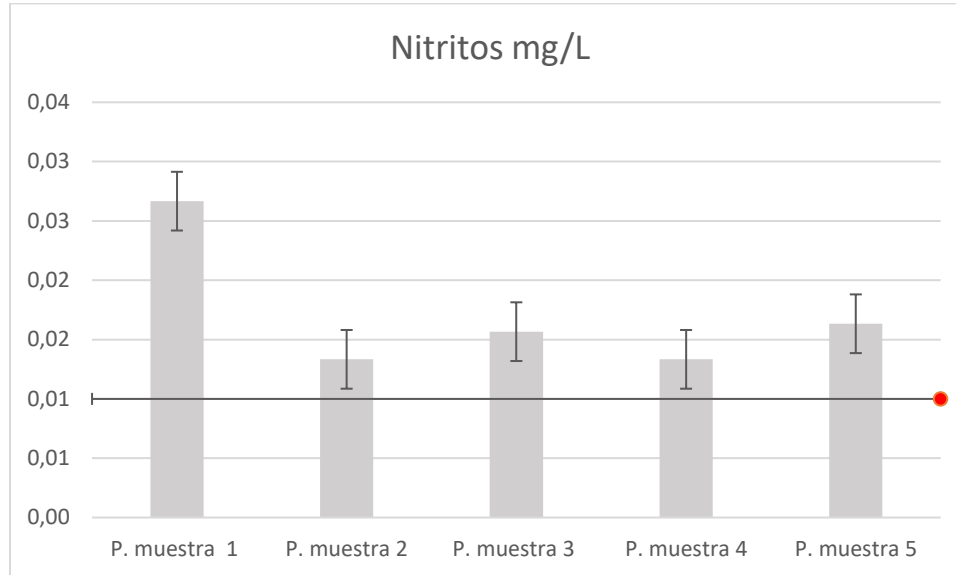
*Promedio trimestral de nitritos por puntos de muestreo*

Nitritos mg/L	Promedio trimestral
P. muestra 1	0,03
P. muestra 2	0,01
P. muestra 3	0,02
P. muestra 4	0,01
P. muestra 5	0,02

*Nota.* Los valores de nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) presentados corresponden a promedios obtenidos mediante un método colorimétrico comercial desarrollado por HACH Company, utilizando el reactivo NitriVer 3. Este reactivo reacciona químicamente con los iones nitrito formando un complejo de color rosado cuya intensidad es proporcional a la concentración de  $\text{NO}_2^-$ .

**FIGURA 5.**

*Concentración promedio trimestral de nitritos por punto de muestreo*



Las concentraciones promedio de nitritos en los cinco puntos de muestreo oscilaron entre 0,01 mg/L y 0,03 mg/L, todos los valores se mantienen por debajo del límite ecológico referencial de 0,05 mg/L para lagos altoandinos conservados (SENAMHI, 2020).

El punto 1 presentó el valor más alto 0,03 mg/L, aunque aún dentro del rango natural esperado, esto puede ser provocado por actividad antrópica junto a escorrentía

puntos 2 y 4 registraron las concentraciones más bajas 0,01 mg/L, lo que indica baja presencia de compuestos nitrogenados reducidos.

Puntos 3 y 5 mostraron valores intermedios 0,02 mg/L, sin evidencia de alteración significativa.

En general, los niveles de nitritos son compatibles con un estado oligotrófico, lo que sugiere buena calidad del agua en relación con este parámetro.

**TABLA 10.**

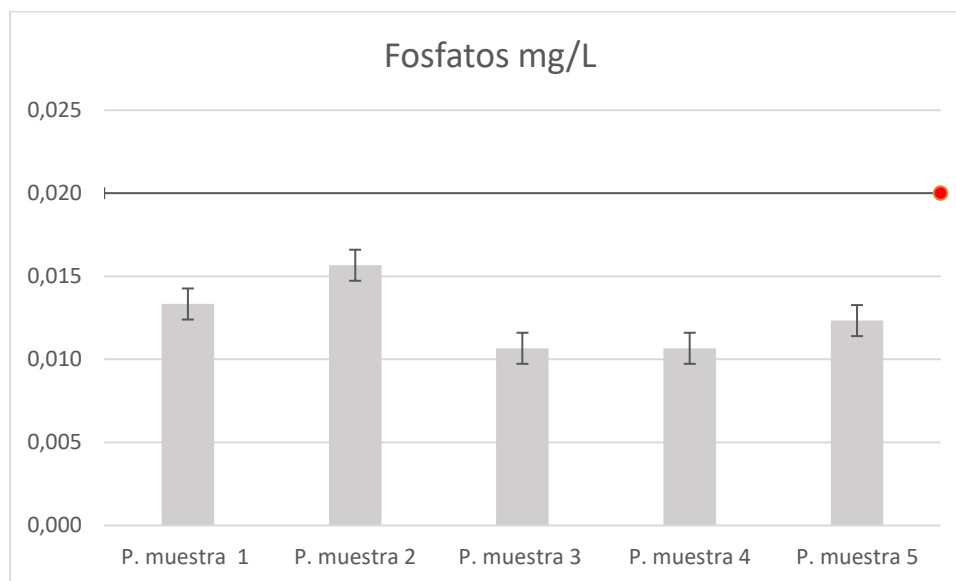
*Promedio trimestral de fosfatos por puntos de muestreo*

Fosfato mg/L	Promedio trimestral
P. muestra 1	0,013
P. muestra 2	0,016
P. muestra 3	0,011
P. muestra 4	0,011
P. muestra 5	0,012

Nota. Los valores de fosfato fueron determinados con el método colorimétrico PhosVer 3 (HACH 8048). Todas las concentraciones están por debajo del límite referencial de 0,025 mg/L para lagos altoandinos, indicando baja presencia de fósforo disponible.

**FIGURA 6.**

*Concentración promedio trimestral de fosfatos por punto de muestreo*



Nota. Las concentraciones promedio de fosfatos en todos los puntos están por debajo del límite ecológico referencial de 0,02 mg/L, lo que indica baja disponibilidad de fósforo y condiciones compatibles con un sistema oligotrófico.

Los resultados de concentración de fosfato reactivo soluble en la laguna de Mojanda mostraron valores promedio que oscilaron entre 0,011 mg/L y 0,016 mg/L en los cinco puntos de muestreo, todas estas concentraciones se mantienen por debajo del umbral ecológico de referencia de 0,02 mg/L para sistemas lacustres altoandinos conservados (RAMÍREZ, 2014), lo que sugiere una baja disponibilidad de fósforo, uno de los nutrientes limitantes clave en procesos de eutrofización.

Este patrón es característico de ecosistemas oligotróficos, es decir, cuerpos de agua con baja productividad biológica y buena calidad ecológica, el punto de muestreo 2 presentó la concentración más alta 0,016 mg/L, aunque sin superar el límite referencial, lo que podría deberse a ligeros aportes externos de origen natural o antrópico, como escorrentía superficial o acumulación de materia orgánica en ciertas zonas del cuerpo de agua.

En el contexto nacional, un estudio realizado por Paredes y Molina (2018) en Mojanda también evidenció concentraciones promedio de fosfatos de 0,014 mg/l (PAREDES, 2018), lo que confirma la consistencia de estos resultados y respalda la estabilidad ecológica del sistema, Mojanda mantiene una dinámica trófica baja, coherente con su nivel de intervención limitada.

Estos resultados son relevantes desde el punto de vista de la conservación, ya que la baja concentración de fósforo es un indicador clave para prevenir procesos de eutrofización, floraciones algales nocivas y pérdida de oxígeno disuelto. En conclusión, los niveles de fosfato registrados en Mojanda son compatibles con una condición ecológica saludable y con baja presión antrópica, lo que refuerza su valor como ecosistema de alta montaña prioritario para la conservación.

**TABLA 11.**

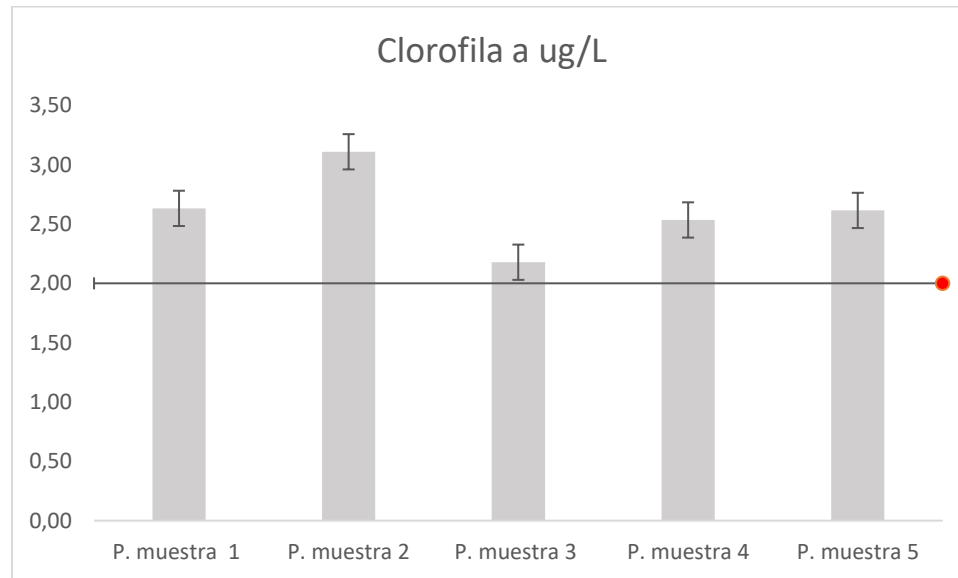
*Promedio trimestral de clorofila a por puntos de muestreo*

Clorofila a mg/L	Promedio trimestral
P. muestra 1	2,63
P. muestra 2	3,11
P. muestra 3	2,18
P. muestra 4	2,53
P. muestra 5	2,61

*Nota.* La clorofila-a fue cuantificada mediante extracción con acetona al 90 %, según el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater ( 2017). Los valores promedio trimestrales indican baja biomasa fitoplanctónica, compatible con condiciones oligotróficas.

**FIGURA 7.**

*Concentración promedio trimestral de clorofila a por punto de muestreo*



La disminución de clorofila-a en abril respecto a febrero sugiere la influencia de la temporada lluviosa en la dinámica del lago, en la región andina norte del Ecuador, los meses de

marzo y abril suelen coincidir con el periodo más lluvioso del año (Rosero, 2017) y un incremento en las precipitaciones influye en la proliferación algal.

Las lluvias que se presentaron en estos meses provocaron un menor tiempo de residencia del agua en el lago, este lavado puede arrastrar algas fuera del lago o hacia zonas más profundas, reduciendo su concentración en la columna de agua (Sánchez, 2024).

### 5.3. Determinación del estado Trófico de la laguna de Mojanda

Carlson (1977) determina que, para determinar el estado trófico de un ecosistema acuático como la laguna de Mojanda, es suficiente con analizar tres parámetros clave: la concentración de clorofila-a, fosfatos y la transparencia del agua estimada mediante el disco Secchi, estos indicadores permiten aplicar de manera efectiva la productividad biológica del sistema y la disponibilidad de nutrientes.

Cada uno de estos parámetros aporta información complementaria:

- La clorofila-a refleja la biomasa fitoplanctónica.
- El fósforo representa el nutriente limitante más influyente en aguas continentales.
- La transparencia indica la turbidez asociada a la presencia de algas y sedimentos.

El cálculo de los respectivos índices TSI (Trophic State Index) para cada variable y su promedio permiten clasificar el cuerpo de agua dentro de una categoría trófica, como oligotrófica, mesotrófica o eutrófica, con base en criterios cuantificables.

#### *Cálculos índices TSI*

$$\text{TSI Clorofila a} = 9.81 \times \ln (\text{Cl-a}) + 30.6$$

$$\text{TSI Fósforo} = 14.42 \times \ln (p \times 1000) + 4.15$$

$$\text{TSI Secchi} = 60 - 14.41 \times \ln (\text{Secchi})$$

*Nota*, Se utilizaron los promedios finales para el cálculo del índice trófico Carlson (1977)

**TABLA 12.***Cálculo del Índice del Estado trófico (TSI) por punto de muestreo*

Puntos de muestreo	Clorofila a ug/L	Fosfatos ug/L	Secchi m	TSI Cl- a	TSI Fosfatos	TSI Secchi
Punto 1	2.64	13	4.33	40,11	41,50	38,87
Punto 2	3.11	16	4.67	41,72	43,83	37,80
Punto 3	2.18	11	4.67	38,25	38,28	37,80
Punto 4	2.53	11	4.33	39,71	38,28	38,87
Punto 5	2.62	12	4.67	40,04	40,38	37,80

*Nota.* Los resultados muestran que todos los puntos de muestreo presentan un estado trófico oligotrófico, con valores de TSI promedio entre 38.66 y 40.58. Esto indica baja productividad biológica, típica de lagunas altoandinas bien conservadas. El Punto 2 presentó el valor más alto de TSI promedio 40.58, aunque sin exceder el umbral hacia un estado mesotrófico

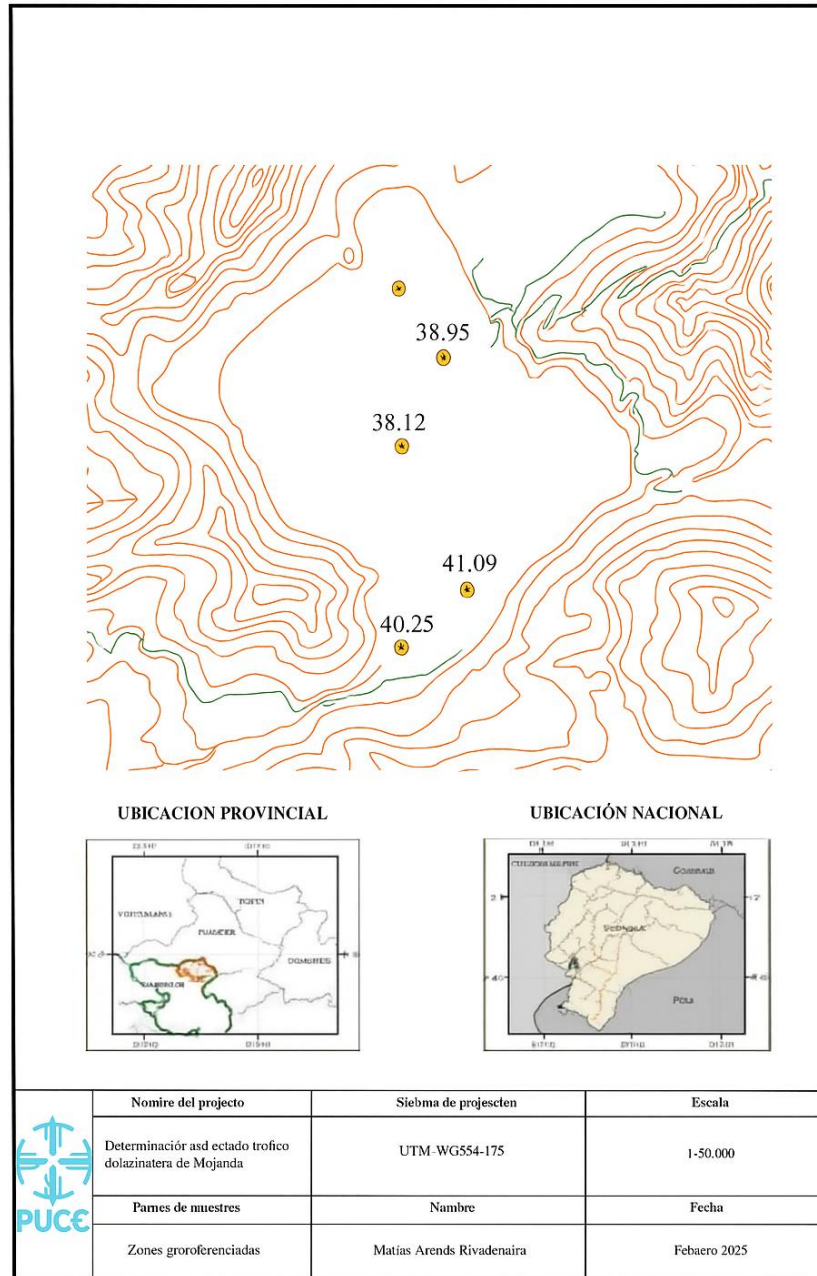
**TABLA 13.***Promedio trimestral del Índice del Estado trófico (TSI) por punto por punto de muestreo*

Puntos de muestreo	Índice de estado trófico
Punto 1	40,25
Punto 2	41,09
Punto 3	38,12
Punto 4	38,95
Punto 5	39,42

*Nota.* El cálculo se realizó promediando el TSI de clorofila a, fosfatos y disco secchi por punto de muestreo tomado por mes

**FIGURA 8.**

*Mapa de promedio trimestral del Índice del Estado trófico (TSI) por puntos de muestreo*



Los resultados del índice de estado trófico obtenidos para los cinco puntos de muestreo en la laguna de Mojanda revelan que el sistema presenta condiciones oligotróficas, con valores promedio entre 38.12 en el punto 3 y 41.09 en el punto 2. Esta clasificación indica una baja

productividad biológica, elevada transparencia y reducida concentración de nutrientes, lo cual es característico de cuerpos de agua de alta montaña con escasa intervención antrópica (Carlson, 1977)

El punto 2 presentó el valor más alto de TSI=41.09, se ubica cercano a una zona de tránsito y actividad turística, este ligero aumento podría estar relacionado con procesos de escorrentía superficial y acumulación localizada de fósforo, especialmente durante la temporada lluviosa, cuando se intensifican los aportes externos, este patrón también fue observado por Tonato y Oñala (2017) en su estudio sobre las lagunas de Mojanda, donde los puntos próximos a senderos turísticos mostraban ligeros aumentos en clorofila-a y fósforo total, aunque sin alterar significativamente el estado trófico general del sistema (Tonato, 2017).

El Punto 3 reflejó el TSI más bajo= 38.12, lo cual puede atribuirse a su ubicación más alejada de influencias humanas directas y a una mayor protección de su entorno inmediato. Situaciones similares se registraron en la laguna de San Marcos, analizada por García y Morales (2021), donde los sitios menos expuestos a actividad humana mantenían índices tróficos consistentemente bajos <39, con alta transparencia y mínima biomasa fitoplanctónica (García L. &., 2021).

En el contexto, si bien todos los puntos mantienen una clasificación oligotrófica, las diferencias observadas entre ellos evidencian una heterogeneidad espacial asociada a factores topográficos, climáticos y antrópicos, la profundidad del disco Secchi superior a 4 m en todos los casos refuerza esta interpretación, ya que sugiere baja turbidez y limitada presencia de algas en suspensión, lo cual concuerda con el bajo contenido de clorofila-a y las concentraciones controladas de fósforo registradas.

Estos resultados, subrayan que los puntos analizados de la laguna de Mojanda mantienen un buen estado ecológico general, aunque se advierten señales leves de presión localizada que ameritan monitoreo continuo, esta línea de base es clave para implementar estrategias de conservación adaptativa que prevengan procesos de eutrofización

## PROPUESTA PARA EL CUIDADO DE LA LAGUNA

La Laguna de Mojanda, ubicada en la provincia de Imbabura, constituye un ecosistema estratégico de alta montaña que provee servicios ambientales esenciales como regulación hídrica, biodiversidad única y potencial turístico. Sin embargo, enfrenta problemas asociados a la presión antrópica, turismo no regulado, contaminación y ausencia de un plan de manejo integral.

La presente propuesta busca implementar un modelo de gestión sostenible que articule a las comunidades locales, autoridades ambientales, academia y sector turístico, mediante acciones de conservación, monitoreo científico, educación ambiental y turismo responsable. El plan establece indicadores claros de impacto

### **Objetivo:**

Implementar un plan de manejo integral que garantice la conservación ecológica de la Laguna de Mojanda y su aprovechamiento sostenible.

### **Frecuencia de monitoreo:**

Para determinar la frecuencia de monitoreo se aplica la fórmula

$$F = (C \times R) / E$$

Donde:

F = Frecuencia mínima de monitoreo al año

C = Coeficiente de cambio estacional (valor recomendado: 4 si hay 4 estaciones con variabilidad)

R = Riesgo ambiental (1: bajo, 2: medio, 3: alto)

E = Esfuerzo o capacidad operativa disponible (1: bajo, 2: medio, 3: alto)

Por lo tanto, en la laguna se aplican los siguientes criterios:

Con estos datos, la frecuencia mínima de monitoreo se calculó con los siguientes valores:

**TABLA 14.***Criterios de evaluación para frecuencia de monitoreo*

<b>Parámetro</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>
C	Número de estaciones climáticas locales (invierno, transición, verano, transición)	4
R	Riesgo ambiental medio debido a actividades turísticas y presión antrópica moderada	2
E	Acceso a equipos y disponibilidad de personal técnico	2
F	Frecuencia mínima anual calculada:	4

*Nota:* Esta metodología está basada en criterios técnicos reconocidos en protocolos nacionales de monitoreo de calidad de agua en ecosistemas continentales (Ministerio de Ambiente del Perú (MINAM), 2016)

Por lo tanto, la frecuencia del monitoreo es trimestral cuatro veces al año coincidiendo con las estaciones climáticas locales de Mojanda

## **METODOLOGÍA**

El diseño de este plan de manejo se basa en una metodología de investigación aplicada que combina análisis fisicoquímico del agua y evaluación de la normativa vigente este enfoque permite establecer un diagnóstico integral del estado ambiental de la laguna de Mojanda, considerando variables físicas, biológicas y socioeconómicas evaluadas en una matriz de aspectos e impactos ambientales, la propuesta se sustenta en principios de manejo adaptativo, turismo sostenible y conservación participativa, buscando estrategias flexibles que respondan a los cambios ecológicos y fomenten la gestión activa por parte de las comunidades locales.

## **IDENTIFICACIÓN DE LOS ASPECTOS IMPACTOS AMBIENTALES**

Para identificar los aspectos e impactos ambientales generados por las distintas actividades humanas y naturales en el entorno de la laguna de Mojanda, así como los productos y servicios que se pueden controlar o influenciar y sus impactos ambientales asociados desde una perspectiva

de ciclo de vida, se plantea la matriz (adjunto en Anexo 3), este proceso permite establecer acciones de gestión ambiental más efectivas.

Una vez identificados los aspectos ambientales (AA) e impactos ambientales (IA), se evalúa si el impacto es beneficioso o adverso para la gestión ambiental, aplicando los conceptos detallados en la tabla

**TABLA 15.**

*Clase de impacto*

<b>Benéfico</b>	El impacto ambiental mitiga o mejora la calidad ambiental.
<b>Adverso</b>	El impacto ambiental deteriora la calidad ambiental.

Se evalúa la temporalidad del impacto ambiental en pasado (pasivo ambiental), presente y futuro.

**TABLA 16.**

*Temporalidad del impacto*

<b>Pasado (PA)</b>	El impacto ambiental se origina por actividades.
<b>Presente (PE)</b>	El impacto ambiental se presenta durante la ejecución de las actividades.
<b>Futuro (FU)</b>	El impacto ambiental se puede presentar posterior al tiempo de ejecución de las actividades.

**TABLA 17.***Crterios ambientales para evaluaci3n de matriz de aspectos e impactos ambientales*

<b>Crterios Ambientales</b>		
<b>Probabilidad</b>		
<b>categora</b>	<b>Valor</b>	<b>Descripci3n</b>
Baja	1	Semestral/Anual
Media	3	Mensual
Alta	5	Diario/Semanal
<b>Severidad</b>		
<b>Categoría</b>	<b>Valor</b>	<b>Descripción</b>
Baja	1	Leve
Media	3	Moderado
Alta	5	Considerado
<b>Alcance</b>		
<b>categora</b>	<b>Valor</b>	<b>Descripci3n</b>
Baja	1	Puntual
Media	3	Local
Alta	5	Extenso

**TABLA 18.***Crterios de evaluaci3n de aspectos e impactos ambientales*

<b>Crterios ambientales</b>			<b>Crterios Legales</b>			<b>Crterios Partes Interesadas</b>			<b>Clasificaci3n significancia</b>
<b>Probabilidad</b>	<b>Severidad</b>	<b>Alcance</b>	<b>Existencia</b>	<b>Cumplimiento</b>	<b>Total, Criterio Legal</b>	<b>Exigencia</b>	<b>Gesti3n</b>	<b>Total, criterio P. Interesadas</b>	

*Nota.* El total de los valores que se toman de criterios ambientales, criterios legales y criterios de partes interesadas se suman, si el impacto ambiental excede el umbral de 20 el proceso tiene significancia por lo que requiere un tratamiento.

**TABLA 19.**

*Matriz de plan de manejo ambiental de la laguna de Mojanda*

<b>Actividad</b>	<b>Indicador de seguimiento</b>	<b>Responsable técnico</b>	<b>Periodicidad</b>
Monitoreo de calidad del agua	Informe de muestreo	MAATE + Universidades locales	Trimestral
Evaluación del índice trófico (TSI)	TSI calculado y categorizado	Equipo técnico ambiental	Trimestral
Gestión del turismo sostenible	Número de visitantes, cumplimiento de normas y rutas	GAD + MAATE + Guardaparques	Mensual
Restauración de áreas degradadas	Superficie restaurada, porcentaje de supervivencia de especies nativas plantadas	GAD + Universidades	Permanente
Socialización de resultados con comunidades	Talleres y reuniones registradas	MAATE + GAD + comunidades	Semestral

*Nota.* Se presenta el plan de monitoreo ambiental propuesto para la Laguna de Mojanda, orientado a evaluar la calidad del agua, detectar presiones antrópicas y fortalecer la gestión participativa del recurso hídrico, se establecen actividades claves de seguimiento, los indicadores asociados, los responsables técnicos y la frecuencia de ejecución.

## **PREVENCIÓN DE CONTAMINACIÓN**

Se implementará un plan de gestión de residuos basado en el principio de “cero basuras”, promoviendo que los visitantes retiren sus desechos. Además, se instalarán letreros informativos que prohíban alterar la calidad biológica del cuerpo de agua (Asamblea nacional,

2014) El control de fuentes de contaminación también incluirá la regulación de vehículos inmediaciones y el monitoreo de actividades que se realizan en zonas aledañas a la laguna.

## **MONITOREO AMBIENTAL**

El plan contempla la implementación de un sistema de monitoreo continuo de la calidad del agua y del estado ecológico del ecosistema, siguiendo parámetros establecidos por el MAATE para cuerpos de agua de alta montaña, tales como pH, oxígeno disuelto, nitrógeno total, fósforo total y transparencia (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, 2017)

## **COORDINACIÓN INTERINSTITUCIONAL**

La ejecución del plan requerirá la participación entre el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, los Gobiernos Autónomos Descentralizados de Otavalo y Pedro Moncayo, el Ministerio de Turismo y las comunidades locales, se propone la creación de un comité de gestión que supervise la implementación de las acciones propuestas y evalúe periódicamente su eficacia.

**TABLA 20.**

*Responsables de ejecución y coordinación*

<b>Entidad</b>	<b>Rol</b>
MAATE	Coordinación general, análisis técnico y normativa
GAD Otavalo y Pedro Moncayo	Apoyo logístico, vigilancia y manejo territorial
Universidades locales	Soporte científico y formación técnica
Comunidades locales	Participación, vigilancia comunitaria
Ministerio de Turismo	Regulación de operadores turísticos y capacitación ambiental

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES

La evaluación del estado trófico de la laguna de Mojanda evidenció condiciones compatibles con un sistema oligotrófico, caracterizado por baja productividad biológica, transparencia elevada del agua y concentraciones reducidas de nutrientes. Los valores obtenidos para clorofila-a, fósforo reactivo y profundidad de disco Secchi se mantuvieron dentro de los rangos establecidos por el índice trófico de Carlson (TSI), con promedios entre 38,66 y 40,58, lo cual respalda un buen estado ecológico general del ecosistema lacustre.

El análisis de los parámetros fisicoquímicos y biológicos como pH, oxígeno disuelto, conductividad, temperatura, nitratos, nitritos, amonio y fosfatos demostró cumplimiento de los límites referenciales en casi todos los casos. Sin embargo, las concentraciones de amonio superaron el umbral ecológico (0,1 mg/L) en todos los puntos de muestreo, lo que sugiere posibles procesos de escorrentía superficial, pérdida de cobertura vegetal o presión antrópica puntual, especialmente en zonas cercanas a senderos turísticos y el bajo nivel de oxígeno disuelto puede verse explicado por el incremento de escorrentías durante la temporada de lluvias elevando la demanda de oxígeno

La metodología de muestreo implementada con cinco puntos georreferenciados, recolección a tres profundidades y tres campañas durante el año permitió capturar variaciones temporales y espaciales significativas, logrando una caracterización representativa de las condiciones limnológicas del cuerpo de agua, esta estrategia fortaleció la validez del diagnóstico, demostrando que las condiciones tróficas se mantienen relativamente estables, aunque existen diferencias leves entre puntos con mayor y menor exposición antrópica.

Finalmente, se desarrolló una propuesta técnica de manejo ambiental centrada en el monitoreo periódico del estado trófico, la evaluación de impactos ambientales y la gestión adaptativa del ecosistema, este plan establece acciones concretas para preservar la calidad del agua, prevenir procesos de eutrofización y fomentar una gestión participativa e interinstitucional de los recursos. Implementarlo garantizará la sostenibilidad de los servicios ecosistémicos que ofrece Mojanda a largo plazo, en especial ante el crecimiento de la actividad turística y los efectos del cambio climático.

## **CAPÍTULO VII**

### **RECOMENDACIONES**

Para asegurar una gestión adecuada de la laguna de Mojanda, se recomienda implementar un programa de monitoreo periódico de la calidad de sus aguas, este programa debería contemplar tanto las variaciones temporales como espaciales, con muestreos en múltiples sitios dentro del lago, además resulta fundamental considerar las variaciones estacionales mediante campañas de muestreo durante la época lluviosa y la seca o realizar mediciones trimestrales para detectar cambios asociados al ciclo hidrológico, como el arrastre de nutrientes por lluvias frente a la concentración en épocas de estiaje .

Este monitoreo continuo permitiría identificar tendencias a largo plazo en parámetros tróficos como nutrientes, clorofila-a, transparencia y oxígeno disuelto, facilitando una respuesta oportuna ante indicios tempranos de eutrofización, la información generada fortalecería la base científica para la toma de decisiones ambientales, brindando a las autoridades locales y gestores herramientas actualizadas para establecer medidas de conservación o mitigación basadas en datos recientes, asimismo sería conveniente involucrar tanto a instituciones académicas como a comunidades locales, promoviendo así la vigilancia participativa y garantizando la continuidad del monitoreo más allá de estudios aislados, una mejor comprensión de estos aportes permitiría detectar puntos críticos dentro de la cuenca y diseñar estrategias efectivas de mitigación, como el manejo general de la laguna, además, resulta crucial estudiar cómo los cambios en la cobertura vegetal y el uso del suelo en zonas recreativas y caminos han intensificado la erosión y el transporte de sedimentos y nutrientes hacia la laguna.

Estos ejercicios de modelación facilitarían una planificación más proactiva, permitiendo a los gestores anticipar problemas y evaluar la efectividad de diferentes medidas antes de implementarlas.

## CAPÍTULO VIII

### BIBLIOGRAFÍA

- American Public Health Association; American Water Works Association; Water Environment Federation. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Washington, D.C.: American Public Health Association.
- Andrade Muñoz, E. B. (2017). *Determinación del estado trófico del Lago de Mojanda en relación con los parámetros físico-químicos*. Ibarra: UTN.
- Andrade, E. (2016). *Determinación del estado trófico del lago de Mojanda en relación con los parámetros físico-químicos*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte.
- APHA. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (23rd Edition)*. Washington, D.C.
- ASAMBLEA NACIONAL. (2014). *LEY ORGANICA DE RECURSOS HIDRICOS USOS Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA*. Quito: Registro Oficial Suplemento 305 de 06-ago.-2014.
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2017). *Código Orgánico del Ambiente*. Quito: Registro Oficial Suplemento 983.
- Banderas, A. G. (1996). *La limnología, una revisión del concepto. Tecnología y ciencias del agua*, 11(1), 77-84. Mexico: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua .
- Baran-Gurgul, K. &. (2024). *Water Resource Management: Hydrological Modelling, Hydrological Cycles, and Hydrological Prediction*. Water, 16(24).

- Beltrán, K. S.-Y. (2009). *Distribución espacial, sistemas ecológicos y caracterización florística de los páramos en el Ecuador*. Quito: EcoCiencia, Proyecto Páramo Andino y Herbario QCA.
- Buytaert, W. C. (2006). *Hidrología del páramo andino: propiedades, importancia y vulnerabilidad*. .
- Cabezas, M. D.-K. (2023). *Floración de Planktothrix agardhii en Yahuarcocha, una laguna altoandina hipereutrófica* *Revista Ecuatoriana de Medicina y Ciencias Biológicas*, 44(1). Quito-Ecuador: Doris Vela.
- Calderón Chérrez, M. J. (2018). *Oferta hídrica, almacenamiento de agua y carbono en dos escenarios altoandinos del páramo de Mojanda-Ecuador*. Buenos Aires: Universidad Nacional de La Plata.
- Calispa, M. V. (2023). *Los suelos de los páramos del Ecuador*. Quito: ResearchGate.
- Calispa, M. V.-V. (2023). *Los suelos de los páramos del Ecuador. Los páramos del Ecuador: pasado, presente y futuro*. Quito: USFQ Press.
- Carlson, R. E. (1977). *A trophic state index for lakes* 1 22(2), 361-369. *Limnology And Oceanography*,.
- cifuentes, M. (1992). *Determinación de Capacidad de Carga turística en Áreas Protegidas*. Turrialba, Costa RICA : CATIE.
- Cobos, P. N. (2017). *Propuesta del Plan de Manejo Ambiental de las Lagunas de Mojanda: Caricocha, Huarmicocha y Yanacocha del cantón Pedro Moncayo*. Quito: Universidad Central del Ecuador .

- Criollo Guallpa, C. I. (2023). *Estimación de la recarga y descarga del sistema de aguas subterráneas en una zona altoandina al sur del Ecuador*. Quito: Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana.
- Cruz, D. E. (2017). “*APLICACIÓN DEL SIG PARA USO Y MANEJO SUSTENTABLE DE LAS ZONAS ECOTURISTICAS DEL ÁREA DE CONSERVACIÓN MUNICIPAL ZONA LACUSTRE MOJANDA, CANTÓN PEDRO MONCAYO*”. Ibarra: Universidad Técnica del Norte.
- CUELLAR ARANCIBIA, C. S. (2017). *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*. JAUJA: Universidad Alas Peruanas.
- EDUARDO CUALCHI, H. Q. (2017). *Manejo adaptativo de riesgos y vulnerabilidad en la zona lacustre de Mojanda*. Quito: GADPP.
- Gallo Jaguaco, O. A. (2023). *Determinación de la calidad del agua mediante indicadores biológicos y físico-químicos en el río Cutuchi, cantón Latacunga, provincia Cotopaxi*. Latacunga: Universidad Politécnica Salesiana.
- García, L. &. (2021). *Caracterización del estado trófico de la laguna San Marcos en los Andes ecuatorianos*. Revista de Ciencias Ambientales Andinas, 7(2), 55–67.
- García, M. V. (2016). *Identificación y clasificación de los microhábitats de agua dulce*. Acta zoológica mexicana, 32(1), 12-31. ActaZoologicaMexicana.
- González, G. E. (2018). “*LINEAMIENTOS Y POLÍTICAS PARA EL MANEJO DEL ECOTURISMO EN LA MICROCUENCA DE LA LAGUNA DE MOJANDA, DESDE EL*

*GOBIERNO LOCAL DEL CANTÓN PEDRO MONCAYO, PROVINCIA DE PICHINCHA.*” . Ibarra: Universidad Tecnica del Norte.

Guerra Ordóñez, J. L. (2023). *nálisis de la variabilidad de la calidad del agua en las lagunas de Colta y Magtayán.* Riobamba : Universidad Nacional de Chimborazo.

Gunkel, J. E. (2000). *Algunos aspectos limnológicos de un lago altoandino: el lago San 215 Pablo, Ecuador.* . Valencia: limnetica.

HACH Company. (2015). *DR 3900 Laboratory Spectrophotometer Procedures Manual.* HACH Company.

HACH Company. (2015). *DR 3900 Laboratory Spectrophotometer Procedures Manual – Method 10205: Ammonia Salicylate Method.* HACH Company.

HACH Company. (2015). *DR 3900 Laboratory Spectrophotometer Procedures Manual – Method 8048: PhosVer 3 (Ascorbic Acid) Method.* HACH Company.

Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (2013). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169:2013. Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras.* Quito.

Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (2013). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2176:2013. Agua. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo.* Quito.

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2013). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2013. Agua. Requisitos de calidad para cuerpos de agua dulce superficial destinados a la vida acuática.* Quito: INEN.

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2013). *NTE INEN 2176: Agua. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo.* Quito: INEN.

Kiersch, B. M. (2004). *Las macrófitas de algunos lagos alto-andinos del Ecuador y su bajo potencial como bioindicadores de eutrofización.* San Jose : Revista de biología tropical.

- Kiersch, B. M. (2004). *Las macrófitas de algunos lagos alto-andinos del Ecuador y su bajo potencial como bioindicadores de eutrofización*. *Revista de Biología Tropical*, 52(4), 829-837.
- López, S. W. (2017). *Environmental change in the equatorial Andes: Linking climate, land use, and land cover transformations*. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 8, 291-303. Elsevier.
- MAYNAGUEZ LLORÉ ERIKA FERNANDA, T. B. (2019). *ESTRATEGIAS DE CONTROL Y CONSERVACIÓN EN RELACIÓN CON LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO HÍDRICO DE LA LAGUNA HUARMICOCHA, CANTÓN PEDRO MONCAYO*. Ibarra: UTN.
- Maynaguez Lloré Erika, T. B. (2019). *ESTRATEGIAS DE CONTROL Y CONSERVACIÓN EN RELACIÓN CON LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO HÍDRICO DE LA LAGUNA HUARMICOCHA, CANTON PEDRO MONCAYO*. Ibarra: UTN.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2015). *Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente*. Quito: Registro Oficial Suplemento No. 316.
- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (2015). *Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua (Anexo 1 del Libro VI del TULSMA)*. Quito: Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica.
- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (2017). *TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DE MEDIO AMBIENTE, Anexo 1: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua*. Quito.

- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. (2023). *Plan de Acción Nacional para la Conservación, Restauración y Uso Sostenible de los Páramos (PAN-Páramos)*. Quito : Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica.
- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica del Ecuador. (2021). *Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica declara a Mojanda como Área de Protección Hídrica*. Quito.
- Ministerio Para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (s.f.). Obtenido de Categorías y tipos de masas de agua: [https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/estado-y-calidad-de-las-aguas/aguas-superficiales/categorias\\_y\\_tipos\\_de\\_masas\\_de\\_agua.html](https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/estado-y-calidad-de-las-aguas/aguas-superficiales/categorias_y_tipos_de_masas_de_agua.html)
- Montes Hugo, M. A. (2003). *Relaciones empíricas para estimar la atenuación subacuática de PAR en Bahía San Quintín utilizando la profundidad de Secchi y la distancia horizontal de desaparición de objetos*. Ciencias Marinas.
- Morocho, C. C. (2019). *Páramos del Ecuador, importancia y afectaciones: Una revisión*. Bosques Latitud Cero, 9(2), 71-83. Loja: BOSQUES LATITUD CERO.
- Mühlhauser, H. A. (1987). *Eutrofización, impacto en un ecosistema acuático montañoso*. Arch. Biol. Med. Exp, 20, 117-124. Chile: Universidad de Chile.
- NORMA TÉCNICA ECUATORIANA. (2013). *AGUAS. DETERMINACIÓN DEL OXÍGENO DISUELTO*. Quito : NTE INEN 1106:2013.
- Oña Loachamin, J. P. (2017). *Determinación del estado trófico de las lagunas de Mojanda a través de la cuantificación de clorofila "a"*. Quito: UCE.
- Paredes, V. &. (2018). *Calidad del agua en la laguna de Mojanda: implicaciones para la conservación de ecosistemas altoandinos*. 2018: Revista Ecuatoriana de Ciencias del Agua.

- Peñaherrera, J. D. (2023). *Gestión turística de los páramos del Ecuador: una oportunidad para el manejo sostenible de los ecosistemas frágiles*. Quito: Revista Turismo, Desarrollo y Buen Vivir, (17), 86-106.
- Ramírez, J. S. (2014). *arámetros ecológicos para cuerpos de agua altoandinos*. Quito : INABIO.
- Roldán Pérez, G. A. (2008 ). *Fundamentos de limnología neotropical, Capítulo 4: Los lagos*. Medellín : Universidad de Antioquia.
- Rosero, T. G. (2017). *BIORREMEDIACIÓN DE LAGOS TROPICALES EUTROFIZADOS: ESTUDIO DEL LAGO SAN PABLO (ECUADOR)*. España: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Ruiz Azurduy, S. A. (2017). *Manejo adaptativo de riesgos y vulnerabilidad en la zona lacustre de Mojanda*. Quito: Universidad Andina Simon Bolivar.
- Ruiz Azurduy, S. A. (2017). *Manejo adaptativo de riesgos y vulnerabilidad en la zona lacustre de Mojanda*. Quito-Ecuador: Secretaría de Desarrollo Sostenible y Ambiente.
- Sánchez, N. (2024). *ESTADO TRÓFICO DE LAGUNAS DEL MACIZO DEL CAJAS, SUR DEL ECUADOR EN BASE A LA CLOROFILA A, B Y C* . Cuenca: UNIVERSIDAD DEL AZUAY .
- SENAMHI. (2020). *Guía de calidad de agua para ecosistemas acuáticos altoandinos*. Peru: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.
- Tonato, C. &. (2017). *Determinación del estado trófico de las lagunas de Mojanda a través de la cuantificación de clorofila-a*. Ibarra: UTN.
- U.S. Environmental Protection Agency. (2007). *Methods for the determination of chemical substances in environmental samples. EPA/600/R-07/112*. . Washington, DC.

Viviroli, D. D. (2007). *Mountains of the world, water towers for humanity: Typology, mapping, and global significance*. *Water resources research*, 43(7). AGU Advancing earth and space sciences.

Vollenweider, R. &. (1982). *Background and summary results of the OECD Cooperative Programme on Eutrophication*. In: *Proceedings of the International Symposium on Inland Waters and Lake Restoration*. U.S. Environmental Protection Agency.

## ANEXOS

### REGISTRO DE CAMPO

#### ANEXO 1.

*Toma de muestras en los diferentes puntos de la laguna*



**REGISTRO DE LABORATORIO**  
**ANEXO 2.**

*Registro de laboratorio*



# MATRIZ DE IDENTIFICACION ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTALES

## ANEXO 3.

*Matriz de evaluación de significancia para los aspectos impactos*

Aspecto ambiental	Impacto ambiental	Condición de operación (N: normal / A: Anormal)	Tipo de impacto (Beneficios o / Adverso)	Temporalidad (PA: pasado / PE: presente / FU: futuro)	EVALUACIÓN										Clasificación significancia
					Criterios ambientales				Criterios Legales			Criterios Partes Interesadas			
					Probabilidad	Severidad	Alcance	Total criterio ambiental	Existencia	Cumplimiento	Total Criterio Legal	Exigencia	Gestión	Total criterio P. Interesadas	
Ingresos sin control	Compactación del suelo, erosión, alteración de la cobertura vegetal y generación de emisiones.	N	A	PE	5	5	5	15	3	5	8	5	5	10	Significativo
Disposición inadecuada de residuos sólidos	Contaminación del suelo y agua, atracción de fauna oportunista, deterioro del paisaje.	N	A	PE	5	5	3	13	3	5	8	5	3	8	Significativo
Acumulación de nutrientes (fosfatos, nitratos)	Eutrofización, disminución del oxígeno disuelto y mortalidad de fauna acuática.	N	A	PE	5	5	3	13	3	5	8	5	3	8	Significativo

## ANEXO 4.

### Matriz de evaluación de significancia para los aspectos impactos con residual

Requisito Legal Aplicable	CONTROL		EVALUACIÓN RESIDUAL									Clasificación significancia	
	Tipo de control	Controles existentes	Criterios ambientales				Criterios Legales			Criterios Partes Interesadas			
			Probabilidad	Severidad	Alcance	Total criterio ambiental	Existencia	Cumplimiento	Total Criterio Legal	Exigencia	Gestión		Total criterio P. Interesadas
<p>Código Orgánico del Ambiente (COA) Art. 97 – 100: Régimen de Áreas de Protección Hídrica (APH).</p> <p>Art. 163: Establece que toda actividad que pueda afectar un ecosistema debe tener autorización previa.</p>	<b>Propio (controlable)</b>	<p>1.Control de acceso físico .</p> <p>2.Zonificación y restricción de acceso</p> <p>3.Registro y permisos</p>	5	3	3	11	5	3	8	3	3	6	<b>No significativo</b>
<p>Código Orgánico del Ambiente (COA) Art. 195: Establece que toda persona natural o jurídica es responsable del manejo adecuado de los residuos sólidos.</p> <p>Art. 197: Prohíbe la disposición inadecuada de residuos que puedan contaminar el ambiente.</p> <p>Art. 262: Tipifica como infracción leve, grave o muy grave la disposición indebida de residuos, especialmente en áreas protegidas o ecosistemas frágiles.</p>	<b>Propio y Externo (controlable)</b>	<p>1.Control de residuos en la fuente</p> <p>2.Política de residuos cero</p> <p>3.Control comunitario</p>	5	3	3	11	5	3	8	3	3	6	<b>No significativo</b>
<p>Código Orgánico del Ambiente (COA) Art. 195 – 197: Obliga al manejo adecuado de residuos y sustancias que puedan afectar el ambiente.</p> <p>Art. 97 – 100: Las Áreas de Protección Hídrica deben conservar la calidad del recurso hídrico y evitar cualquier fuente de contaminación.</p> <p>Art. 165 y 262: Contaminar fuentes de agua (por filtraciones, derrames o residuos) es una infracción ambiental sancionable.</p>	<b>Propio (controlable)</b>	<p>1.Control de fuentes de nutrientes</p> <p>2.Monitoreo periódico del agua</p>	5	3	3	11	5	3	8	3	3	6	<b>No significativo</b>

## ANÁLISIS DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

### ANEXO 5.

*Análisis promediados por puntos de muestreo*

Febrero					
Puntos de muestra	pH	%DO	μS/cm	Temperatura	Secchi m
Punto 1	8,82	26,5	36	12,01	3
Punto 2	7,86	42,1	36	12,03	4
Punto 3	8,66	47	36	12,08	5
Punto 4	8,82	52,4	28	12,12	4
Punto 5	7,33	51,2	37	12,15	4

Abril					
Puntos de muestra	pH	%DO	μS/cm	Temperatura	Secchi m
Punto 1	8,65	27,5	38	12,13	5
Punto 2	8,06	40,1	37	12,06	5
Punto 3	8,6	36	37	12,05	5
Punto 4	8,24	51,4	37	12,2	4
Punto 5	7,54	35,2	36	12,13	5

Mayo					
Puntos de muestra	pH	%DO	μS/cm	Temperatura	Secchi m
Punto 1	8,45	26,5	38	12,23	5
Punto 2	8,23	42,1	36	12,09	5
Punto 3	8,32	47	36	12,15	4
Punto 4	8,41	52,4	37	12,51	5
Punto 5	8,16	51,2	37	12,14	5

Amonio mg/L				
Puntos de muestreo	Febrero	Abril	Mayo	Promedio trimestral
Punto 1	0,155	0,132	0,153	0,15
Punto 2	0,127	0,146	0,133	0,14
Punto 3	0,182	0,228	0,18	0,20
Punto 4	0,103	0,135	0,124	0,12
Punto 5	0,106	0,162	0,119	0,129

Nitratos mg/L				
Puntos de muestreo	Febrero	Abril	Mayo	Promedio trimestral
Punto 1	0,801	1,002	0,972	0,9
Punto 2	1,105	0,995	0,897	1,0
Punto 3	0,952	0,752	0,903	0,9
Punto 4	1,308	1,103	0,996	1,1
Punto 5	0,851	0,602	0,801	0,8

Nitritos mg/L				
Puntos de muestreo	Febrero	Abril	Mayo	Promedio trimestral
Punto 1	0,020	0,031	0,029	0,03
Punto 2	0,015	0,013	0,012	0,01
Punto 3	0,018	0,016	0,013	0,02
Punto 4	0,012	0,016	0,012	0,01
Punto 5	0,017	0,014	0,018	0,02

Fosfatos mg/L				
Puntos de muestreo	Febrero	Abril	Mayo	Promedio trimestral
Punto 1	0,013	0,012	0,015	0,013
Punto 2	0,013	0,018	0,016	0,016
Punto 3	0,012	0,01	0,01	0,011
Punto 4	0,01	0,01	0,012	0,011
Punto 5	0,013	0,012	0,012	0,012

Clorofila a ug/L				
Puntos de muestreo	Febrero	Abril	Mayo	Promedio trimestral
Punto 1	2,8	2,21	2,90	2,6
Punto 2	3,5	3,03	2,79	3,1
Punto 3	2,3	2,14	2,10	2,2
Punto 4	2,7	2,22	2,67	2,5
Punto 5	2,8	2,31	2,74	2,6

## FACTOR DE CORRECCIÓN

### ANEXO 6.

*Factor de corrección para medición de clorofila a*

	A_corr Febrero	A_corr Abril	A_corr Mayo
Punto 1	0.00162	0.00128	0.00168
Punto 2	0.00203	0.00176	0.00162
Punto 3	0.00133	0.00124	0.00122
Punto 4	0.00157	0.00129	0.00155
Punto 5	0.00162	0.00134	0.00159