



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

Determinación de la morfometría y el grado de eutrofización de la laguna Valle Hermoso
del cantón Guano.

Trabajo de Titulación para optar al título de
Ingeniero Ambiental

Autores:

Segovia Coronel, Karla Jazmín

Ati Tacuri, Joffry David

Tutor:

PhD. Iván Alfredo Ríos García

Riobamba, Ecuador. 2025

DECLARATORIA DE AUTORÍA

Nosotros, Karla Jazmín Segovia Coronel con cédula de ciudadanía 1850729722 y Joffry David Ati Tacuri, con cédula de ciudadanía 060479588-0, autores del trabajo de investigación titulado: Determinación de la morfometría y el grado de eutrofización de la laguna Valle Hermoso del cantón Guano. certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedemos a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 02 de diciembre del 2024.



Karla Jazmín Segovia Coronel
C.I: 1850729722



Joffry David Ati Tacuri
C.I: 060479588-0

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

Quien suscribe, Iván Alfredo Ríos García catedrático adscrito a la Facultad de Ingeniería, por medio del presente documento certifico haber asesorado y revisado el desarrollo del trabajo de investigación Determinación de la morfometría y el grado de eutrofización de la Laguna Valle Hermoso del Cantón Guano, bajo la autoría de Karla Jazmín Segovia Coronel y Joffry David Ati Tacuri; por lo que se autoriza ejecutar los trámites legales para su sustentación.

Es todo cuanto informar en honor a la verdad; en Riobamba, a los dos días del mes de diciembre de 2024



PhD. Iván Alfredo Ríos García

C.I: 0601889728

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de **Determinación de la morfometría y el grado de eutrofización de la laguna Valle Hermoso del Cantón Guano**, presentado por **Karla Jazmín Segovia Coronel**, con cédula de identidad número **1850729722** y **Joffry David Ati Tacuri** con cédula de identidad número **0604795880**, bajo la tutoría de PhD. Iván Alfredo Ríos García; certificamos que recomendamos la **APROBACIÓN** de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba trece de diciembre de 2024.

Dra. Julia Calahorrano

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



PhD. Cesar Cisneros

MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Dra. Mery Manzano

MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO





Dirección
Académica
VICERRECTORADO ACADÉMICO

en movimiento



UNACH-RGF-01-04-08.17
VERSIÓN 01: 06-09-2021

CERTIFICACIÓN

Que, **Segovia Coronel Karla Jazmin** con CC: **1850729722**, estudiante de la Carrera de **Ingeniería Ambiental**, Facultad de **Ingeniería**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado " **DETERMINACIÓN DE LA MORFOMETRÍA Y EL GRADO DE EUTROFIZACIÓN DE LA LAGUNA VALLE HERMOSO DEL CANTÓN GUANO**", cumple con el 9 %, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **TURNITIN**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, trece de diciembre de 2024



Ph.D. Iván Alfredo Ríos
GARCÍA

Ph.D. Iván Alfredo Ríos García
TUTOR



Dirección
Académica
VICERRECTORADO ACADÉMICO

en movimiento



UNACH-RGF-01-04-08.17
VERSIÓN 01: 06-09-2021

CERTIFICACIÓN

Que, **Ali Tacuri Joffry David** con CC: **0604795880**, estudiante de la Carrera de **Ingeniería Ambiental**, Facultad de **Ingeniería**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**DETERMINACIÓN DE LA MORFOMETRÍA Y EL GRADO DE EUTROFIZACIÓN DE LA LAGUNA VALLE HERMOSO DEL CANTÓN GUANO**", cumple con el 9 %, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **TURNITIN**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, trece de diciembre de 2024



Ph.D. Iván Alfredo Ríos
GARCÍA

Ph.D. Iván Alfredo Ríos García
TUTOR

DEDICATORIA

Esta tesis me la dedico a mí con mucho amor, por nunca desistir en el camino, por mantenerme siempre enfocada en mi objetivo y por qué sin lugar a duda he sido lo suficientemente valiente, tenaz y resiliente en esta travesía.

A mis padres, Geovanny Segovia y Mónica Coronel, por cada llamada a la distancia que me impulsaba a seguir, por sus palabras de amor y de aliento, por ser mis mejores patrocinadores y por confiar en mis capacidades para lograr todo lo que me proponga, los amo.

A mis cuatro mejores amigos de universidad, Ramiro, Sol, Lizzita y Vic, cuyas risas han llenado los días de estudio y cuyos ánimos han levantado mi espíritu en los momentos más difíciles.

Karla Jazmín Segovia Coronel

Este proyecto de investigación se lo dedico a Dios que en todo momento me ha bendecido de forma incondicional, dándome cada día las fuerzas necesarias para no desmayar, pues en todos estos años con su brazo fuerte me ha sostenido en todo tiempo.

A mis padres que demostraron durante todo este tiempo el valor de ser perseverante para llegar a alcanzar las metas; más que ejemplos y palabras ha sido su amor incondicional, más de una vez me quise rendir, pero recuerdo bien, como lucharon por verme triunfar a pesar de todas las circunstancias son y serán la razón de mi vida.

Joffry David Ati Tacuri

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios y a la vida por haberme puesto en este hermoso camino y permitirme este nuevo triunfo, a mis papis, a mi hermanito y a mis mascotas por ser siempre el motor de mi vida, el apoyo que siempre necesite, por ser el aliento y las ganas de seguir, por ser mi refugio y mi lugar seguro.

A mis docentes y técnicos de laboratorio que durante todo este camino me guiaron no solo para ser una excelente profesional sino también una excelente persona, con conciencia y responsabilidad en cada una de mis acciones.

Al Ing. Iván Ríos García, mi tutor de tesis, por siempre tener la disponibilidad y la paciencia durante todo este tiempo, por compartirnos todos sus conocimientos y experiencia, haciendo de este trabajo de investigación una etapa inolvidable.

A mi Equipo alfa buena maravilla onda dinamita escuadrón lobo por hacer de este largo camino una experiencia mucho más agradable y llena de anécdotas que siempre me llevaré en el corazón.

Por último, pero no menos importante, quiero agradecer a las personas que siempre confiaron en mí y me extendieron una mano cuando más lo necesite, a mis amigos y a mi familia.

Karla Jazmin Segovia Coronel

Agradezco a Dios por concederme un día más de vida con salud y así poder cumplir con este anhelo porque sin tu gracia nada fuera posible. A mis padres Juan Ati y Carmita Acosta por educarme con cariño, ya que, sin ellos este logro no sería posible, responsabilidad y darme la oportunidad de seguir una carrera universitaria.

A mi tutor Ing. Iván Ríos García mi más sincero agradecimiento por su dedicación y orientación durante mi tesis. Su apoyo ha sido fundamental en este proceso y estoy profundamente agradecido por su tiempo y conocimientos compartidos.

A mis Ingenieros, quienes más allá de ser mis mentores se convirtieron en mi segunda familia y velaron por mi desarrollo integral.

Finalmente quiero agradecer a mi familia, por extender su mano en momentos difíciles y por el apoyo brindado cada día.

Joffry David Ati Tacuri

INDICE GENERAL

DECLARATORIA DE AUTORÍA

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

CERTIFICADO ANTIPLAGIO

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE ECUACIONES

RESUMEN

ABSTRACT

CAPÍTULO I. INTRODUCCION	17
1.1 Antecedentes	17
1.2 Planteamiento del problema	18
1.3 Justificación	19
1.4 Objetivos.....	20
1.4.1 General	20
1.4.2 Específicos.....	20
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.	21
2.1 Morfometría de cuerpos de agua.....	21
2.1.1 Teledetección.....	21
2.1.2 Espectroradiómetro.....	22
2.2 Eutrofización.....	22
2.3 Métodos de evaluación del grado de eutrofización.....	23
2.3.1 Método Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE)	23
2.3.2 Método American Public Health Association (APHA)	24
2.3.3 Método CARLSON	24
2.4 Parámetros Físico-Químicos.....	25
2.4.1 Fósforo Total	25
2.4.2 Nitrógeno Total.....	26
2.4.3 Oxígeno disuelto	26
2.5 Disco Secchi	27
CAPITULO III. METODOLOGIA.	28
3.1 Tipo de investigación.	28

3.2	Diseño de investigación.....	28
3.2.1	Diseño observacional	28
3.2.2	Diseño transversal	29
3.3	Técnicas de Recolección de Datos	29
3.3.1	Muestreo de Agua.....	29
3.3.2	Análisis de laboratorio.	31
3.4	Etapa I: Caracterización de la laguna Valle Hermoso mediante Batimetría y Herramientas de Teledetección	37
3.4.1	Georreferenciación de Área Estudio.....	37
3.4.2	Medición de la Profundidad	38
3.4.2.1	Método Manual	38
3.4.2.2	Medición por Herramientas de Teledetección	42
3.4.2.3	Estimación con Espectroradiómetro	44
3.5	Etapa II: Evaluación del grado de eutrofización de la Laguna Valle Hermoso aplicando los métodos:(OCDE, APHA, CARLSON).	45
3.5.1	Método OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico)	45
3.5.2	Método APHA (American Health Association).....	46
3.5.3	Método CARLSON o índice de estado trófico (IET)	47
3.6	Etapa III: Estimación de los factores antrópicos que influyen en la eutrofización en la Laguna Valle Hermoso	49
3.6.1	Instrumentos de evaluación socioambiental.....	49
3.6.1.1	Lista de Comprobación (Check List).....	49
3.6.1.2	Entrevista.....	51
3.6.1.3	Encuesta	51
3.6.1.4	Matriz de valoración cuantitativa de impactos antrópicos	52
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		54
4.1	Área de estudio	54
4.2	Caracterización Morfométrica de la Laguna Valle Hermoso	56
4.2.1	Batimetría por Medición Manual.....	56
4.2.2	Batimetría por Teledetección	66
4.2.3	Batimetría por Espectroradiómetro.....	69
4.3	Resultados de los parámetros físicos – químicos de la Laguna Valle Hermoso.....	71
4.3.1	Oxígeno Disuelto (OD).....	71
4.3.2	Potencial de Hidrogeno (pH).....	72
4.3.3	Conductividad.....	76

4.3.4	Temperatura.....	79
4.3.5	Sólidos Totales	82
4.3.6	Transparencia - Disco Secchi (Ds)	85
4.4	Evaluación del grado de eutrofización por los métodos: OCDE. APHA y CARLSON. .	89
4.4.1	Fósforo Total	89
4.4.2	Nitrógeno Total.....	93
4.4.3	Transparencia – Disco Secchi (Ds).....	96
4.5	Estimación de los factores antrópicos que influyen en la eutrofización en la laguna Valle Hermoso.	99
4.5.1	Lista de Chequeo	99
4.5.2	Entrevista.....	100
4.5.3	Encuesta.....	101
4.5.4	Matriz de valoración cuantitativa de impactos antrópicos	103
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		106
5.1	CONCLUSIONES	106
5.2	RECOMENDACIONES	107
BIBLIOGRAFIA		108
ANEXOS		111

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Condiciones de Oxígeno Disuelto en lagunas.....	26
Tabla 2 Método y procedimiento para la medición de Nitratos.	32
Tabla 3 Método y procedimiento para la medición de Nitritos.	32
Tabla 4 Método y procedimiento para la medición de Nitrógeno Amoniacal.	33
Tabla 5 Método y procedimiento para la medición de Fósforo.....	34
Tabla 6 Método y procedimiento para la medición de Oxígeno Disuelto.....	34
Tabla 7 Método y procedimiento para la medición de Demanda Química de Oxígeno.	35
Tabla 8 Método y procedimiento para la medición de pH.	36
Tabla 9 Método y procedimiento para la medición de Conductividad.	36
Tabla 10 Método y procedimiento para la medición de Temperatura.	37
Tabla 11 Método y procedimiento para la medición de Sólidos Totales.	37
Tabla 12 Clasificación y categoría trófica según OCDE.....	45
Tabla 13 Clasificación y categoría trófica según APHA.	46
Tabla 14 Clasificación y categoría trófica según CARLSON para el Fósforo.....	47
Tabla 15 Clasificación y categoría trófica según CARLSON para el Nitrógeno.	48
Tabla 16 Clasificación y categorías tróficas según CARLSON.	48
Tabla 17 Ecuaciones para calcular el estado trófico utilizando los parámetros de eutrofización.....	48
Tabla 18 Check List de las actividades humanas que podrían influir en la eutrofización de la laguna Valle Hermoso.	50
Tabla 19 Convenciones y Valoración.	53
Tabla 20 Matriz Apriorística para la estimación de los factores antrópicos que influyen en la eutrofización en la laguna Valle Hermoso.	53
Tabla 21 Valores de profundidad a lo largo de la laguna.	58
Tabla 22 Valores de profundidad en el Tramo 1 de la laguna.....	59
Tabla 23 Valores de profundidad en el Tramo 2 de la laguna.....	60
Tabla 24 Valores de profundidad en el Tramo 3 de la laguna.....	61
Tabla 25 Ancho de la Laguna Valle Hermoso.....	62
Tabla 26 Valores del largo de la laguna.	63
Tabla 27 Anchos y profundidades de para cada tramo de la laguna Valle Hermoso.....	64
Tabla 28 Matriz de transectos de la laguna Valle Hermoso.	64
Tabla 29 Ancho obtenido mediante ArcGIS.	68
Tabla 30 Largo obtenido por ArcGIS.	68
Tabla 31 Volumen y Área obtenidos por ArcGIS.....	69
Tabla 32 Resumen de los resultados morfométricos de la laguna Valle Hermoso.....	71
Tabla 33 Comparación de las condiciones del agua de la laguna.....	72
Tabla 34 Valores de Potencial de Hidrogeno del Tramo 1	73
Tabla 35 Valores de Potencial de Hidrogeno del Tramo 2.....	74
Tabla 36 Valores de Potencial de Hidrogeno del Tramo 3.....	75
Tabla 37 Valores de Conductividad del Tramo 1.	76
Tabla 38 Valores de Conductividad del Tramo 2.	77
Tabla 39 Valores de Conductividad del Tramo 3.	78
Tabla 40 Valores de Temperatura del Tramo 1	79
Tabla 41 Valores de Temperatura del Tramo 2.	80
Tabla 42 Valores de Temperatura del Tramo 3.	81

Tabla 43 Valores de Sólidos Totales del Tramo 1.....	83
Tabla 44 Valores de Sólidos Totales del Tramo 2.....	84
Tabla 45 Valores de Sólidos Totales del Tramo 3.....	85
Tabla 46 Valores de Transparencia del Tramo 1.....	86
Tabla 47 Valores de Transparencia del Tramo 2.....	87
Tabla 48 Valores de Transparencia del Tramo 3.....	88
Tabla 49 Categoría Trófica del Fósforo según método OCDE de la laguna Valle Hermoso.....	89
Tabla 50 Estado de Eutrofia del Fósforo según método CARLSON de la laguna Valle Hermoso.	91
Tabla 51 Estados Tróficos del Nitrógeno según método APHA de la laguna Valle Hermoso. ...	93
Tabla 52 Estado de Eutrofia del Nitrógeno según método CARLSON de la laguna Valle Hermoso.	94
Tabla 53 Categorías Tróficas de la transparencia según método OCDE de la laguna Valle Hermoso.	96
Tabla 54 Categorías Tróficas de la transparencia según método CARLSON de la laguna Valle Hermoso.	97
Tabla 55 Resultados de la inspección de las actividades humanos en la laguna Valle Hermoso.	99
Tabla 56.....	104
Tabla 57 Matriz Apriorística para la estimación de los factores antrópicos	104

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Puntos de muestreo de la Laguna Valle Hermoso.	30
Figura 2 Disco Secchi para medición de profundidad y transparencia.	39
Figura 3 Mapa del área de estudio.	56
Figura 4 Puntos y tramos de medición de la laguna Valle Hermoso. Fuente: Autores.	57
Figura 5 Modelado 3D Laguna Valle Hermoso.	58
Figura 6 Gráfica de la profundidad del Tramo 1.	60
Figura 7 Gráfica de la profundidad del Tramo 2.	61
Figura 8 Gráfica de la profundidad del Tramo 3.	62
Figura 9 Gráfico de dispersión de la profundidad por teledetección.	67
Figura 10 Gráfico de dispersión de la profundidad por Espectroradiómetro.	70
Figura 11 Gráfica de Potencial de Hidrogeno del Tramo 1.	73
Figura 12 Gráfica de Potencial de Hidrogeno del Tramo 2.	74
Figura 13 Gráfica de Potencial de Hidrogeno del Tramo 3.	75
Figura 14 Gráfica de Conductividad del Tramo 1.	76
Figura 15 Gráfica de Conductividad del Tramo 2.	77
Figura 16 Gráfica de Conductividad del Tramo 3.	78
Figura 17 Gráfica de Temperatura del Tramo 1.	80
Figura 18 Gráfica de Temperatura del Tramo 2.	81
Figura 19 Gráfica de Temperatura del Tramo 3.	82
Figura 20 Gráfica de Sólidos Totales del Tramo 1.	83
Figura 21 Gráfica de Sólidos Totales del Tramo 2.	84
Figura 22 Gráfica de Sólidos Totales del Tramo 3.	85
Figura 23 Gráfica de Transparencia en el Tramo 1.	86
Figura 24 Gráfica de Transparencia en el Tramo 2.	87
Figura 25 Gráfica de Transparencia en el Tramo 3.	88
Figura 26 Gráfica de las Categorías Tróficas del Fósforo según el método OCDE.	90
Figura 27 Gráfica de los Estado de Eutrofia del Fósforo según el método CARLSON.	92
Figura 28 Gráfica de los Estado de Eutrofia del Fósforo según el método APHA.	94
Figura 29 Gráfica de los Estado de Eutrofia del Nitrógeno según el método CARLSON.	95
Figura 30 Gráfica de los Estado de Eutrofia de la Transparencia según el método OCDE.	97
Figura 31 Gráfica de los Estado de Eutrofia de la Transparencia según el método CARLSON.	98

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.	41
Ecuación 2.	42
Ecuación 3.	42
Ecuación 4.	43

RESUMEN

El presente trabajo de investigación evalúa el grado de eutrofización de la Laguna Valle Hermoso, ubicada en el cantón Guano, provincia de Chimborazo, Ecuador, en base a tres métodos de evaluación batimétrica (manual, teledetección y Espectroradiómetro), que permite valorar las características físico-químicas y morfométricas de la laguna.

Los resultados obtenidos mediante la batimetría mostraron que la laguna presenta aguas predominantemente poco profundas, con un máximo de 2.72 metros y una media de 1.89 metros. El método manual demostró mayor precisión en la estimación de la profundidad. En contraste, el método de teledetección subestimó los valores, tanto en la profundidad promedio como en la máxima, con un error del 9%, lo que sugiere que, factores como la resolución espacial de las imágenes satelitales y la nubosidad influyeron en los resultados. El Espectroradiómetro, por su parte, mostró un rendimiento intermedio con un error bajo de 4.5%, lo que lo convierte en una opción viable, aunque con ciertas limitaciones.

El análisis del grado de eutrofización, utilizando los métodos OCDE 1982, APHA 1981 y CALSON 1977, registró que la laguna se encuentra en un estado entre eutrófico e hipertrófico. Entre las principales causas de eutrofización fueron identificadas, el uso intensivo de fertilizantes, la presencia de cultivos circundantes, el pastoreo de animales y la extracción de agua para riego. Estos factores provocan la pérdida del espejo de agua, alteraciones en la biodiversidad acuática y un incremento en la concentración de nutrientes, lo que afecta negativamente la calidad del agua.

Se elaboró una matriz apriorística para estimar los factores antrópicos que influyen en la eutrofización, la cual reflejó que el uso de fertilizantes químicos y el pastoreo representan los mayores factores de riesgo, con una influencia alta sobre el proceso de eutrofización.

Este estudio concluye que es necesario implementar acciones correctivas para mitigar la contaminación de la laguna, como la promoción de prácticas agrícolas más sostenibles, la regulación del pastoreo en las áreas circundantes y el fortalecimiento de la gestión de residuos sólidos. La colaboración entre autoridades locales, la comunidad y otros actores clave es fundamental para lograr la conservación y restauración de este ecosistema acuático.

Palabras clave: Morfometría, eutrofización, laguna Valle Hermoso, factores antrópicos.

ABSTRACT

This study evaluates the degree of eutrophication in Laguna Valle Hermoso, located in the Guano Canton, Chimborazo Province – Ecuador. This study used three bathymetric methods (manual, remote sensing, and spectroradiometry) to assess the lagoon's physical-chemical and morphometric characteristics. Bathymetric results revealed that the lagoon's waters are predominantly shallow, with a maximum depth of 2.72 meters and an average of 1.89 meters. The manual method provided the most accurate depth measurements, while the remote sensing approach underestimated both average and maximum depths by 9%, likely due to factors such as satellite image resolution and cloud cover. The spectroradiometer showed intermediate accuracy with a low error rate of 4.5%, making it a viable, though limited, option for bathymetric analysis. Eutrophication analysis, based on the OECD 1982, APHA 1981, and CALSON 1977 methods, indicated that the lagoon is in a state between eutrophic and hypertrophic. Key contributors to eutrophication include excessive fertilizer use, surrounding agricultural activities, animal grazing, and water extraction for irrigation. These factors lead to reduced water surface area, disruptions in aquatic biodiversity, and increased nutrient concentrations, all of which negatively affect water quality. An a priori matrix assessing anthropogenic influences revealed that chemical fertilizers and grazing are the most significant risk factors driving eutrophication. The study concludes that corrective actions are necessary to reduce pollution in the lagoon, including promoting sustainable agricultural practices, regulating grazing, and improving solid waste management. Collaborative efforts among local authorities, the community, and other stakeholders are essential for the conservation and restoration of this vital aquatic ecosystem.

Keywords: Morphometry, eutrophication, Valle Hermoso lagoon, anthropogenic factors.

Reviewed by

ADRIANA
XIMENA
CUNDAR
RUANO

Firmado
digitalmente por
ADRIANA XIMENA
CUNDAR RUANO
Fecha: 2024.12.17
21:57:09 -05'00'

MsC. Adriana Ximena Cundar Ruano, Ph.D.
ENGLISH PROFESSOR
C.C. 1709268534

CAPÍTULO I. INTRODUCCION

1.1 Antecedentes

Las lagunas, formadas en depresiones naturales por procesos como la deposición glacial o la erosión (Benavides et al., 2008), son ecosistemas clave en la regulación ambiental y el suministro de agua para diversas actividades humanas. Su profundidad varía considerablemente, desde cuerpos someros hasta formaciones de más de 2000 metros de profundidad.

El análisis batimétrico del lago Pomacochas en Perú (Barboza Castillo et al., 2014) ejemplifica la utilidad de herramientas digitales, como el software Surfer v.10.1, para modelar la morfometría de cuerpos de agua. Este estudio determinó un volumen de 137 millones de metros cúbicos y un área de 4 millones de metros cuadrados, destacando la influencia de la estacionalidad en estos parámetros.

Soria et al., (2017) exploraron tecnologías avanzadas como la teledetección y los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para el análisis de cuerpos de agua poco profundos. Utilizando el modelo SRTM y técnicas de filtrado digital, se obtuvieron mediciones altimétricas precisas en lagunas de baja profundidad, optimizando así la creación de modelos de distribución y delimitación de superficies acuáticas.

Uno de los principales desafíos ambientales asociados a estos cuerpos de agua es la eutrofización, causada por el exceso de nutrientes como fósforo y nitrógeno, que altera el equilibrio ecológico. Goretti et al., (2018), subrayan la necesidad de implementar herramientas de monitoreo, como el índice de CARLSON y la clasificación de la OCDE, para clasificar el estado trófico de lagos y lagunas. Estos índices se basan en variables como la profundidad de visibilidad del disco Secchi y las concentraciones de fósforo, permitiendo una evaluación integral de los niveles de eutrofización.

Estudios locales, como el realizado por Escobar-Arrieta et al., (2021), en la laguna Colta, ubicada en la provincia de Chimborazo, Ecuador, han aportado datos valiosos sobre la calidad fisicoquímica de cuerpos de agua en zonas de altura. Durante dos años, se monitorearon parámetros como el pH, la conductividad eléctrica y los sólidos disueltos totales, revelando que la laguna presentaba condiciones eutróficas con parámetros relativamente estables a lo largo del tiempo.

Además de los estudios de calidad del agua, investigaciones como la de (Fritschy & Glur, 2011), en Santa Fe, Argentina, destacan la interacción entre las condiciones socioeconómicas y los

impactos ambientales en lagunas urbanas. Estos análisis subrayan la relación entre las actividades humanas y la descarga de contaminantes, como las microfibras sintéticas, que afectan negativamente a los ecosistemas acuáticos.

En base a los antecedentes revisados, se observa la relevancia de utilizar herramientas de batimetría, teledetección y sistemas de información geográfica para la caracterización precisa de cuerpos de agua, así como la importancia de evaluar su estado trófico mediante índices como los de CARLSON y OCDE (Goretti et al., 2018). Estos enfoques metodológicos resultan pertinentes para los objetivos de este estudio, que buscan determinar la morfometría y el grado de eutrofización de la laguna Valle Hermoso del Cantón Guano. A través de la aplicación de métodos avanzados y el análisis de factores antrópicos, será posible comprender cómo las actividades humanas están influyendo en la calidad y sostenibilidad de este ecosistema acuático.

1.2 Planteamiento del problema

Ecuador, reconocido por su megadiversidad, alberga numerosos cuerpos hídricos esenciales para la regulación ecosistémica, la provisión de agua y el hábitat de múltiples especies. Estos cuerpos también reflejan cambios ambientales asociados al cambio climático. Sin embargo, lagunas urbanas como Valle Hermoso enfrentan amenazas derivadas de actividades antrópicas, comprometiendo su biodiversidad y funcionalidad ecológica.

La eutrofización, un fenómeno impulsado por el exceso de nutrientes, principalmente fósforo y nitrógeno, se ha convertido en un problema crítico en la laguna Valle Hermoso. Este proceso no solo altera el equilibrio ecológico del ecosistema acuático, sino que también genera efectos adversos como la proliferación desmesurada de especies vegetales invasoras, incluyendo totora, lo que resulta en la degradación de la calidad del agua, malos olores, y un impacto visual negativo debido a la pérdida de flora y fauna. A pesar de estos problemas, la atención de las entidades gubernamentales hacia el análisis y caracterización de la laguna ha sido limitada, dejando una brecha significativa en el conocimiento científico y en las acciones de conservación necesarias.

Aunque se han realizado estudios sobre la calidad del agua, como el de (Romero, 2019), sobre la salubridad de los nutrientes en época de estiaje, la falta de análisis morfométricos limita una comprensión integral del sistema limnético. Estos análisis son esenciales para determinar el

volumen, la profundidad y la topografía del fondo, elementos clave para evaluar la dinámica de nutrientes y la salud del ecosistema.

En este contexto, la ausencia de información detallada y actualizada sobre la laguna Valle Hermoso plantea un desafío significativo para su gestión y conservación. Por lo tanto, esta investigación tiene como objetivo principal determinar la morfometría de la laguna mediante herramientas de teledetección, así como evaluar el grado de eutrofización utilizando los métodos OCDE, APHA y CARLSON. Asimismo, se busca identificar y estimar los factores antrópicos que influyen en este proceso, proporcionando así un enfoque integral para la gestión sostenible de la laguna y la conservación de su ecosistema.

1.3 Justificación

En Ecuador, las lagunas urbanas cumplen funciones recreativas importantes para la población y albergan una biodiversidad acuática y terrestre que incrementa su valor paisajístico (Cisterna Osorio et al., 2019). No obstante, enfrentan graves amenazas debido a actividades humanas como la contaminación y a fenómenos naturales como la sedimentación y la variabilidad climática.

La morfometría de las lagunas, que se refiere a sus características físicas y geométricas, es fundamental para entender su dinámica y funcionamiento. A través del análisis morfométrico, se pueden determinar aspectos como el tamaño, la forma, la profundidad, el volumen, el área y el perímetro de estos cuerpos de agua. Esta información es crucial para comprender los cambios que estas lagunas han experimentado a lo largo del tiempo, tanto por influencias naturales como antrópicas (Rodríguez Curcio et al., 2018).

Además de sus características geométricas, las lagunas presentan propiedades físico-químicas que son esenciales para el mantenimiento de la vida acuática, incluyendo la temperatura, pH, oxígeno disuelto, turbidez y concentración de nutrientes. Sin embargo, un aumento desproporcionado de nutrientes puede desencadenar la eutrofización, un proceso que resulta en el crecimiento excesivo de algas y la descomposición de plantas acuáticas, lo que a su vez reduce la disponibilidad de oxígeno, provoca la pérdida de vida acuática y puede llevar al colapso del ecosistema acuático (Rhosmi et al., 2021).

La laguna Valle Hermoso, ubicada en la parroquia El Rosario del cantón Guano, enfrenta una pérdida progresiva de la calidad de agua debido a factores naturales y antrópicos, como las prácticas agrícolas inadecuadas y la presencia de ganado en las cercanías, lo que incrementa la contaminación por excrementos. Estas condiciones han intensificado el proceso de eutrofización, afectando el equilibrio del ecosistema e impactando en las comunidades que dependen de este recurso.

En respuesta a esta problemática, la presente investigación tiene como objetivo determinar los parámetros físicos de la laguna Valle Hermoso mediante metodologías de medición directa e imágenes satelitales. Los resultados no solo validarán la precisión de las metodologías empleadas, sino que también permitirán evaluar el grado de eutrofización y su relación con las actividades humanas.

Los hallazgos de esta investigación proporcionarán a las autoridades locales información técnica pertinente para planificar e implementar medidas correctivas frente a la eutrofización. Esto permitirá prevenir la pérdida de la laguna Valle Hermoso, preservar su biodiversidad y garantizar su contribución a la gestión sostenible de los recursos hídricos en la región.

1.4 Objetivos.

1.4.1 General

Determinar la morfometría y el grado de eutrofización de la laguna Valle Hermoso del Cantón Guano.

1.4.2 Específicos

- Caracterizar la laguna Valle Hermoso mediante batimetría y herramientas de teledetección.
- Evaluar el grado de eutrofización de la laguna Valle Hermoso aplicando los métodos: (OCDE, APHA, CARLSON).
- Estimar los factores antrópicos que influyen en la eutrofización en la laguna Valle Hermoso.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.

2.1 Morfometría de cuerpos de agua

La morfometría es una herramienta fundamental en el análisis de cuerpos de agua, ya que permite comprender sus características físicas y geométricas, proporcionando información clave para estudios hidrológicos y ambientales. Según Barboza Castillo et al., (2014) el análisis morfométrico y batimétrico del lago Pomacochas, ubicado en la región de Amazonas, Perú, incluyó la realización de mediciones precisas mediante una lancha motorizada, estableciendo 25 transectos de oeste a este, con un espaciamiento regular de 100 metros. Estos datos permitieron calcular parámetros morfométricos esenciales, tanto primarios (volumen, área, perímetro, longitud máxima, amplitud máxima) como secundarios (profundidad media, relativa y pendiente).

El estudio reveló que el lago Pomacochas posee un desarrollo volumétrico de 1.28 y un desarrollo perimétrico de 1.16. La profundidad relativa fue estimada en 3.25 %, mientras que la amplitud media se calculó en 1523.50 metros, con una pendiente media de 6,49 %. Estos valores indican una configuración morfométrica típica de un lago con desarrollo moderado, con una relación significativa entre el perímetro y el volumen, lo que sugiere un sistema lacustre con condiciones estables en cuanto a su capacidad de almacenamiento de agua y su dinámica hídrica interna.

En estudios de morfometría de cuerpos de agua, la combinación de mediciones batimétricas y morfométricas proporciona una visión integral del comportamiento del lago y sus implicaciones ecológicas, lo que permite evaluar su respuesta a factores externos, como la eutrofización y el cambio climático. La recopilación de estos parámetros no solo es crucial para la caracterización física, sino también para modelar y gestionar el recurso hídrico de manera sostenible.

2.1.1 Teledetección

La teledetección es un procedimiento fundamental en la obtención de información para el análisis de ecosistemas acuáticos, permitiendo el estudio de áreas extensas sin necesidad de contacto físico. Este enfoque se basa en la captura de datos mediante sensores remotos, que pueden incluir imágenes satelitales y aéreas, y resulta crucial para evaluar la morfometría y batimetría de cuerpos de agua. Según Fornerón et al., (2010). La integración de técnicas de teledetección con índices morfométricos y batimetría proporciona una visión holística del entorno acuático, facilitando la comprensión de sus características y dinámica.

En un estudio realizado por Soria et al., (2017). Se empleó el modelo SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) y filtros de paso bajo para analizar la morfometría de lagunas poco profundas. Esta metodología permitió la creación de máscaras de agua y una mejor comprensión de la distribución superficial de las masas de agua. Los algoritmos generados en este estudio demostraron ser herramientas efectivas para aumentar la resolución espacial y temporal de los datos, lo que a su vez permitió la obtención de mapas detallados del estado ecológico de diferentes cuerpos de agua. Así, la teledetección se posiciona como un recurso valioso para la gestión y conservación de los ecosistemas acuáticos, ofreciendo información precisa y actualizada que es vital para la toma de decisiones informadas.

2.1.2 Espectroradiómetro

El Espectroradiómetro es una herramienta usada para la investigación de lagunas y cuerpos de agua, utilizada para estudiar la composición química del agua y la distribución de la vegetación acuática. Su capacidad para analizar la reflectancia y absorción de diferentes longitudes de onda permite obtener información detallada sobre la calidad del agua y el estado del ecosistema. Este método complementa las técnicas de teledetección y batimetría manual, proporcionando un enfoque integral para el monitoreo ambiental.

En el estudio realizado por Erena et al., (2019)., sobre el Mar Menor, se emplearon imágenes satelitales combinadas con datos de radiómetros para analizar la calidad del agua. Esta sinergia entre tecnologías permitió una comprensión más profunda de los cambios temporales en el ecosistema acuático, identificando variaciones en la concentración de contaminantes y la salud de la vegetación acuática. La capacidad de crear mapas temáticos derivados de imágenes satelitales ofrece un enfoque innovador para la vigilancia casi en tiempo real de la calidad del agua, lo que resulta invaluable para la gestión de recursos hídricos interiores.

Además, el uso del espectro radiómetro permite la identificación de patrones y tendencias que pueden ser críticos para la toma de decisiones en la gestión ambiental, ayudando a implementar estrategias de conservación más efectivas. Así, este método se establece como un componente esencial en el arsenal de herramientas para la evaluación y monitoreo de ecosistemas acuáticos, ofreciendo datos precisos y oportunos que son vitales para la sostenibilidad de estos entornos.

2.2 Eutrofización

La eutrofización es un proceso de enriquecimiento excesivo de nutrientes en sistemas acuáticos, principalmente fósforo y nitrógeno, que desencadena un incremento acelerado en la

biomasa de organismos fotosintéticos, como algas y plantas acuáticas. Este proceso es generalmente inducido por actividades antropogénicas, incluyendo el vertido de aguas residuales y el uso excesivo de fertilizantes en la agricultura, que aumentan las cargas de nutrientes hacia los cuerpos de agua

El crecimiento masivo de algas, conocido como floración algal, genera la disminución de la transparencia del agua y altera el equilibrio ecosistémico. Una consecuencia crítica es la reducción del oxígeno disuelto, creando zonas hipóxicas que resultan letales para la fauna acuática, lo que deteriora significativamente la biodiversidad local (Luo et al., 2023).

Además, el aumento en la concentración de materia orgánica y la actividad de descomposición contribuyen a la degradación química y física de la calidad del agua, afectando su uso para consumo humano, riego y recreación

Ante este desafío, se han propuesto estrategias de mitigación centradas en la reducción de la carga de nutrientes mediante el control de fuentes puntuales y difusas, siendo fundamental la implementación de prácticas de manejo sostenible en cuencas hidrográficas.

2.3 Métodos de evaluación del grado de eutrofización

La evaluación de la eutrofización en ecosistemas acuáticos se basa en la medición de parámetros físicos, químicos y biológicos, como la concentración de nutrientes (fósforo y nitrógeno), la clorofila *a* y la transparencia del agua. Existen diversos métodos estandarizados que permiten clasificar el estado trófico de los cuerpos de agua, proporcionando un marco para la gestión y control del proceso eutrófico.

2.3.1 Método Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE)

El método de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), desarrollado en 1970 bajo la dirección de Vollenweider, establece un marco sistemático para evaluar la eutrofización en cuerpos de agua. Este método se fundamenta en indicadores críticos como el fósforo total (Pt), la clorofila *a*, y la transparencia del agua, que se mide con el disco de Secchi.

A partir de estos parámetros, se pueden clasificar los ecosistemas acuáticos en categorías tróficas que van desde oligotrófico hasta Hipereutrófico. Una experiencia destacada en la aplicación de este método fue el estudio de la laguna de La Cocha, donde se identificó un estado oligotrófico a Ultraoligotrófico, lo que indica una baja carga de nutrientes y buena calidad del agua (López et al., 2015).

Este resultado resalta la utilidad del método OCDE como herramienta de gestión para la evaluación y control de la eutrofización en cuerpos de agua, contribuyendo significativamente a la conservación de los ecosistemas acuáticos.

2.3.2 Método American Public Health Association (APHA)

El método de la American Public Health Association (APHA) proporciona un marco riguroso para evaluar el grado de eutrofización de los cuerpos de agua, utilizando valores numéricos que representan diversas variables tróficas. Este enfoque es fundamental para establecer un diagnóstico preciso sobre la calidad del agua, particularmente mediante la medición del nitrógeno, un nutriente clave en el proceso de eutrofización (Moreno et al., 2010).

Una aplicación notable de este método se llevó a cabo en el lago Hussain Sagar, donde se analizaron parámetros físico-químicos tales como temperatura, pH, y demanda química de oxígeno (DQO), así como la presencia de clorofila y coliformes totales. Los resultados de este estudio indicaron un grave estado de contaminación en el lago, atribuido principalmente a la descarga de aguas residuales domésticas y excrementos humanos, lo que evidenció un deterioro significativo de la calidad del agua (Kora et al., 2017).

Esta evaluación destaca la importancia del método APHA no solo para la determinación del estado trófico, sino también para orientar estrategias de gestión y recuperación de cuerpos de agua afectados por la eutrofización.

2.3.3 Método CARLSON

El método de CARLSON, propuesto en 1977, es uno de los índices más ampliamente utilizados para evaluar el estado trófico de los cuerpos de agua, proporcionando una escala que varía entre 0 y 100, abarcando desde condiciones oligotróficas hasta hipereutróficas. Este enfoque se fundamenta en la medición de la transparencia del agua utilizando el disco de Secchi, complementada con parámetros clave como la concentración de clorofila a y el fósforo total. La relación entre estos indicadores ha sido establecida previamente, lo que permite una evaluación robusta de la eutrofización (Moreno et al., 2010).

Un estudio relevante realizado en el lago Sipin Jambi aplicó el índice TSI de CARLSON para determinar su estado trófico. Los resultados de esta evaluación revelaron un significativo enriquecimiento de fosfato, lo cual es indicativo de una creciente eutrofización. Además, el modelo utilizado en este estudio predijo un aumento futuro en el valor TSI, sugiriendo una tendencia preocupante hacia una mayor degradación del ecosistema lacustre (Prabasari et al., 2017).

Esta metodología se presenta como una herramienta esencial no solo para la clasificación del estado trófico, sino también para la planificación de estrategias de manejo de recursos hídricos y la mitigación de impactos ambientales.

2.4 Parámetros Físico-Químicos

Los parámetros físico-químicos son medidas fundamentales que describen las propiedades intrínsecas de una muestra de agua, esenciales para evaluar su calidad y estado ecológico. Estos incluyen variables críticas como la temperatura, el pH, y la conductividad eléctrica, que reflejan el equilibrio químico y las condiciones físicas del medio acuático.

Un estudio realizado por Jácome,(2014) sobre las lagunas andinas de San Pablo y Yahuarcocha en Ecuador, empleó un enfoque integral para evaluar el estado trófico de estos cuerpos de agua a través de un análisis detallado de sus características físico-químicas. Entre los parámetros analizados se destacaron la transparencia, la conductividad eléctrica, el pH, la temperatura, la concentración de macronutrientes y la alcalinidad.

Los resultados de esta investigación revelaron que los sulfatos disueltos en el agua desempeñan un papel crucial en la dinámica trófica, al favorecer la incorporación de ciertas proteínas en los organismos acuáticos, lo que a su vez contribuye a la proliferación de algas verdes. Este hallazgo resalta la interconexión entre los parámetros físico-químicos y la salud del ecosistema acuático, subrayando la importancia de un monitoreo continuo y sistemático para la gestión sostenible de los recursos hídricos.

2.4.1 Fósforo Total

El fósforo y el nitrógeno son nutrientes esenciales necesarios para el crecimiento de las plantas en los lagos. De estos dos nutrientes, el fósforo se considera con mayor frecuencia el nutriente que regula la producción de algas en los lagos y el que es más fácil de controlar. El fósforo es la variable de preocupación con respecto a la eutrofización de lagos y embalses.

Junto con la clorofila_a de las algas y la transparencia del disco de Secchi, el fósforo se utiliza habitualmente para estimar el estado trófico de lagos y embalses. Vollenweider, 1968 y Sawyer,1947 clasificaron el estado trófico según la concentración de fósforo. Los lagos con concentraciones de fósforo inferiores a 10 µg/L se clasificaron como oligotróficos; concentraciones de fósforo entre 10 y 20 µg/L fueron indicativas de lagos mesotróficos; los lagos eutróficos tenían concentraciones de fósforo entre 20-100 µg/L y finalmente lagos con valores >100 µg/L indicar que se encuentran en un estado de hipereutrofia.

2.4.2 Nitrógeno Total

El nitrógeno también es un nutriente esencial para el crecimiento de algas. A diferencia del fósforo, el control de las fuentes de nitrógeno es más difícil porque el nitrógeno puede ser asimilado directamente de la atmósfera por varios tipos de organismos. El nitrógeno no suele limitar el crecimiento de las plantas, de ahí que la mayoría de los esfuerzos relacionados con la eutrofización en todo el mundo se centren en el fósforo.

Hay varias formas de nitrógeno a considerar y su ciclo es complejo en comparación con el del fósforo. Las formas más comunes de preocupación en la evaluación de la eutrofización son los nitritos, nitratos, amoníaco y nitrógeno orgánico, medidos como nitrógeno Kjeldahl Total (TKN) siendo la medida más útil y la que permite identificar los índices de eutrofización para embalses y lagunas. Siendo así que valores <3 son cuerpos de agua que se encuentran en un estado Oligotrófico; las lagunas Mesotróficas poseen un índice de eutrofización entre 3 a 5 y las Eutróficas valores >5 .

2.4.3 Oxígeno disuelto

En los estudios relacionados con la eutrofización se toman habitualmente perfiles de oxígeno disuelto (OD) y de temperatura. Estas mediciones son esenciales para caracterizar el estado de mezcla y para determinar la presencia o ausencia de oxígeno sobre los sedimentos, la tasa de agotamiento del oxígeno hipolimnético, el número de días de anoxia y si el lago tiene un hábitat adecuado para especies de peces sensibles (Tabla 1).

Tabla 1

Condiciones de Oxígeno Disuelto en lagunas.

OD mg/L	Condición	Consecuencias
0	Anoxia	Muerte masiva de organismos aerobios
0-5	Hipoxia	Desaparición de organismos y especies sensibles
5-8	Aceptable	(OD) adecuadas para la vida de la gran mayoría de especies de peces y otros organismos acuáticos
8-12	Buena	(OD) adecuadas para la vida de la gran mayoría de especies de peces y otros organismos acuáticos
>12	Sobresaturada	Sistemas en plena producción fotosintética

Fuente: (Escobar-Arrieta et al., 2021),

2.5 Disco Secchi

El disco Secchi es un instrumento ampliamente reconocido en la limnología para medir la transparencia del agua en ecosistemas acuáticos, incluyendo lagos, ríos y océanos. Este dispositivo consiste en un disco de aproximadamente 20.00 a 30.00 centímetros de diámetro, generalmente pintado de blanco, que se sumerge verticalmente en el agua. La profundidad a la que el disco deja de ser visible es un indicador crucial de la cantidad de luz que penetra en el cuerpo de agua, reflejando la concentración de materia en suspensión, como fitoplancton, sedimentos y otros contaminantes (Wetzel & Likens, 2000).

El estudio de (Escobar-Arrieta et al., 2021), en la laguna Colta, Ecuador, empleó el disco Secchi para evaluar la transparencia del agua. Los resultados de este análisis revelaron un estado eutrófico en la laguna, lo que sugiere la presencia de un ecosistema lacustre con un aumento significativo de nutrientes que favorecen el crecimiento de algas. Sin embargo, el estudio también indicó que, a pesar de la clasificación eutrófica, los parámetros fisicoquímicos del agua se mantuvieron relativamente estables a lo largo del tiempo.

La medición de la transparencia del agua mediante el disco Secchi es vital no solo para evaluar la calidad del agua, sino también para entender la dinámica del ecosistema, ya que una menor transparencia puede estar asociada con la disminución de la biodiversidad, el incremento de la sedimentación y la alteración de las comunidades acuáticas (Klein et al., 2016). Además, el disco Secchi se ha convertido en una herramienta estándar para monitorear la eutrofización en diferentes cuerpos de agua, proporcionando datos comparables a través de diversas regiones y épocas (Carlson, 1977). La aplicación de este método contribuye significativamente a la gestión de recursos hídricos y a la conservación de ecosistemas acuáticos.

CAPITULO III. METODOLOGIA.

3.1 Tipo de investigación.

La investigación se enmarca en el enfoque cuantitativo, ya que analiza datos numéricos relacionados con la morfometría de la Laguna Valle Hermoso y los parámetros de eutrofización, como las concentraciones de nutrientes (fósforo y nitrógeno), oxígeno disuelto, pH, y transparencia del agua. La cuantificación de estas variables permitió la aplicación de métodos científicos rigurosos, como los propuestos por la OCDE, APHA y el índice de CARLSON, proporcionando un marco de referencia sólido para evaluar el grado de eutrofización de la laguna.

El enfoque cuantitativo resultó crucial para este tipo de estudio, ya que posibilitó identificar correlaciones entre los diferentes parámetros ambientales y morfométricos. De esta manera, se realizó una caracterización precisa del estado trófico de la laguna.

Adicionalmente, si bien el enfoque central es cuantitativo, la investigación también incorporó aspectos cualitativos para complementar el análisis numérico. La aplicación de entrevistas y encuestas dirigidas a actores clave permitió conocer su percepción sobre el estado de la laguna y las necesidades relacionadas con la conservación del ecosistema. Esta información cualitativa enriqueció el estudio al proporcionar un contexto socioambiental más amplio, facilitando una interpretación más integral de los resultados (Erena et al., 2019).

La combinación de enfoques cuantitativos y cualitativos asegurará una investigación robusta, donde los resultados basados en datos medibles estarán acompañados de una perspectiva comprensiva sobre las dinámicas ecosistémicas y sociales en torno a la laguna, garantizando así la aplicabilidad de las conclusiones y recomendaciones derivadas del estudio (Sarduy Domínguez, 2007).

3.2 Diseño de investigación

El diseño de investigación propuesto para este estudio es de tipo observacional y transversal, centrado en la observación y medición de las variables clave, como la morfometría de la laguna y los parámetros de eutrofización, en un momento específico en el tiempo. Este enfoque fue el más adecuado para caracterizar el estado actual de la Laguna Valle Hermoso sin alterar el entorno natural ni manipular activamente las variables bajo estudio.

3.2.1 Diseño observacional

El enfoque observacional permitió no influir ni modificar el comportamiento de las variables, sino que se limitó a registrar las condiciones actuales de la laguna. Se realizaron

mediciones directas de las variables morfométricas, como profundidad, largo, ancho, y de los parámetros de eutrofización, como las concentraciones de nutrientes, oxígeno disuelto, pH, transparencia del agua.

Estas mediciones se llevaron a cabo en el entorno natural del cuerpo de agua, permitiendo un diagnóstico preciso y objetivo basado en datos empíricos. Este diseño observacional fue fundamental para obtener un panorama claro y detallado sobre el estado actual de la laguna (Anguera et al., 2018).

3.2.2 Diseño transversal

Se aplicó el enfoque transversal porque la investigación consideró un único punto temporal, proporcionando una instantánea de las condiciones tróficas y morfométricas de la laguna en ese momento específico.

La recolección de datos durante un periodo determinado permitió capturar las características actuales del ecosistema sin necesidad de evaluar cómo varían a lo largo del tiempo. Este diseño fue particularmente útil para diagnosticar y evaluar las condiciones de la laguna en un momento puntual, como lo requiere el objetivo del presente estudio (Briceño et al., 2018).

3.3 Técnicas de Recolección de Datos

3.3.1 Muestreo de Agua

El muestreo del agua se realizó durante la temporada seca, específicamente en el mes de agosto de 2024, considerando que en el Ecuador esta temporada abarca de junio a septiembre, mientras que la temporada lluviosa se extiende de octubre a mayo.

Se seleccionaron tres puntos de muestreo con el objetivo de garantizar una caracterización representativa de las condiciones físico-químicas de la laguna y evaluar con precisión su grado de eutrofización. Los puntos de muestreo se distribuyeron estratégicamente (Figura 1) de la siguiente manera:

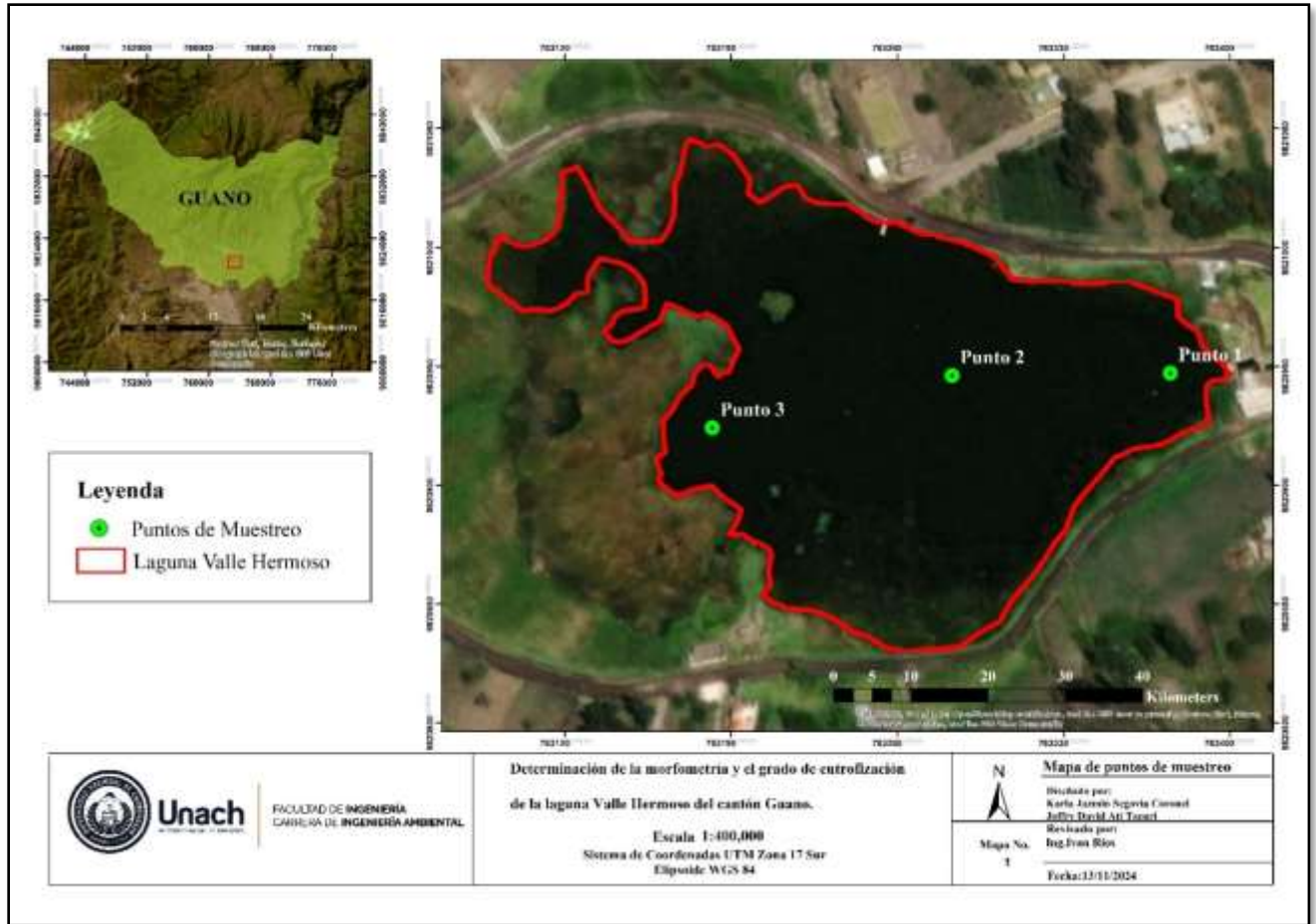
- **Puntos 1 y 3:** Ubicados a 10 metros de los bordes del lado oeste y este de la laguna, respectivamente. Estos puntos permiten evaluar las zonas de baja profundidad, donde suelen darse procesos de interacción entre el agua y el entorno terrestre, como el ingreso de nutrientes, mayor exposición a la luz solar y un potencial desarrollo de macrófitas o vegetación emergente.
- **Punto 2:** Situado en el centro de la laguna, corresponde a la zona más profunda. Este punto es crucial para analizar las condiciones específicas de la columna de agua, donde pueden

presentarse fenómenos como la estratificación térmica, variaciones en la disponibilidad de oxígeno y acumulación de nutrientes, los cuales difieren significativamente de las zonas bajas.

Esta metodología se sustenta en las recomendaciones establecidas en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2017), que destaca la importancia de seleccionar puntos de muestreo representativos en función de la variabilidad espacial del cuerpo de agua. La calidad del agua dentro de un mismo sistema acuático puede variar debido a gradientes físicos, químicos y biológicos asociados a factores como el ingreso de nutrientes desde los bordes, la fotosíntesis en zonas de mayor incidencia solar y la acumulación de materia orgánica en áreas profundas.

Figura 1

Puntos de muestreo de la Laguna Valle Hermoso.



Fuente: Autores.

3.3.2 Análisis de laboratorio.

Los análisis de las muestras de agua se llevaron a cabo en el Laboratorio de Servicios Ambientales de la Universidad Nacional de Chimborazo. A cada muestra se le aplicaron pruebas específicas siguiendo los protocolos establecidos en metodologías estandarizadas, como las contenidas en Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2017).

El objetivo de los análisis fue cuantificar las características fisicoquímicas de interés para el estudio, incluyendo los niveles de nitratos, nitritos, nitrógeno amoniacal, fósforo, oxígeno disuelto y demanda química de oxígeno (DQO). Estos parámetros fueron seleccionados debido a su relevancia en la evaluación del grado de eutrofización de cuerpos de agua.

Los datos obtenidos permitieron relacionar las concentraciones de estos compuestos entre sí, identificando posibles interacciones y patrones que pudieran contribuir a caracterizar las

condiciones tróficas de la Laguna Valle Hermoso. Este enfoque asegura que el análisis sea riguroso y que las conclusiones derivadas del estudio estén respaldadas por evidencias cuantitativas.

Tabla 2

Método y procedimiento para la medición de Nitratos.

Método	Procedimiento	Materiales y Equipos
STANDARD METHODS 4500 – NO ₃ E mod.	<p>En este método, los nitratos presentes en la muestra reaccionan con el ácido sulfosalicílico en un medio ácido, formando un complejo de color amarillo. La intensidad del color es proporcional a la concentración de nitratos en la muestra.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se prepara una solución de ácido sulfosalicílico. • Este reactivo se añade a la muestra de agua que contiene nitratos. En un medio ácido, los nitratos reaccionan con el ácido sulfosalicílico para formar un complejo de nitrosalicilato de color amarillo. • Después de la reacción, se mide la absorbancia de la solución amarilla utilizando un espectrofotómetro a una longitud de onda de 410 nm. 	Espectrofotómetro.

Tabla 3

Método y procedimiento para la medición de Nitritos.

Método	Procedimiento	Materiales y Equipos
STANDARD METHODS 4500 – NO ₂ B mod.	<p>Este método es un análisis colorimétrico donde los nitritos reaccionan en medio ácido con sulfanilamida para formar un compuesto.</p> <ul style="list-style-type: none"> • A una alícuota de la muestra de agua(10ml) se le agrega una solución de sulfanilamida en medio ácido (generalmente ácido acético). 	Espectrofotómetro.

- Posteriormente, se añade el reactivo de N-(1-naftil)-etilendiamina dihidrocloruro (NED).
- La muestra se deja reposar durante unos 20 minutos para permitir el desarrollo del color rosa-rojizo.
- La intensidad del color desarrollado se mide utilizando un espectrofotómetro a una longitud de onda de 543 nm.

Tabla 4

Método y procedimiento para la medición de Nitrógeno Amoniacal.

Método	Procedimiento	Materiales y Equipos
STANDARD METHODS 4500-NH ₃ B.	<p>En el método de Nessler, el amonio (NH₄⁺) reacciona con el reactivo de Nessler, que es una solución de yodo mercúrico (HgI₂) y yoduro de potasio (KI) en un medio alcalino. Esta reacción produce un complejo de color amarillo, cuya intensidad es proporcional a la concentración de nitrógeno amoniacal en la muestra.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se toma una alícuota de la muestra de agua (10 ml) y se añade el reactivo de Nessler. • El amonio en la muestra reacciona con el reactivo de Nessler, formando un complejo de color amarillo. • Si la concentración de amonio es alta, el color puede volverse marrón. • La intensidad del color amarillo se mide usando un espectrofotómetro, generalmente a una longitud de onda de 425 nm. 	Espectrofotómetro.

Tabla 5

Método y procedimiento para la medición de Fósforo.

Método	Procedimiento	Materiales y Equipos
STANDARD METHODS 4500 -P – E.	<p>Se basa en la determinación colorimétrica de fosfatos (ortofosfatos) en una muestra de agua utilizando el reactivo de molibdato de amonio y ácido ascórbico.</p> <ul style="list-style-type: none">• Se añade ácido ascórbico para reducir el fosfomolibdato de amonio y obtener el color azul característico.• Se toma una alícuota (10 ml) de la muestra de agua y se mezcla con el reactivo preparado.• Se deja reposar la mezcla durante un tiempo específico (generalmente unos 2 minutos) para permitir que se desarrolle el color.• Se mide la absorbancia de la solución coloreada a una longitud de onda de 880 nm utilizando un espectrofotómetro.• La absorbancia es directamente proporcional a la concentración de fosfatos en la muestra.	Espectrofotómetro.

Tabla 6

Método y procedimiento para la medición de Oxígeno Disuelto.

Método	Procedimiento	Materiales y Equipos
---------------	----------------------	-----------------------------

STANDARD METHODS 4500 – O-G.	Es un procedimiento electroquímico que emplea un electrodo polarográfico o galvánico para medir la cantidad de oxígeno presente en una muestra de agua. <ul style="list-style-type: none"> • Enjuaga el sensor con agua destilada o agua de la muestra que vas a medir para evitar contaminaciones. • Se introduce el sensor en la muestra de agua a la profundidad requerida. • Dejar que el medidor estabilice la lectura, lo cual puede tomar unos segundos. • Una vez estabilizada la lectura, anota el valor de oxígeno disuelto que se muestra en la pantalla, generalmente expresado en mg/L o % de saturación. 	Medidor Multiparámetro HQ40d.
------------------------------	--	-------------------------------

Tabla 7

Método y procedimiento para la medición de Demanda Química de Oxígeno.

Método	Procedimiento	Materiales y Equipos
STANDARD METHODS 5220 – D.	Cuando se digiere una muestra, el ion dicromato oxida el material COD en la muestra. <ul style="list-style-type: none"> • Enumerar los viales de DQO. • Con una pipeta agregar 2 ml de muestra en los viales. • Cerrar la capsula de viales y agitar hasta generar una reacción. • Colocar en las gradillas y transportar hacia el equipo Spectroquant TR320. • Colocar la capsula en el equipo durante 2 horas hasta que alcance una temperatura de 148°C. • Realizar la lectura de DQO en el equipo espectrofotómetro HACH DR/2010 en unidades de mg/L. 	Spectroquant TR320.

Adicional se tomó en cuenta algunos otros parámetros fisicoquímicos que se fueron medidos de forma in situ, tales como temperatura, conductividad, pH y Sólidos totales.

Tabla 8

Método y procedimiento para la medición de pH.

Método	Procedimiento	Materiales y Equipos
STANDARD METHODS 4500 - H – B.	<p>Este método permite la determinación del pH del agua. El principio básico de la medición electrométrica del pH es la determinación de la actividad de los iones de hidrógeno por medida potenciométrica utilizando un electrodo de hidrógeno estándar y un electrodo de referencia.</p> <ul style="list-style-type: none">• Colocamos las muestras en un vaso de precipitación de 50 ml.• Instalamos el electrodo dentro del vaso de precipitación.• Medimos el pH de cada muestra.	Medidor Mettler Toledo.

Tabla 9

Método y procedimiento para la medición de Conductividad.

Método	Procedimiento	Materiales y Equipos
STANDARD METHODS 2510-B.	<p>Mediante el electrodo de cristal del equipo, se lee y se registra el valor.</p> <ul style="list-style-type: none">• Encender el multiparámetro, Seleccionar el modo para medir la conductividad.• Colocar en un vaso de precipitación una muestra de agua residual.• Sumergir el electrodo y leer el valor que se muestra en la pantalla.	Medidor Multiparámetro HI.

Tabla 10

Método y procedimiento para la medición de Temperatura.

Método	Procedimiento	Materiales y Equipos
STANDARD METHODS 2510 B.	<ul style="list-style-type: none">• Colocar las muestras en un vaso de precipitación de 500 ml.• Insertar el electrodo en las muestras.• Observamos la temperatura que contiene cada muestra.	Medidor Multiparámetro HI.

Tabla 11

Método y procedimiento para la medición de Sólidos Totales.

Método	Procedimiento	Materiales y Equipos
STANDARD METHODS 2510-B.	Mediante el electrodo de cristal del equipo, se lee y se registra el valor. <ul style="list-style-type: none">• Encender el multiparámetro, Seleccionar el modo para medir los Sólidos Totales.• Colocar en un vaso de precipitación una muestra de agua residual.• Sumergir el electrodo y leer el valor que se muestra en la pantalla.	Medidor Multiparámetro HI.

Para determinar la morfometría y el grado de eutrofización de la laguna Valle Hermoso del cantón Guano, se desarrollaron las siguientes etapas:

3.4 Etapa I: Caracterización de la laguna Valle Hermoso mediante Batimetría y Herramientas de Teledetección

3.4.1 Georreferenciación de Área Estudio

La georreferenciación de la Laguna Valle Hermoso fue un proceso esencial para obtener datos espaciales precisos que permitieron mapear y analizar sus características físicas en detalle. Este procedimiento se llevó a cabo utilizando receptores GPS de alta precisión, los cuales

permitieron registrar coordenadas geográficas en puntos estratégicos de la laguna. Adicionalmente, se establecieron puntos de control en áreas de tierra firme, los cuales sirvieron como referencia para la alineación y georreferenciación de imágenes satelitales o aéreas en el software ArcGIS 10.5.

Este enfoque facilitó la generación de un mapa detallado de la laguna y permitió el análisis de variables como la topografía del fondo y la distribución de profundidades en distintas áreas.

3.4.2 Medición de la Profundidad

Para la determinación de la profundidad de la laguna se emplearon tres metodologías diferentes, con el objetivo de comparar sus resultados y evaluar la eficiencia de cada una en relación con la metodología manual, que fue tomada como referencia. Las técnicas utilizadas fueron las siguientes:

- Medición Directa
- Herramientas de Teledetección
- Estimación con Espectroradiómetro

3.4.2.1 Método Manual

Consistió en la medición directa de la profundidad utilizando herramientas tradicionales, garantizando un control en cada punto de muestreo seleccionado.

Procedimiento del Método Manual

a) Preparación de los equipos

- Se utilizaron los siguientes materiales y herramientas:
 - Pesa.
 - Cadena de 15 m.
 - Bote.
 - Chalecos de seguridad.
 - Guantes.
 - Botas de Caucho.
 - GPS.
 - Cuaderno.
 - Esferos.
 - Cinta de 20 metros.

- *Distribución de Transectos*

Se trazaron tres transectos principales de forma transversal (a lo ancho) de la laguna, definiendo puntos de medición cada 10 metros desde la orilla sur hasta la orilla norte.

Adicionalmente, se trazó un transecto longitudinal (a lo largo) de la laguna definiendo puntos de medición cada 20 metros desde su extremo más occidental hasta el más oriental. Este transecto permitió obtener mediciones complementarias y validar la continuidad de la batimetría en todo el eje principal de la laguna.

Se realizaron mediciones en un total de 53 puntos, distribuidos equitativamente entre los transectos transversales y longitudinales. Este diseño permitió cubrir áreas representativas y relevantes de la laguna.

- *Medición de la profundidad*

En cada punto de muestreo, se utilizó la cadena con peso, sumergiéndola desde el bote hasta que tocara el fondo. Se midió la longitud desplegada de la cadena con la cinta métrica, asegurando que estuviera perpendicular a la superficie del agua. Este valor correspondió a la profundidad en ese punto.

- *Medición de la transparencia*

En cada punto de muestreo, se empleó un disco Secchi para medir la transparencia del agua. Este procedimiento complementó las mediciones batimétricas con información sobre la calidad visual del agua.

Figura 2

Disco Secchi para medición de profundidad y transparencia.



Fuente: Autores.

b) Cálculo del Largo y Ancho

El ancho de la laguna Valle Hermoso se determinó manualmente mediante el uso de una cinta métrica de alta precisión. Para ello, se siguieron los siguientes pasos:

- 1. Identificación de puntos opuestos:** Se seleccionaron pares de puntos opuestos en las orillas de la laguna, asegurando que las mediciones fueran representativas de las secciones más anchas y angostas. Los puntos fueron georreferenciados utilizando un GPS para garantizar la correcta ubicación y repetibilidad de las mediciones.
- 2. Medición con cinta:** La cinta métrica se extendió horizontalmente desde un punto de la orilla hasta el punto opuesto, manteniendo la cinta tensa para minimizar desviaciones. Cada medición se realizó perpendicular al eje longitudinal de la laguna, asegurando la precisión en el registro de la distancia.
- 3. Registro de datos:** Se realizaron varias mediciones en diferentes secciones de la laguna. De las distancias registradas, se identificó el ancho máximo y se calculó un promedio de las mediciones para obtener un valor representativo.

c) Cálculo del Área

El área de la laguna Valle Hermoso fue calculada utilizando una medición directa basada en mediciones directas de campo y la aplicación del método de triangulación. El procedimiento se realizó de la siguiente manera:

- 1. Definición de puntos de medición:** Se delimitaron puntos alrededor del perímetro de la laguna, separados uniformemente cada 20 metros. Estos puntos fueron marcados y

georreferenciados con un GPS para asegurar precisión y permitir su identificación en mediciones futuras.

2. **Segmentación de la laguna:** El área de la laguna se dividió en una serie de triángulos imaginarios, tomando como referencia un punto central ubicado en el interior de la laguna. Cada triángulo se formó uniendo este punto central con dos puntos consecutivos del perímetro de la laguna.
3. **Medición de distancias:** Utilizando una cinta métrica, se midieron las distancias entre los puntos consecutivos del perímetro (base de cada triángulo) y desde cada punto del perímetro hasta el punto central (alturas correspondientes).
4. **Cálculo del área de cada sección transversal:** El área de cada triángulo se determinó aplicando la fórmula:

Ecuación 1.

Área de los tramos

$$A = \frac{\text{base} \times \text{altura}}{2}$$

Donde:

La base corresponde a la distancia medida entre los puntos consecutivos del perímetro.

La altura corresponde a la distancia desde el punto central al lado opuesto del triángulo.

Finalmente, se sumaron las áreas individuales de todos los triángulos para obtener el área total de la laguna.

d) Cálculo del Volumen

El cálculo manual del volumen de la laguna se realizó mediante el método de integración de áreas transversales, utilizando mediciones directas en campo. Este método es práctico y adecuado para estimar el volumen de cuerpos de agua con formas irregulares. A continuación, se detalla el procedimiento:

1. **Delimitación de Puntos de Medición:** En los transectos definidos a lo ancho de la laguna, se trazaron líneas imaginarias perpendiculares al eje longitudinal de la laguna para generar secciones transversales representativas.

2. Medición de Profundidades: En cada sección transversal, se realizaron mediciones de profundidad manualmente, las profundidades se tomaron en intervalos regulares cada 20 metros a lo largo de la línea transversal, desde un extremo de la laguna hasta el opuesto.

3. Cálculo de Áreas de las Secciones Transversales: Las áreas de las secciones transversales se calcularon utilizando la fórmula del trapecio para intervalos regulares:

Ecuación 2.

Área de secciones transversales.

$$A = \frac{d}{2} \times (h_1 + 2(h_2 + h_3 + \dots + h_{n-1}) + h_n)$$

Donde:

d es la distancia entre puntos consecutivos en la línea transversal.

h₁, h₂, ..., h_n son las profundidades medidas en cada punto.

e) Cálculo del Volumen Manual

El volumen total de la laguna se calculó mediante la utilización de las áreas superficiales y las distancias correspondientes, siendo las fórmulas las siguientes:

Ecuación 3.

Volumen por tramos

$$V(n) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) * L$$

3.4.2.2 Medición por Herramientas de Teledetección

Para llevar a cabo la medición de la profundidad de la laguna mediante las técnicas de teledetección, se emplearon imágenes satelitales provenientes de Sentinel 2, seleccionadas por su alta resolución espacial y la cantidad de celdas y píxeles disponibles. Estas imágenes fueron tomadas durante el invierno (época de lluvias), aprovechando las condiciones favorables para minimizar variables como:

- Cobertura de nubes

- Inclinación y ángulo de incidencia de la luz solar
- Presencia de distorsión atmosféricas

Estas condiciones reducen los efectos que pueden alterar la calidad de las imágenes, permitiendo un análisis más preciso de la laguna (Noyola & Vázquez, 2014).

a) Cálculo de la Profundidad mediante Regresión lineal

Para calcular la profundidad de la laguna a través del método de regresión lineal se requirió la formulación de una ecuación que será propia de la laguna (Ecuación 4), además de la utilización de las imágenes satelitales que fueron descargadas con el ajuste de bandas espectrales, junto con la generación de datos de entrenamiento que incluyen la profundidad real de la laguna, es decir, la medición in situ de forma manual (Noyola & Vázquez, 2014).

La ecuación que fue empleada para calcular la profundidad posee dos variables, que son extraídas de las imágenes satelitales, las bandas que fueron las variables independientes, y la profundidad obtenida in situ la variable dependiente. Tomando en cuenta que las bandas que fueron utilizadas.

Se utilizó una regresión lineal múltiple, se utilizarán varias bandas espectrales como variables independientes, la ecuación se generaliza de la siguiente manera:

Ecuación 4.

Ecuación Modelo de la Profundidad.

$$\text{Profundidad} = b_0 + b_1 * \text{Banda2} + b_2 * \text{Banda3} + b_4 * \text{Banda 4}$$

Donde:

Profundidad: variable dependiente

b0: es la intersección con el eje Y

b1 y b2: coeficientes de regresión asociados con cada banda espectral

Banda 1, Banda 2, Banda n: valores de las bandas espectrales para un píxel en la imagen satelital

b) Cálculo del Volumen y el Área con ArcGIS

En el cálculo del área y el volumen con el uso del software ArcGIS se requirió la batimetría realizada manualmente, junto con un modelo de elevación digital, para lo cual se hizo uso de las herramientas de la extensión 3D Analyst Tools, la cual permitió crear una red irregular de triángulos (TIN) para posteriormente transformarlo en un polígono y calcular el volumen de agua con el uso de la herramienta Polygon Volume, obteniendo los resultados en metros cúbicos en la tabla de atributos, es importante mencionar que una vez el programa presenta la tabla de atributos con el valor del volumen este incluye el valor de área. Sin embargo, el valor del área puede ser calculada en la misma tabla de atributos con la herramienta cálculos geométricos.

Posteriormente con el fin de observar la forma y profundidad máxima del lecho (batimetría de la laguna), se generó un modelo tridimensional con el uso de ArcScene.

3.4.2.3 Estimación con Espectroradiómetro

El uso de un Espectroradiómetro para medir la profundidad de la laguna es una metodología basada en la medición de las propiedades espectrales del agua, que permiten identificar patrones relacionados con la profundidad en función de las interacciones de la radiación electromagnética con la columna de agua. A continuación, se detalla el procedimiento seguido:

- 1. Selección del Equipo:** Se utilizó un Espectroradiómetro portátil de alta precisión, ASD FieldSpec, calibrado previamente para garantizar la exactitud de las mediciones.
- 2. Diseño del Muestreo:** Se establecieron puntos de medición distribuidos en el transecto longitudinal de la laguna. Estos puntos fueron determinados utilizando un sistema de posicionamiento global (GPS) para garantizar su ubicación precisa. En cada punto, se realizaron mediciones para obtener un promedio de la profundidad.
- 3. Captura de Datos:** En cada punto, el Espectroradiómetro midió la reflectancia del agua, que es el porcentaje de luz incidente reflejada desde la superficie hacia el sensor. Se registraron las firmas espectrales de la columna de agua, teniendo en cuenta las características de absorción y dispersión de la luz en diferentes profundidades.
- 4. Procesamiento de los Datos:** Una vez obtenido los datos este se los exporta al programa ViewSpecPro, el cual permite ver a talle las longitudes de onda para cada punto, por lo que en este caso se tomó en cuenta las de 490 nm, 560 nm y 665 nm, las cuales guardan relación con las Banda Azul, Verde y Rojo, respectivamente en Sentinel 2, posteriormente se crea una tabla para los 14 puntos con sus respectivos datos y se realizará el análisis estadístico mediante una regresión lineal. Es importante mencionar que este no proporciona

directamente la profundidad de la laguna, sino la reflectancia de la luz en el agua, por lo cual se hará una comparación con los datos de la profundidad obtenidos con el resto de las metodologías.

3.5 Etapa II: Evaluación del grado de eutrofización de la Laguna Valle Hermoso aplicando los métodos:(OCDE, APHA, CARLSON).

3.5.1 Método OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico)

El Método OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico) surgió en la década de 1970, cuando esta organización llevó a cabo un estudio sobre la eutrofización con la participación de científicos de 18 países, coordinado por Vollenweider

El estudio desarrolló una clasificación de categorías tróficas basada en las concentraciones de fósforo total (Pt), clorofila-a, nitrógeno total (Nt) y la transparencia, medida con el disco Secchi (Ds) (Tabla 12). Este método se basa en la relación entre estos parámetros y su influencia en el estado trófico de los ecosistemas acuáticos. Sin embargo, debido a la complejidad de las interacciones entre las variables involucradas, Janus y Vollenweider (1981) concluyeron que no es posible establecer límites estrictos entre las categorías tróficas (Moreno et al., 2010).

Tabla 12

Clasificación y categoría trófica según OCDE.

Categoría Trófica	P_{Total} (ug/L)	Transparencia Ds (m)
Ultraoligotrófico	< 4	> 6
Oligotrófico	4 - 10	6 - 3
Mesotrófico	10 - 35	3 – 1.5
Eutrófico	35 - 100	1.5 – 0.7
Hipertrófico	> 100	< 0.7

Nota: Ptotal:Fósforo total; y µg/L: Microgramo por litro.

En 1982, se definió una secuencia de niveles tróficos utilizando los valores de fósforo, clorofila "a" y transparencia, permitiendo clasificar sistemas acuáticos en diferentes categorías tróficas. Este enfoque ha sido ampliamente utilizado para evaluar la calidad del agua y la eutrofización en lagos y cuerpos de agua.

3.5.2 Método APHA (*American Health Association*)

El método APHA, propuesto por la American Public Health Association, es ampliamente utilizado para evaluar el estado trófico de lagos y cuerpos de agua a partir de diversas variables fisicoquímicas. Entre ellas, el nitrógeno en forma de nitrato (NO₃-N) juega un papel crucial, ya que es un indicador directo de la cantidad de nutrientes disponibles que pueden favorecer procesos de eutrofización.

Este método se basa en valores numéricos específicos y niveles de categorización que permiten clasificar el estado trófico de un cuerpo de agua de acuerdo con los niveles de nitrógeno. Según estudios recientes, el exceso de nitratos puede acelerar la eutrofización y causar efectos negativos en la biodiversidad acuática (Fraile et al., 1995). A nivel internacional, la clasificación general del estado trófico sigue estos patrones, dividiendo los cuerpos de agua en categorías como oligotrófico, mesotrófico, y eutrófico, según la concentración de nutrientes presentes.

El APHA ha actualizado constantemente sus estándares para reflejar avances en el análisis de calidad del agua, lo que hace que su metodología sea una referencia clave en estudios de gestión de recursos hídricos y eutrofización (APHA, 2022).

Tabla 13

Clasificación y categoría trófica según APHA.

Estado trófico	Nitrógeno (NO₃-N) (µg/L)
Oligotrófico	1 – 50
Mesotrófico	60 – 200
Eutrófico	> 200

Nota: (NO₃-N): Nitrógeno total en forma de nitrito y µg/L: Microgramo por litro.

3.5.3 Método CARLSON o índice de estado trófico (IET)

El Índice de Estado Trófico (IET) de CARLSON, propuesto en 1977, se ha consolidado como una de las herramientas más utilizadas para evaluar el estado trófico de ecosistemas acuáticos.

El método original se basa en la medición de la transparencia del agua mediante el disco de Secchi, lo que permite determinar la cantidad de luz que penetra a través de la columna de agua. Esta transparencia está influenciada por la concentración de sólidos suspendidos, volátiles y sedimentables, así como por la presencia de sistemas coloidales o soluciones complejas que afectan la refracción de la luz (Carlson, 1977). Sin embargo, el índice no se limita a esta variable, CARLSON también incorporó la concentración de fósforo total como un indicador clave, dada su relevancia en la productividad biológica de los sistemas acuáticos. El fósforo es un nutriente limitante en muchos ecosistemas y su exceso puede desencadenar procesos de eutrofización, estimulando la proliferación de algas y alterando el equilibrio ecológico.

El modelo de CARLSON combina la transparencia del agua, la concentración de fósforo y la biomasa fitoplanctónica (representada por la clorofila-a) en una ecuación para calcular el IET (Carlson, 1977). Este índice clasifica los cuerpos de agua en diferentes categorías tróficas (oligotrófico, mesotrófico, eutrófico e Hipereutrófico) basándose en la productividad biológica y el grado de eutrofización (Bărbulescu et al., 2020). Las recientes investigaciones han validado la aplicabilidad del IET en una amplia variedad de ecosistemas, incluyendo lagos tropicales, lo que demuestra su robustez para evaluar la calidad del agua en diversos contextos geográficos y ambientales. Además, el método ha sido actualizado y refinado para incorporar nuevas tecnologías y métodos de teledetección, ampliando su aplicabilidad a estudios a gran escala y monitoreo continuo de cuerpos de agua.

Tabla 14

Clasificación y categoría trófica según CARLSON para el Fósforo.

Estado de Eutrofia	Limite TSI
Oligotrófico	(TSI <30)
Mesotrófico	(30 < TSI < 50)
Eutrófico	(50 < TSI < 70)
Hipereutrófico	TSI > 70

Fuente: (Carlson, 1977)

Tabla 15

Clasificación y categoría trófica según CARLSON para el Nitrógeno.

Estado de Eutrofia	Limite TSI
Oligotrófico	(TSI <30)
Mesotrófico	(30 < TSI < 50)
Eutrófico	(50 < TSI < 70)
Hipereutrófica	TSI > 70

Fuente: (Carlson, 1977).

Tabla 16

Clasificación y categorías tróficas según CARLSON.

Estado de Eutrofia	TSI	Ds(m)
	0	64
Oligotrófico	10	32
TSI < 30	20	16
	30	8
Mesotrófico	40	4
30 < TSI < 60	50	2
	60	1
Eutrófico	70	0,5
60 < TSI < 90	80	0,25
	90	0,12
Hipereutrófico	100	0,06
90 < TSI < 100		

Fuente: (Carlson, 1977).

Tabla 17

Ecuaciones para calcular el estado trófico utilizando los parámetros de eutrofización.

Parámetros de Eutrofización	CARLSON
Fósforo total (Ptotal) (mg/m^3)	$TSI_{Ptotal} = 14.41 \ln(Ptotal) + 4.15$
Transparencia (Ds) (m)	$TSI_{Ds} = 60 - 14.41(\ln(Ds))$

Fuente: (Carlson, 1977).

3.6 Etapa III: Estimación de los factores antrópicos que influyen en la eutrofización en la Laguna Valle Hermoso

3.6.1 Instrumentos de evaluación socioambiental

3.6.1.1 Lista de Comprobación (Check List)

Se utilizó una lista de comprobación para identificar y categorizar las actividades humanas que potencialmente contribuyen al proceso de eutrofización en la Laguna Valle Hermoso.

Se seleccionaron ocho actividades clave que pueden influir directa o indirectamente en la calidad del agua debido a la liberación de nutrientes como el nitrógeno y fósforo, principales responsables del crecimiento descontrolado de algas.

- a) **Manejo inadecuado de residuos sólidos:** La disposición incorrecta de residuos sólidos, en particular los residuos orgánicos, genera un riesgo significativo de eutrofización al liberar nutrientes en el agua durante su descomposición (Pitt & Field, 2018). Esto ocurre debido a la lixiviación de elementos como el fósforo y el nitrógeno, que aceleran la productividad biológica de los cuerpos de agua.
- b) **Cultivos circundantes a la laguna:** El uso intensivo de tierras agrícolas cerca de cuerpos de agua, con la aplicación de pesticidas y fertilizantes, representa una fuente importante de contaminación difusa. Los agroquímicos y fitosanitarios pueden ser transportados por la escorrentía superficial hacia la laguna, contribuyendo al enriquecimiento de nutrientes y deteriorando la calidad del agua (Le Moal et al., 2019).
- c) **Uso de fertilizantes y agroquímicos:** La sobre aplicación de fertilizantes en zonas agrícolas provoca la lixiviación de nutrientes, en especial compuestos nitrogenados y fosfatados, hacia los cuerpos de agua cercanos. Esta práctica contribuye significativamente a la eutrofización a través de la entrada de nutrientes, aumentando la concentración de fósforo y nitrógeno en la laguna (Carpenter et al., 2019).
- d) **Crianza de animales (vacuno, porcino, ovino):** La ganadería intensiva y la dispersión de estiércol en áreas de pastoreo pueden generar un incremento en la carga de nutrientes en el suelo. Durante episodios de lluvias intensas, estos nutrientes son arrastrados por la escorrentía hacia la laguna, contribuyendo a su eutrofización (Steffen et al., 2018).

- e) **Descarga de aguas residuales:** Las aguas residuales, tanto domésticas como industriales, contienen elevadas concentraciones de materia orgánica y nutrientes que, al ingresar sin tratamiento a la laguna, incrementan el riesgo de eutrofización. Los altos niveles de fósforo y nitrógeno presentes en estos vertidos son claves en la proliferación de algas y macrófitas acuáticas (Corcoran et al., 2010).
- f) **Vertido de residuos industriales:** Los vertidos industriales, especialmente aquellos no tratados o inadecuadamente gestionados, contienen altas concentraciones de nutrientes esenciales para el crecimiento de algas. Las industrias agroalimentarias y químicas suelen ser las principales fuentes de estos residuos (Mucha et al., 2022).
- g) **Sobrepastoreo:** Aunque el sobrepastoreo no es una causa directa de eutrofización, promueve la degradación del suelo y el aumento del transporte de sedimentos y nutrientes hacia los cuerpos de agua. Esto puede facilitar la entrada de fósforo y nitrógeno a la laguna, contribuyendo a su degradación ecológica (Moncrieff et al., 2020).
- h) **Extracción del agua de la laguna:** La extracción excesiva de agua no causa directamente la eutrofización, pero puede alterar el balance hídrico de la laguna. La reducción del volumen de agua puede concentrar los nutrientes presentes, exacerbando los procesos de eutrofización debido al menor efecto dilutor del agua (Smol et al., 2019).

Tabla 18

Check List de las actividades humanas que podrían influir en la eutrofización de la laguna Valle

Hermoso.

No.	Actividades Humanas	SI	NO	OBSERVACIONES
A	Manejo inadecuado de residuos sólidos.			
B	Cultivos circundantes a la laguna.			
C	Uso de fertilizantes y agroquímicos.			
D	Crianza de animales vacuno, porcino y ovino.			
E	Descarga de aguas residuales.			
F	Vertido de residuos Industriales.			
G	Sobre pastoreo.			
H	Extracción de agua de la Laguna para siembra y cultivo.			

3.6.1.2 Entrevista

En el marco de la investigación sobre los factores antrópicos que influyen en la eutrofización de la Laguna Valle Hermoso, se diseñó y aplicó un instrumento de entrevista semiestructurada dirigido a todos los jefes de hogar (25 personas) residentes en las proximidades de la laguna. La selección de este grupo de participantes se fundamentó en su proximidad al cuerpo de agua y en su conocimiento sobre el uso, las condiciones históricas y los problemas actuales de la laguna.

Las entrevistas se realizaron durante dos visitas al sitio, abordando temáticas relacionadas con:

- **Uso histórico y actual de la laguna:** Se exploró cómo las actividades humanas han evolucionado en el tiempo y cómo estas han afectado la calidad del agua.
- **Percepción de los problemas ambientales:** Se indagó sobre las principales causas percibidas de la contaminación y el deterioro ecológico de la laguna.
- **Prácticas de manejo comunitario:** Se recopiló información sobre las actividades realizadas por la comunidad para conservar o gestionar la laguna.

Este enfoque cualitativo permitió una comprensión profunda y contextualizada de las relaciones entre las actividades humanas y el estado ecológico de la laguna.

3.6.1.3 Encuesta

De manera complementaria, se diseñó y aplicó una encuesta estructurada a 25 personas de la misma comunidad residente cercana a la Laguna Valle Hermoso. Las encuestas se realizaron durante dos visitas a las viviendas de los pobladores, lo que permitió obtener datos cuantitativos acerca de las prácticas de uso del suelo, manejo de residuos y percepción del deterioro ambiental de la laguna.

La encuesta incluyó preguntas cerradas y de opción múltiple organizadas en tres secciones principales:

- **Características socioeconómicas:** Datos sobre el perfil demográfico, ocupaciones principales y uso de la tierra por los encuestados.
- **Prácticas de manejo ambiental:** Información sobre la disposición de residuos, uso de agroquímicos y extracción de agua de la laguna.

- **Percepción de la calidad del agua:** Opiniones sobre los cambios en el estado de la laguna, incluyendo causas percibidas de contaminación y posibles soluciones.

El número de encuestados corresponde al mismo grupo de personas entrevistadas, lo que permitió correlacionar los hallazgos cualitativos y cuantitativos, reforzando la validez de los resultados.

Este tamaño de muestra representa el un porcentaje significativo de la comunidad local (100%), asegurando una cobertura adecuada en el contexto de una investigación exploratoria.

La similitud en el número de entrevistas y encuestas facilita la comparación entre ambos métodos y la triangulación de los datos

3.6.1.4 Matriz de valoración cuantitativa de impactos antrópicos

Para la presente investigación, se utilizó una matriz apriorística de doble entrada como herramienta metodológica para evaluar el impacto de diversas actividades antrópicas sobre la eutrofización de la Laguna Valle Hermoso. Este enfoque, basado en la identificación y valoración cuantitativa de los factores humanos, permite una jerarquización precisa de los niveles de afectación (Delgado & López 2005).

Cada actividad humana, previamente identificada como potencialmente contribuyente a la eutrofización (disposición de residuos, prácticas agrícolas, vertidos industriales, etc.), fue evaluada mediante entrevistas a profundidad aplicadas a los actores clave de la comunidad.

A partir de estas entrevistas, se asignaron valores cuantitativos que reflejan el nivel percibido de impacto en cada actividad. Las calificaciones se determinaron utilizando un rango numérico que representa la magnitud del impacto de dichas actividades sobre el ecosistema de la laguna, asignando mayor peso a aquellas actividades con mayor influencia (intensidad y duración) en la aportación de nutrientes, como el fósforo y el nitrógeno, esenciales en el proceso de eutrofización.

La matriz permitió calcular un promedio aritmético para cada actividad evaluada, lo cual generó un índice de impacto que facilita la comparación y priorización de las diferentes fuentes de contaminación. De esta manera, se logró una jerarquización cuantitativa que destaca las actividades humanas con mayor potencial de contribuir a la eutrofización. Este proceso de

valoración es clave en la gestión de recursos hídricos, ya que orienta la toma de decisiones hacia la mitigación de las fuentes más significativas de contaminación.

Este enfoque metodológico ha sido validado en estudios previos que evalúan el impacto de actividades antropogénicas en cuerpos de agua dulce. (Cajachagua Arce, 2022). Destacan la importancia de las matrices apriorísticas para la identificación de las principales fuentes de nutrientes en lagos eutróficos, mientras que Xie et al., (2023). Aplicaron un enfoque similar para evaluar los impactos en lagunas urbanas de China, subrayando la utilidad de estas herramientas para priorizar intervenciones en planes de manejo.

Tabla 19

Convenciones y Valoración.

0 - 2	Influencia Baja de las actividades humanas en la eutrofización de la laguna.
3 - 4	Influencia Media de las actividades humanas en la eutrofización de la laguna.
5	Influencia Alta de las actividades en la eutrofización de la laguna.

Tabla 20

Matriz Apriorística para la estimación de los factores antrópicos que influyen en la eutrofización en la laguna Valle Hermoso.

Objetivo	Actividades que influyen en la eutrofización	Intensidad			Magnitud			Duración			Resultado
		B	M	A	B	M	A	B	M	A	
Estimar los factores antrópicos que influyen en la	A. Manejo Inadecuado de Residuos Sólidos.										ΣA
	B. Cultivos circundantes a la laguna.										ΣB
	C. Uso de fertilizantes										ΣC

Eutrofización en la laguna Valle Hermoso.	químicos y agroquímicos.	
	D. Crianza de animales vacuno, porcino y ovino.	ΣD
	E. Descargas de aguas residuales.	ΣE
	F. Vertido de Desechos Industriales.	ΣF
	G. Sobrepastoreo.	ΣG
H. Extracción de agua de la laguna para siembra y cultivo.	ΣH	

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Área de estudio

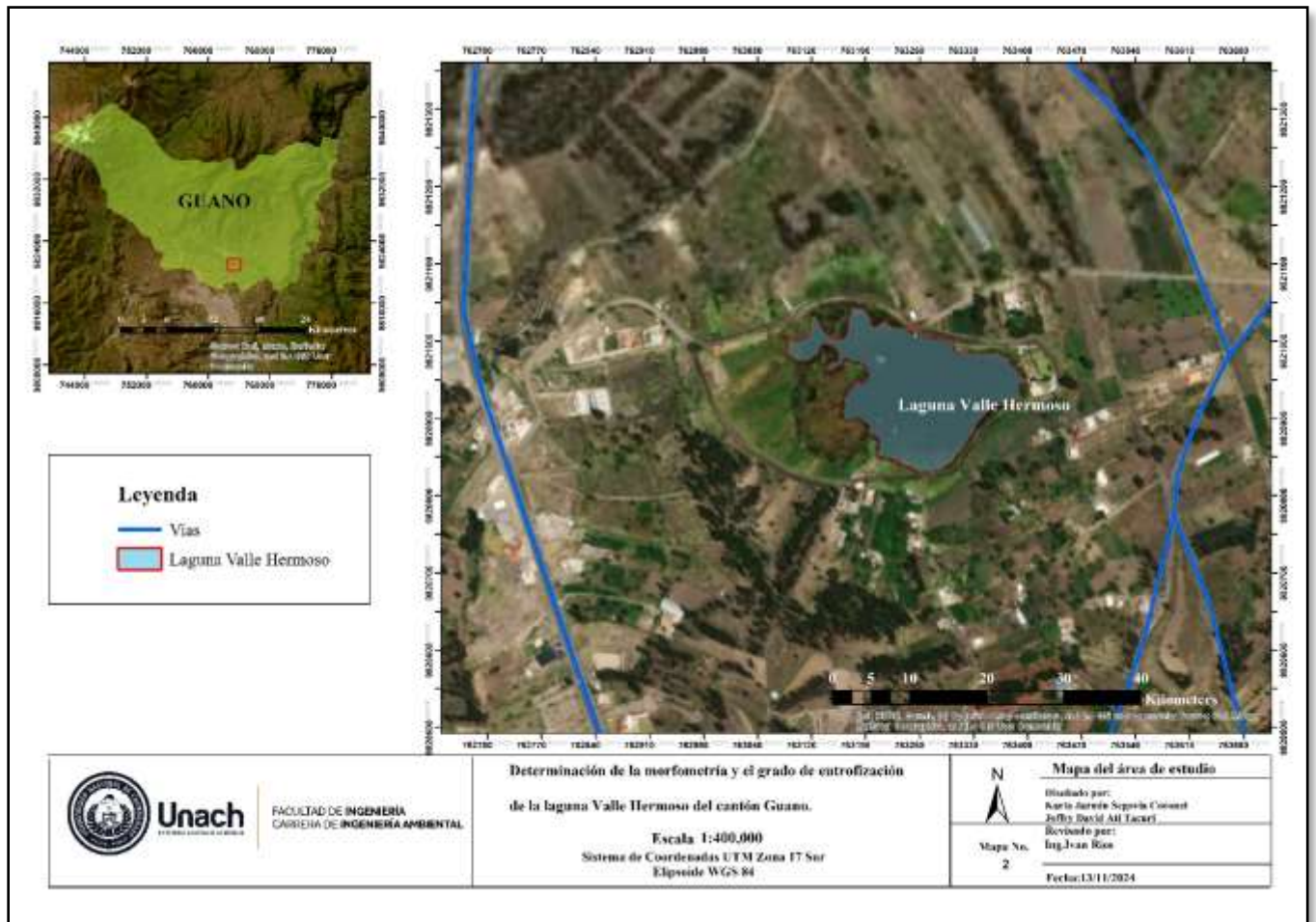
La Laguna Valle Hermoso se ubica en el cantón Guano, provincia de Chimborazo, Ecuador, en una región caracterizada por su relieve interandino. Las coordenadas geográficas precisas de este cuerpo de agua son 1°37'7.18" S de latitud y 78°38'2.19" O de longitud, situándose a una altitud de 2.741 metros sobre el nivel del mar (msnm). Este cuerpo de agua se localiza

aproximadamente a 200.00 metros de la carretera principal que conecta las ciudades de Riobamba y Guano, lo cual facilita su acceso, pero también incrementa su exposición a factores antrópicos.

La proximidad a áreas urbanas y agrícolas ha incrementado la presión sobre la laguna, con actividades como el uso recreativo, prácticas agrícolas y la disposición de residuos sólidos y líquidos. Estas condiciones clasifican a la Laguna Valle Hermoso como un cuerpo de agua urbano, lo que la hace altamente vulnerable a procesos de eutrofización y otros impactos ambientales. Este estudio busca comprender las interacciones entre las actividades humanas y los ecosistemas acuáticos de alta montaña, destacando la importancia de la gestión ambiental en zonas estratégicas como esta.

Figura 3

Mapa del área de estudio.



Fuente: Autores.

4.2 Caracterización Morfométrica de la Laguna Valle Hermoso

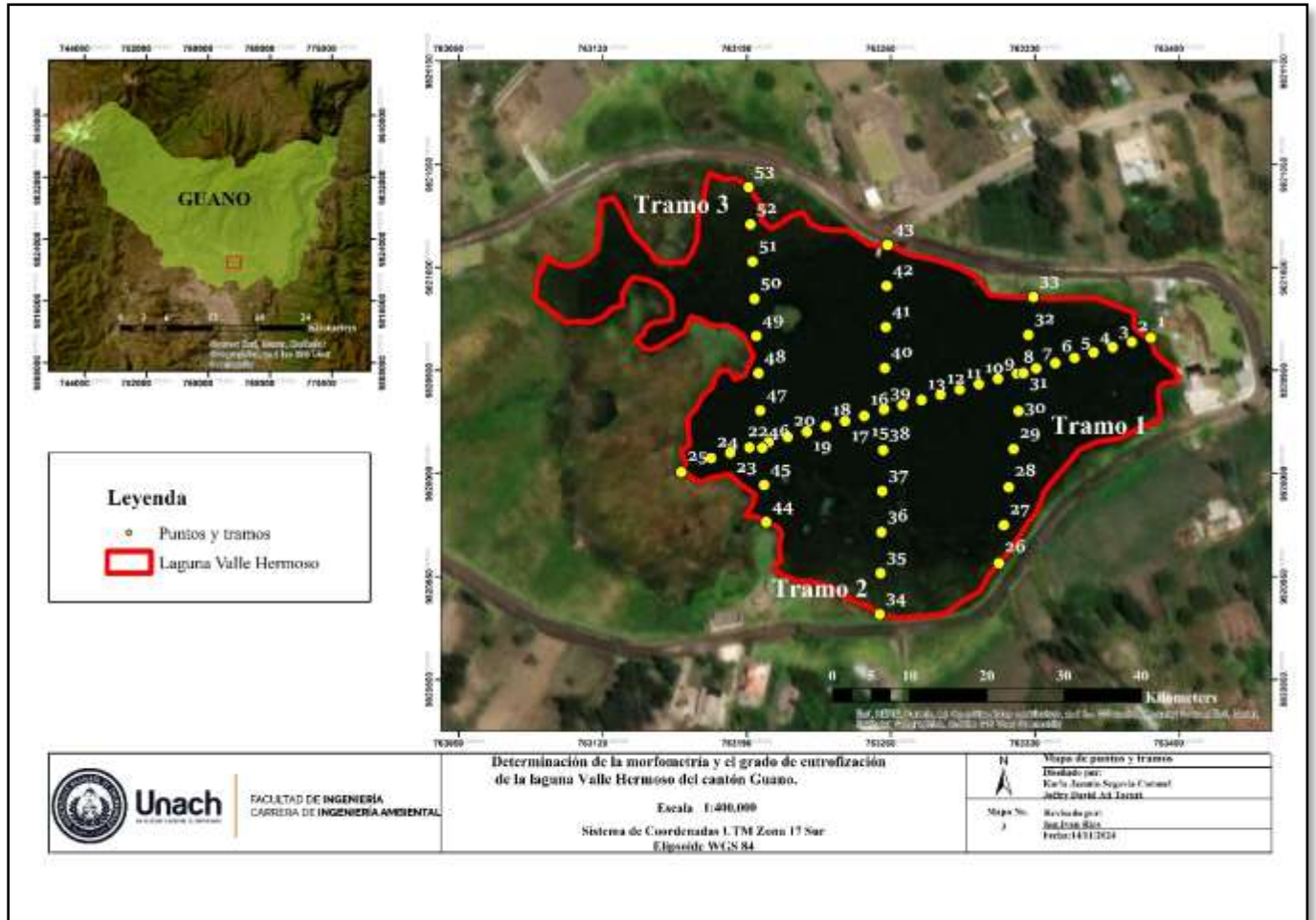
4.2.1 Batimetría por Medición Manual

a) Cálculo de la profundidad de la Laguna

La profundidad de la Laguna Valle Hermoso fue medida manualmente en un total de 53 puntos distribuidos de la siguiente manera: 25 puntos longitudinales espaciados cada 10.00 metros y 28 puntos transversales separados por 20.00 metros en tres secciones a lo ancho del cuerpo de agua, abarcando un ancho total de 60.00 metros (Figura 4).

Figura 4

Puntos y tramos de medición de la laguna Valle Hermoso.

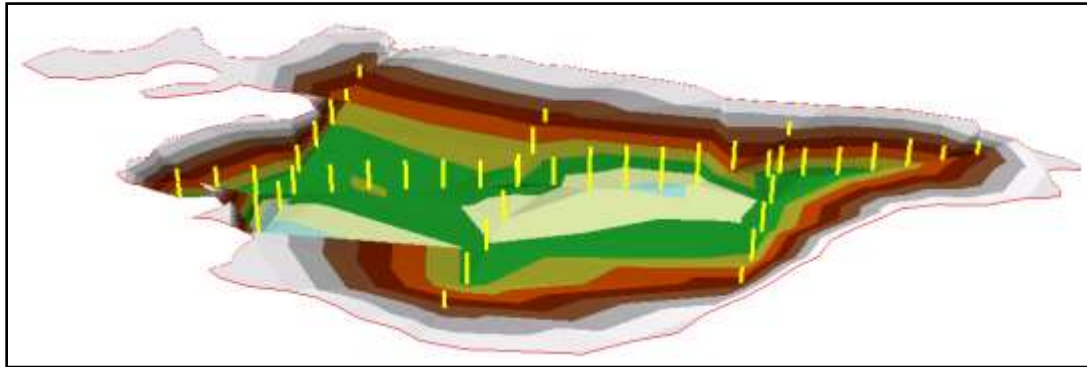


Fuente: Autores.

Los datos obtenidos permitieron construir un modelo tridimensional del lecho subacuático, evidenciando una topografía irregular con variaciones significativas en la profundidad a lo largo de su extensión (Figura 5).

Figura 5

Modelado 3D Laguna Valle Hermoso.



Fuente: Autores.

Se registraron valores de profundidad que oscilan entre 1.15 metros en los puntos de poca profundidad y 2.72 metros en los puntos más profundos (Tabla 21). La profundidad media fue de 1.89 metros, lo que indica una relativa homogeneidad en algunas áreas, intercalada con secciones más profundas hacia el centro del cuerpo de agua.

Esta información es fundamental para calcular el volumen total de la laguna y analizar la distribución de nutrientes y sedimentos.

Tabla 21

Valores de profundidad a lo largo de la laguna.

PUNTO	X	Y	Z (m.s.n.m)	H (m)
1	763386.29	9820965.82	2747.00	0.00
2	763377.09	9820963.74	2745.85	1.15
3	763367.80	9820961.18	2745.55	1.45
4	763358.51	9820958.61	2745.22	1.78
5	763349.22	9820956.05	2745.00	2.00
6	763339.93	9820953.49	2744.82	2.18
7	763330.63	9820950.93	2744.78	2.22
8	763321.34	9820948.37	2744.79	2.21
9	763312.05	9820945.81	2745.50	1.50
10	763302.76	9820943.25	2744.48	2.52
11	763293.46	9820940.69	2744.28	2.72
12	763284.17	9820938.13	2744.41	2.59

13	763274.88	9820935.56	2744.43	2.57
14	763265.59	9820933.32	2744.83	2.17
15	763256.35	9820930.44	2744.80	2.20
16	763247.00	9820927.88	2744.83	2.17
17	763237.71	9820925.32	2744.96	2.04
18	763228.42	9820922.76	2745.00	2.00
19	763219.13	9820920.22	2745.12	1.88
20	763209.83	9820917.64	2744.95	2.05
21	763200.54	9820915.07	2744.95	2.05
22	763191.25	9820912.51	2745.03	1.97
23	763181.96	9820909.95	2745.05	1.95
24	763172.67	9820907.39	2745.00	2.00
25	763158.13	9820900.55	2747.00	00.0
PROMEDIO				1.89

Fuente: Autores.

El análisis de los datos obtenidos, la Figura 6 muestra que la laguna presenta un perfil batimétrico en forma de "U", caracterizado por menores profundidades en los extremos, con valores de 1.10 m y 0.80 m, y una mayor profundidad en el centro, alcanzando los 2.20 m (Tabla 22). Este patrón evidencia una depresión central típica, donde se acumula un mayor volumen de agua, mientras que las orillas son notablemente menos profundas.

Tabla 22

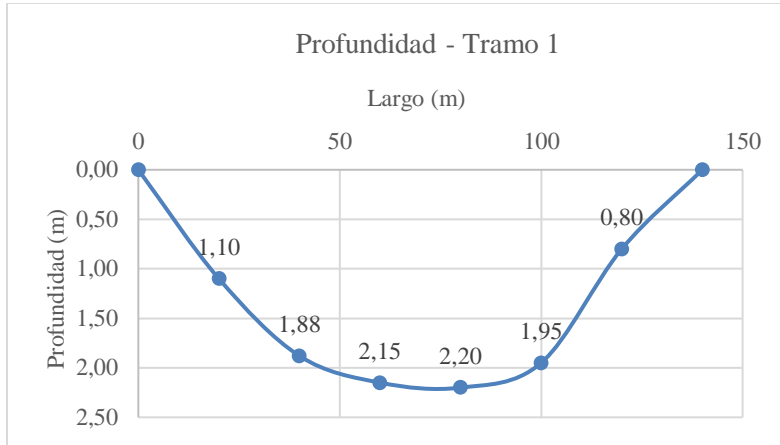
Valores de profundidad en el Tramo 1 de la laguna.

PUNTO	X	Y	Z (m.s.n.m)	H (m)
1	763312,50	9820856,34	2747,00	0,00
2	763314,89	9820874,81	2745,90	1,10
3	763317,28	9820893,28	2745,12	1,88
4	763319,66	9820911,75	2744,85	2,15
5	763322,05	9820930,22	2744,80	2,20
6	763324,44	9820948,69	2745,05	1,95
7	763326,83	9820967,17	2746,20	0,80
8	763329,21	9820985,64	2747,00	0,00

Fuente: Autores.

Figura 6

Gráfica de la profundidad del Tramo 1.



Fuente: Autores.

Tabla 23

Valores de profundidad en el Tramo 2 de la laguna

PUNTO	X	Y	Z (m.s.n.m)	H (m)
1	763254,56	9820831,57	2747,00	0,00
2	763254,98	9820851,49	2746,15	0,85
3	763255,40	9820871,41	2745,00	2,00
4	763255,82	9820891,32	2744,80	2,20
5	763256,25	9820911,24	2744,55	2,45
6	763256,67	9820931,16	2745,06	1,94
7	763257,09	9820951,08	2745,20	1,80
8	763257,52	9820971,00	2745,80	1,20
9	763257,94	9820990,92	2746,60	0,40
10	763258,36	9821010,84	2747,00	0,00

Fuente: Autores.

Figura 7

Gráfica de la profundidad del Tramo 2.



Fuente: Autores.

La Figura 8, refleja que la laguna alcanza su mayor profundidad en el centro, con un valor de 2.90 m, mientras que las zonas más someras se encuentran en los extremos, con profundidades de 1.20 m y 0.80 m (Tabla 24). Esto sugiere la existencia de una inclinación o pendiente del lecho, lo que podría afectar tanto el flujo de agua como la disposición de los sedimentos en el ecosistema. Estos datos permiten inferir que el área presenta una variabilidad morfométrica que podría ser significativa para el transporte de sedimentos y la disponibilidad de hábitats acuáticos.

Tabla 24

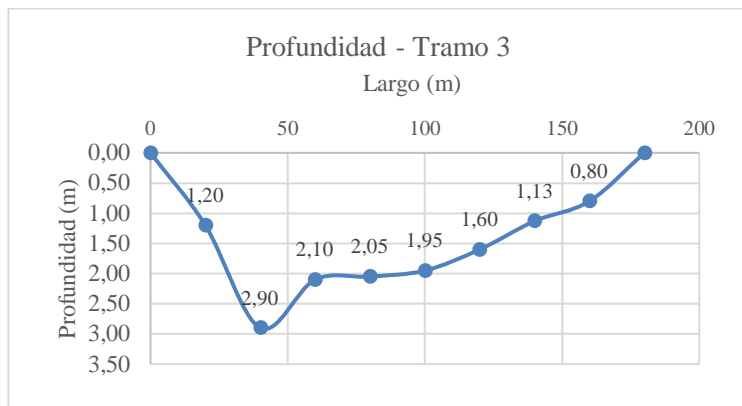
Valores de profundidad en el Tramo 3 de la laguna.

PUNTO	X	Y	Z (m.s.n.m)	H (m)
1	763199,39	9820876,27	2747,00	0,00
2	763198,44	9820894,34	2744,10	2,90
3	763197,49	9820912,41	2744,10	2,10
4	763196,54	9820930,48	2744,90	2,05
5	763195,59	9820948,55	2744,95	1,95
6	763194,64	9820966,62	2745,05	1,60
7	763193,69	9820984,69	2745,40	1,13
8	763192,74	9821002,76	2745,87	0,80
9	763191,79	9821020,83	2746,20	0,45
10	763190,84	9821038,90	2746,55	0,00

Fuente: Autores.

Figura 8

Gráfica de la profundidad del Tramo 3.



Fuente: Autores.

En general, los datos obtenidos indican una notable variabilidad morfológica en el lecho de la laguna, lo cual podría desempeñar un papel crucial en el transporte de sedimentos, la acumulación de nutrientes y la configuración de hábitats acuáticos. Este análisis es fundamental para entender los procesos hidrológicos y ecológicos que ocurren en la Laguna Valle Hermoso.

b) Cálculo del ancho de la laguna

El cálculo del ancho de la Laguna Valle Hermoso se realizó mediante mediciones directas de las distancias horizontales entre puntos opuestos seleccionados estratégicamente a lo largo de la extensión del cuerpo de agua, los resultados se detallan en la Tabla 25.

Tabla 25

Ancho de la Laguna Valle Hermoso.

Tramos	Ancho (m)
Tramo 1	120.00
Tramo 2	180.00
Tramo 3	180.00
PROMEDIO	160.00

Fuentes: Autores.

Para obtener un promedio representativo, se efectuaron mediciones en tres secciones de la laguna, abarcando tanto áreas centrales como laterales, donde las variaciones topográficas podrían

influir en los resultados. Las distancias obtenidas se registraron y analizaron para determinar un ancho promedio, el cual fue calculado en 160.00 metros.

c) Cálculo del largo de la laguna

El cálculo del largo de la laguna, basado en mediciones directas, permitió obtener un valor promedio de 191.87 metros, proporcionando una estimación representativa de su dimensión longitudinal y sirviendo como base para el análisis posterior de su área.

Tabla 26

Valores del largo de la laguna.

Largos	Valores (m)
1	184.70
2	202.41
3	188.50
Promedio	191.87

Fuente: Autores

d) Cálculo del área de la Laguna

El cálculo del área de la Laguna Valle Hermoso se llevó a cabo mediante el método de triangulación, utilizando mediciones directas en campo.

El área calculada mediante este método, que combina las dimensiones promedio del largo y el ancho de la laguna, resultó en un total de 30,699.20 metros cuadrados, representando su extensión total.

e) Cálculo del volumen de la Laguna

El volumen de la Laguna Valle Hermoso se calculó utilizando el método de integración de áreas transversales, una técnica manual que permite estimar el volumen de un cuerpo de agua mediante la evaluación de secciones transversales a lo largo de su longitud.

f) Cálculo de áreas transversales

Este cálculo fue resultado de la integración de las áreas parciales, considerando las diferencias en las características morfométricas entre los distintos tramos. El análisis de los datos a partir del ancho y profundidad permitió una representación precisa de la superficie del cuerpo de agua (Tabla 27 y 28).

Tabla 27*Anchos y profundidades de para cada tramo de la laguna Valle Hermoso.*

Tramo 1		Tramo 2		Tramo 3	
Ancho (m)	Profundidad (m)	Ancho (m)	Profundidad (m)	Ancho (m)	Profundidad (m)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20.00	1.10	20.00	0.85	20.00	1.20
40.00	1.88	40.00	2.00	40.00	2.90
60.00	2.15	60.00	2.20	60.00	2.10
80.00	2.20	80.00	2.45	80.00	2.05
100.00	1.95	100.00	1.94	100.00	1.95
120.00	0.80	120.00	1.80	120.00	1.60
0.00		140.00	1.20	140.00	1.13
		160.00	0.40	160.00	0.80
		0.00		0.00	

Fuentes: Autores.**Tabla 28***Matriz de transectos de la laguna Valle Hermoso.*

Tramo 1 (m)		Tramo 2 (m)		Tramo 3 (m)	
A	B	A	B	A	B
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
37.60	44.00	40.00	34.00	58.00	48.00
86.00	112.80	88.00	120.00	84.00	174.00
132.00	172.00	147.00	176.00	123.00	168.00
156.00	220.00	155.20	245.00	156.00	205.00
80.00	234.00	180.00	232.80	16000	234.00
0.00	0.00	144.00	252.00	135.60	224.00
		56.00	192.00	112.00	180.80
		0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: Autores.

$$Z_{1(A-B)} = 291.20 \text{ m}$$

$$A_1 = 0.50 * 291.20 = 145.60m^2$$

$$Z_{2(A-B)} = 441.60 \text{ m}$$

$$A_2 = 0.50 * 441.60 = 220.80 \text{ m}^2$$

$$Z_{3(A-B)} = 402.20 \text{ m}$$

$$A_3 = 0.50 * 402.20 = 202.60 \text{ m}^2$$

El Volumen por tramo se calculó con el uso de la ecuación 3

$$V_{(0)} = \frac{A_1 + A_2}{2} * L$$

$$V_{(0)} = 4823.36 \text{ m}^3$$

$$V_{(1)} = \frac{A_2 + A_1}{2} * L$$

$$V_{(1)} = 12922.92 \text{ m}^3$$

$$V_{(2)} = \frac{A_3 + A_2}{2} * L$$

$$V_{(2)} = 13017.43 \text{ m}^3$$

$$V_{(3)} = \frac{A_4 + A_3}{2} * L$$

$$V_{(3)} = 4857.84 \text{ m}^3$$

$$V_t = V_{(1)} + V_{(2)} + V_{(3)}$$

$$V_t = 35,621.56 \text{ m}^3$$

La batimetría manual de la Laguna Valle Hermoso permitió caracterizar su morfometría con precisión. La profundidad promedio registrada fue de 1.89 metros, con una longitud promedio

de 191.87 metros y un ancho promedio de 160.00 metros, lo que resultó en un área superficial total de 30,699.20 m².

El cálculo del volumen, realizado mediante el método de integración de áreas transversales, arrojó un valor de 35,621.57 m³, reflejando la capacidad de almacenamiento del cuerpo de agua. Estos resultados destacan la estructura morfológica de la laguna, caracterizada por una depresión central y una variabilidad en sus dimensiones, aspectos que son cruciales para el análisis de procesos hidráulicos y de acumulación de nutrientes en el ecosistema.

4.2.2 Batimetría por Teledetección

a) Cálculo de la profundidad de la laguna

El análisis de la relación entre las profundidades de la Laguna Valle Hermoso y las bandas espectrales del satélite Sentinel-2 (B2: azul, B3: verde, B4: rojo) permitió generar un modelo de regresión lineal múltiple que describe la interacción entre estas variables. La profundidad medida manualmente se utilizó como variable dependiente (H), mientras que las reflectancias de las bandas espectrales fueron consideradas variables independientes (B2, B3, B4).

Ecuación del modelo: La ecuación resultante del modelo (Ecuación 4) de regresión lineal múltiple fue la siguiente:

$$\text{Profundidad} = \text{Intercepto} + \text{coef}_1 * \text{Banda 2} + \text{coef}_2 * \text{Banda3} + \text{coef}_3 * \text{Banda 4}$$

Donde

Intercepto: 10.15

Coefficiente 1: -22.70

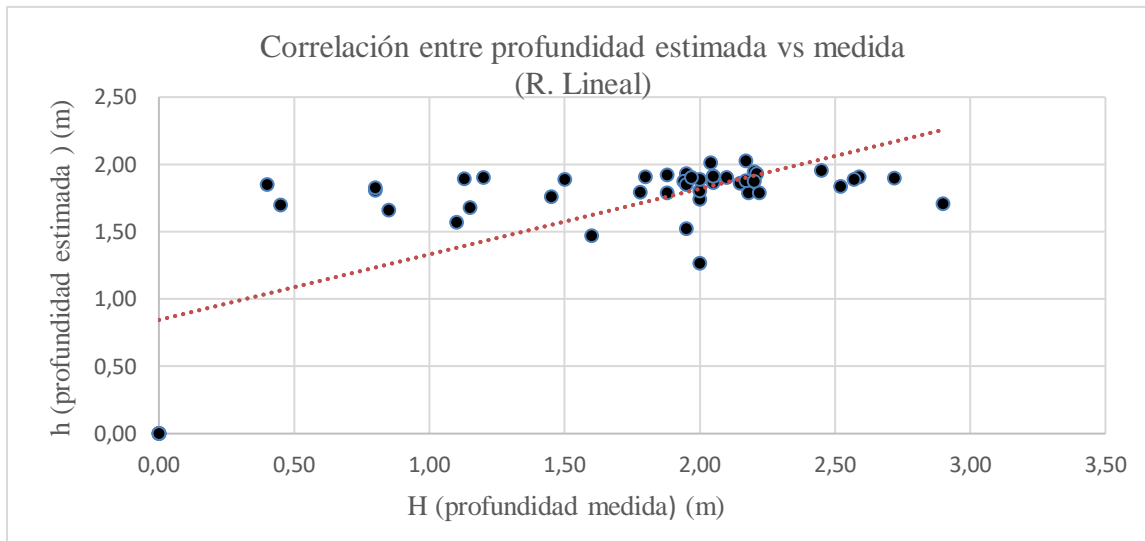
Coefficiente 2: -0.98

Coefficiente 3: -10.56

El modelo obtenido presentó un coeficiente de correlación moderada ($r = 0.57$), lo que indica que existe una relación entre la profundidad medida en campo y la derivada de las imágenes satelitales (Figura 9). Esto sugiere que, en promedio, los incrementos en las profundidades medidas se reflejan proporcionalmente en las estimaciones espectrales.

Figura 9

Gráfico de dispersión de la profundidad por teledetección.



Fuente: Autores.

No obstante, la dispersión de datos alrededor de la línea de tendencia señala la influencia de factores adicionales, como irregularidades en el lecho, acumulación heterogénea de sedimentos o la presencia de materia orgánica, que pueden generar variaciones locales en la reflectancia y, por ende, en las estimaciones de profundidad.

Estos resultados validan el uso de imágenes de teledetección como una herramienta complementaria para caracterizar las profundidades de cuerpos de agua, especialmente cuando se combina con mediciones en campo para mejorar la precisión y confiabilidad del modelo.

b) Cálculo del ancho de la laguna

El cálculo de los tramos de la laguna, realizado mediante el software ArcGIS, permitió obtener una medición de la longitud de cada sección. El promedio obtenido da un valor de 167.40 que es una estimación de las dimensiones de los tramos de la laguna.

Tabla 29

Ancho obtenido mediante ArcGIS.

Tramo	Valores (m)
Tramo 1	150.45
Tramo 2	188.90
Tramo 3	162.85
Promedio	167.40

Fuentes: Autores

c) Cálculo del largo de la laguna

Los valores obtenidos para los tres tramos de largo, a partir del análisis realizado en ArcGIS, muestran una distribución equilibrada y consistente. Los valores medidos fueron 190.25 m, 196.80 m, y 195.55 m, lo que da como resultado un promedio de 194.20 m. La uniformidad en las mediciones sugiere que no hay grandes discrepancias entre los tramos analizados, lo que refuerza la fiabilidad y coherencia de los datos obtenidos a través de la herramienta GIS.

Tabla 30

Largo obtenido por ArcGIS.

Largos	Valores (m)
1	190.25
2	196.80
3	195.55
Promedio	194.20

Fuentes: Autores

d) Cálculo del Volumen y Área con ArcGIS

El cálculo del área y volumen de la Laguna Valle Hermoso fue realizado mediante el software ArcGIS, utilizando imágenes satelitales para generar el modelo de la extensión y profundidad del cuerpo de agua.

Tabla 31

Volumen y Área obtenidos por ArcGIS.

FID	SHAPE	Id	Alt	Volume	SArea
0	Polygon	0	2747	37,359.33	32,213.10

Fuente: Autores

Fuente: Autores.

El área total de la laguna fue determinada en 32,213.10 metros cuadrados, lo que refleja una extensión ligeramente mayor en comparación con los cálculos realizados mediante métodos manuales. Este valor fue obtenido a partir de la delimitación del contorno de la laguna a partir de las imágenes satelitales.

En cuanto al volumen, el modelo espacial generado con ArcGIS proporcionó un resultado de 37,359.33 metros cúbicos, lo que representa un volumen mayor que el estimado mediante el método manual de integración de áreas transversales.

Ambos resultados, tanto el área como el volumen, validan la precisión de la metodología de teledetección combinada con ArcGIS para la caracterización detallada de cuerpos de agua, proporcionando datos más confiables para la gestión y estudio de los recursos hídricos de la laguna.

4.2.3 Batimetría por Espectroradiómetro

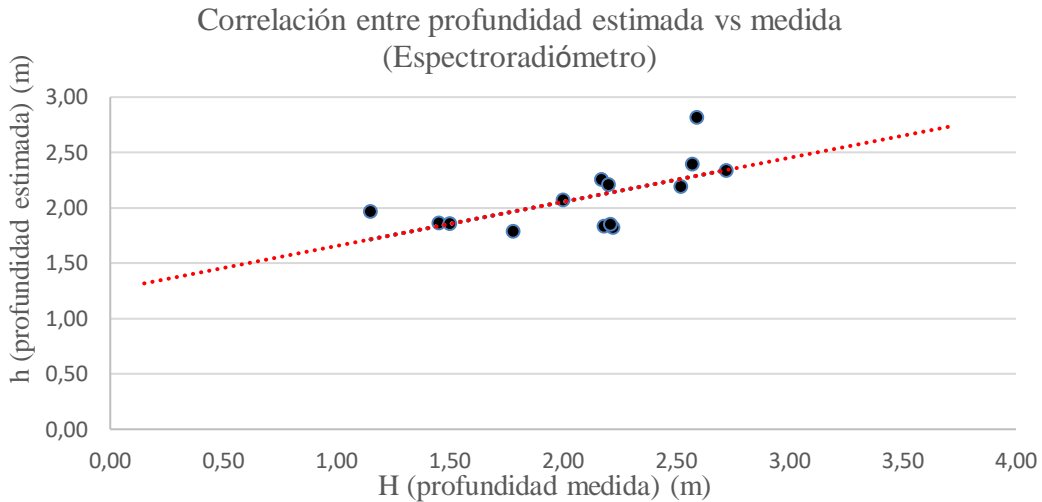
a) Cálculo de la profundidad de la laguna

El cálculo de la profundidad de la Laguna Valle Hermoso mediante Espectroradiómetro se realizó utilizando las firmas espectrales obtenidas de las bandas Azul(490nm), Verde(560nm) y Roja(665nm). Para validar los resultados obtenidos, se utilizó un análisis estadístico basado en una regresión lineal, tomando como referencia las mediciones de profundidad manual realizadas en 14 puntos de la laguna.

El gráfico de dispersión resultante muestra una relación positiva entre las profundidades medidas manualmente (H) y las obtenidas mediante el Espectroradiómetro (h), evidenciando una correlación alta. La línea de tendencia ajustada refleja esta relación, con un valor de ($r = 0.63$), (Figura 10). Este valor indica que el Espectroradiómetro puede ofrecer una estimación aceptable de la profundidad, pero con ciertos márgenes de error y limitaciones al modelo propuesto.

.Figura 10

Gráfico de dispersión de la profundidad por Espectroradiómetro.



Fuente: Autores.

A pesar de la correlación moderada, estos resultados demuestran que el uso del Espectroradiómetro puede ser una herramienta útil para estimar la profundidad en cuerpos de agua, aunque es necesario complementarlo con mediciones directas para obtener una mayor precisión. Las diferencias observadas podrían deberse a factores como variaciones en la reflectancia del agua debido a condiciones ambientales o características particulares del lecho lacustre, lo cual podría influir en la estimación de la profundidad por este método.

Además, los resultados obtenidos a partir de las mediciones con el uso del Espectroradiómetro y el análisis estadístico indican que la Laguna Valle Hermoso presenta una profundidad promedio de 2.09 m, alcanzando una profundidad máxima de hasta 2.82 m. Es importante resaltar que estos valores pueden estar sujetos a variaciones dependiendo de factores como la intensidad de la luz solar, la nubosidad y otras condiciones ambientales que podrían influir en la medición de la profundidad.

Tabla 32

Resumen de los resultados morfométricos de la laguna Valle Hermoso.

	Volumen (m³)	Área Total (m²)	Ancho Promedio (m)	Largo Promedio (m)	Profundidad Promedio (m)	Profundidad máxima (m)
Manual	35,621.57	30,699.20	160.00	191.87	1.89	2.72
Teledetección	37,359.33	32,213.10	167.40	194.20	1.82	2.03
Espectro radiómetro	-	-	-	-	2.09	2.82

Fuente: Autores.

Con los métodos evaluados (Teledetección y Espectroradiómetro) se obtuvieron estimaciones complementarias de la profundidad de la Laguna Valle Hermoso, se utilizó el método manual o directo como referencia de la batimetría de la laguna.

El método de teledetección fue útil para obtener una visión general de la profundidad, sin embargo, este presentó una subestimación tanto en la profundidad promedio como en la máxima. Este comportamiento puede atribuirse a limitaciones inherentes a la resolución espacial de las imágenes satelitales, así como a factores ambientales como la nubosidad y la calidad del agua que interfieren en la señal captada por los sensores remotos.

El Espectroradiómetro, en cambio, ofreció un desempeño intermedio relativamente mejor que las herramientas de teledetección. Sus estimaciones de profundidad mostraron un bajo margen de error tanto para valores promedio como máximos, lo que lo posiciona como una opción viable para estudios detallados a nivel local. Sin embargo, su precisión puede verse afectada por condiciones externas como la reflectancia del agua o la incidencia de luz, lo que requiere un control cuidadoso durante las mediciones.

4.3 Resultados de los parámetros físicos – químicos de la Laguna Valle Hermoso

4.3.1 Oxígeno Disuelto (OD)

Los resultados obtenidos a partir de los análisis de laboratorio de los niveles de oxígeno disuelto (OD) en tres puntos de muestreo de la Laguna Valle Hermoso indican un promedio general

de 5.03 mg/L. Este valor se encuentra dentro de los rangos considerados aceptables según los estándares ambientales para ecosistemas acuáticos, como se muestra en la Tabla 33.

Tabla 33

Comparación de las condiciones del agua de la laguna.

Puntos	OD (mg/L)	Condición
1	5.07	Aceptable
2	5.19	Aceptable
3	4.82	Hipoxia
PROMEDIO	5.03	Aceptable

Fuente: Autores.

Se observa que el Punto 3 presenta un nivel crítico de 4.82 mg/L, lo que sugiere la presencia de condiciones de hipoxia en esta zona. La hipoxia es un fenómeno que ocurre cuando los niveles de oxígeno disuelto son bajos y puede ser perjudicial para la fauna acuática, especialmente para aquellas especies sensibles al oxígeno. Esta condición puede afectar negativamente la biodiversidad de la laguna y los procesos ecológicos que dependen del oxígeno disuelto.

Un posible factor contribuyente a esta disminución de oxígeno en el Punto 3 podría ser la proximidad del ganado bovino en el lado oeste de la laguna. El pisoteo del ganado aumenta la erosión del suelo y facilita el arrastre de materia orgánica hacia el agua. Esta materia orgánica, al descomponerse, consume oxígeno, lo que contribuye a la reducción de los niveles de oxígeno disuelto, exacerbando las condiciones de hipoxia.

4.3.2 Potencial de Hidrogeno (pH)

El análisis del pH en los tres tramos de la Laguna Valle Hermoso revela variaciones significativas, lo que sugiere que las condiciones químicas del agua son influenciadas por diversos factores, tanto naturales como antrópicos.

Tabla 34

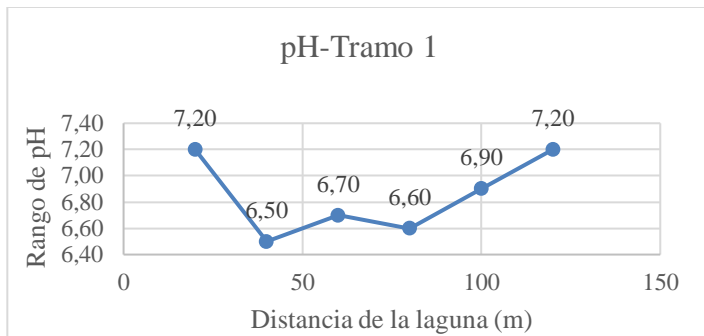
Valores de Potencial de Hidrogeno del Tramo 1

Punto	Distancia (m)	pH
1	20	7,20
2	40	6,50
3	60	6,70
4	80	6,60
5	100	6,90
6	120	7,20
Promedio		6,85

Fuente: Autores.

Figura 11

Gráfica de Potencial de Hidrogeno del Tramo 1.



Fuente: Autores.

En el Tramo 1, se observa un pH promedio de 6.85, indicando una ligera acidez en esta zona. Esta ligera acidez podría estar asociada con actividades antrópicas, especialmente debido a la proximidad de una vivienda. Las actividades domésticas, como el uso de productos químicos y el vertido de aguas residuales, podrían estar contribuyendo a la alteración del pH en esta área.

Tabla 35

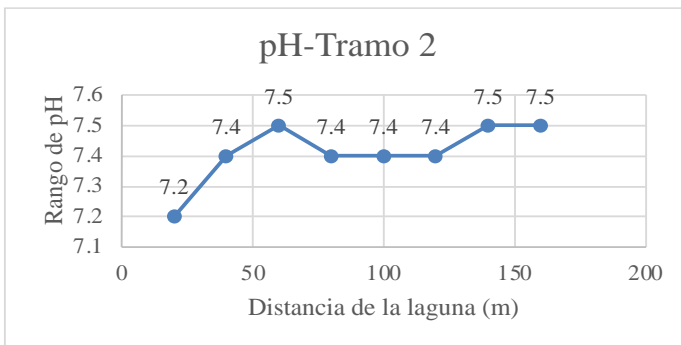
Valores de Potencial de Hidrogeno del Tramo 2.

Punto	Distancia (m)	pH
1	20	7,20
2	40	7,40
3	60	7,50
4	80	7,40
5	100	7,40
6	120	7,40
7	140	7,50
8	160	7,50
Promedio		7,41

Fuente: Autores.

Figura 12

Gráfica de Potencial de Hidrogeno del Tramo 2



Fuente: Autores.

En el tramo 2, el pH promedio es de 7.41, cercano a la neutralidad, sugiere mayor estabilidad en las condiciones químicas del agua. Este valor es ideal para la mayoría de los organismos acuáticos, lo que refleja un ambiente relativamente saludable y equilibrado en cuanto a su acidez o alcalinidad.

Tabla 36

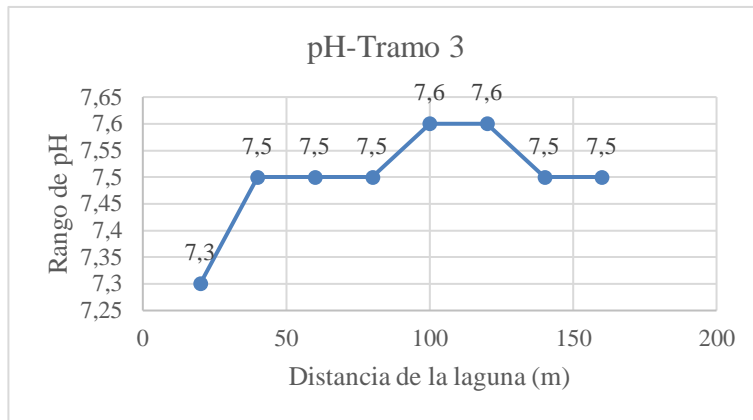
Valores de Potencial de Hidrogeno del Tramo 3.

Punto	Distancia (m)	pH
1	20	7,30
2	40	7,50
3	60	7,50
4	80	7,50
5	100	7,60
6	120	7,60
7	140	7,50
8	160	7,50
Promedio		7,50

Fuente: Autores.

Figura 13

Gráfica de Potencial de Hidrogeno del Tramo 3.



Fuente: Autores.

El tramo 3, presenta el pH más elevado, alcanzando un promedio de 7.5, indica una ligera alcalinidad. Este aumento en el pH podría estar relacionado con la presencia de ganado, como vacas y llamas, que pastan en las áreas circundantes de la laguna. El excremento animal depositado

en la zona podría estar alterando las condiciones químicas del agua, aumentando el pH debido a la liberación de sustancias alcalinas provenientes de los desechos orgánicos.

4.3.3 Conductividad

La conductividad eléctrica de la Laguna Valle Hermoso evidencia ligeras variaciones entre sus tramos, con promedios que oscilan entre 1.76 y 1.78 mS/cm. Estos valores reflejan la influencia de factores externos, como la escorrentía agrícola y la actividad ganadera, que contribuyen a la concentración de iones disueltos en el agua.

Tabla 37

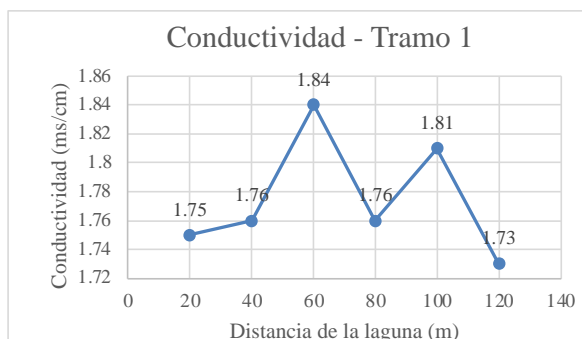
Valores de Conductividad del Tramo 1.

Punto	Distancia (m)	Conductividad(ms/cm)
1	20	1,75
2	40	1,76
3	60	1,84
4	80	1,76
5	100	1,81
6	120	1,73
Promedio		1,78

Fuente: Autores.

Figura 14

Gráfica de Conductividad del Tramo 1



Fuente: Autores.

En el Tramo 1 de la Laguna Valle Hermoso se registró el valor más elevado de conductividad eléctrica, con un promedio de 1.78 mS/cm (Tabla 36). Este resultado sugiere una mayor concentración de iones disueltos en esta zona, lo cual podría estar relacionado con fuentes contaminantes cercanas, como la escorrentía agrícola. En particular, las actividades agrícolas de los cultivos de fresas en las inmediaciones pueden contribuir al transporte de fertilizantes y sales hacia el cuerpo de agua, aumentando así los niveles de conductividad en este tramo.

Tabla 38

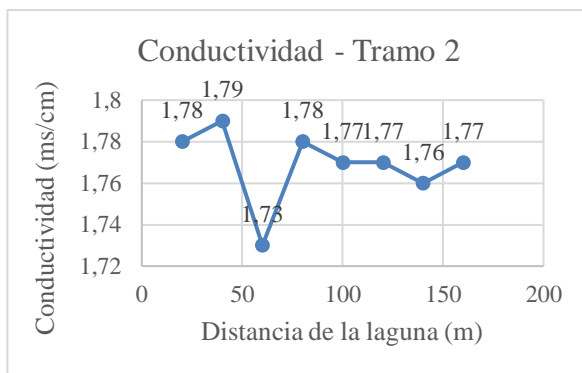
Valores de Conductividad del Tramo 2.

Punto	Distancia (m)	Conductividad(ms/cm)
1	20	1,78
2	40	1,79
3	60	1,73
4	80	1,78
5	100	1,77
6	120	1,77
7	140	1,76
8	160	1,77
Promedio		1,77

Fuente: Autores.

Figura 15

Gráfica de Conductividad del Tramo 2



Fuente: Autores.

El Tramo 2, presenta un promedio de conductividad eléctrica de 1.77 mS/cm (Tabla 38), indicando una ligera disminución en la concentración de iones disueltos en comparación con el Tramo 1. Este valor refleja una condición más estable, probablemente debido a la menor influencia directa de fuentes de contaminación puntuales en esta zona. La ubicación central del Tramo 2 dentro de la laguna podría contribuir a una mezcla homogénea de las aguas, mitigando parcialmente el impacto de las cargas iónicas provenientes de las áreas circundantes.

Tabla 39

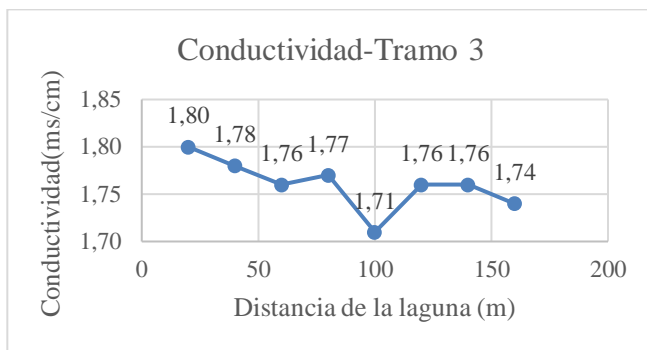
Valores de Conductividad del Tramo 3.

Punto	Distancia (m)	Conductividad(ms/cm)
1	20	1,80
2	40	1,78
3	60	1,76
4	80	1,77
5	100	1,71
6	120	1,76
7	140	1,76
8	160	1,74
Promedio		1,76

Fuente: Autores.

Figura 16

Gráfica de Conductividad del Tramo 3



Fuente: Autores.

En el Tramo 3, la conductividad eléctrica muestra un promedio de 1.76 mS/cm (Tabla 39), similar al valor observado en el Tramo 2. Esto sugiere una relativa homogeneidad en los niveles de concentración de iones disueltos en las zonas media y baja de la laguna. Sin embargo, es importante destacar que la presencia de ganado y el pisoteo en las áreas circundantes podrían estar contribuyendo al ingreso de material orgánico y sales al agua, aunque con menor intensidad que en el Tramo 1. La ubicación más distante del Tramo 3 respecto a las fuentes agrícolas puede ser un factor que limita el incremento de conductividad en esta área.

4.3.4 *Temperatura*

La temperatura del agua en la Laguna Valle Hermoso muestra un incremento progresivo desde el Tramo 1 al Tramo 3, con promedios que oscilan entre 19.18 °C y 21.14 °C. Este patrón evidencia la influencia de factores como la profundidad, la radiación solar y las actividades humanas en las variaciones térmicas del ecosistema.

Tabla 40

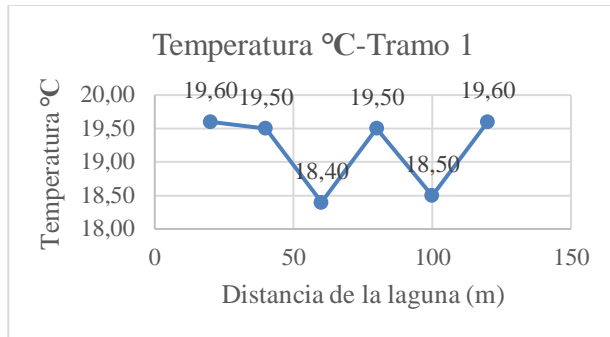
Valores de Temperatura del Tramo 1

Punto	Distancia (m)	Temperatura °C
1	20	19,60
2	40	19,50
3	60	18,40
4	80	19,50
5	100	18,50
6	120	19,60
Promedio		19,18

Fuente: Autores.

Figura 17

Gráfica de Temperatura del Tramo 1



Fuente: Autores.

En el Tramo 1, se registró una temperatura promedio de 19.18 °C, siendo la más baja entre los tres tramos analizados. Esta menor temperatura se relaciona con la mayor profundidad del tramo, que reduce la incidencia directa de la radiación solar en las capas inferiores del agua, limitando el calentamiento. Este tramo muestra estabilidad térmica, lo que podría contribuir a la preservación de condiciones más favorables para los organismos acuáticos.

Tabla 41

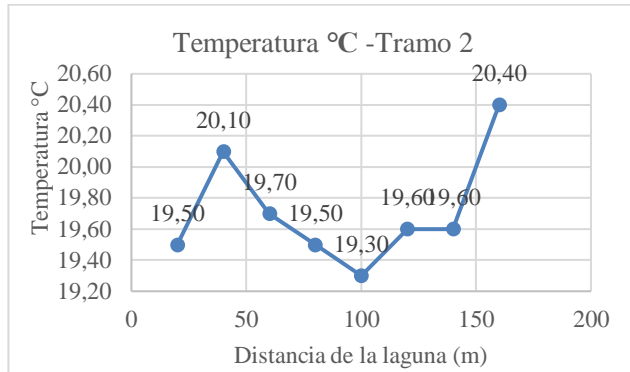
Valores de Temperatura del Tramo 2.

Punto	Distancia (m)	Temperatura °C
1	20	19,50
2	40	20,10
3	60	19,70
4	80	19,50
5	100	19,30
6	120	19,60
7	140	19,60
8	160	20,40
Promedio		19,71

Fuente: Autores.

Figura 18

Gráfica de Temperatura del Tramo 2



Fuente: Autores.

El Tramo 2, presenta una temperatura promedio de 19,71 °C, intermedia entre los valores de los tramos 1 y 3. Este tramo también se caracteriza por una profundidad considerable, que actúa como un factor moderador frente al calentamiento del agua. Sin embargo, la temperatura ligeramente más alta que en el Tramo 1 sugiere una mayor exposición solar en la superficie y posibles influencias locales que generan un aumento progresivo de la temperatura.

Tabla 42

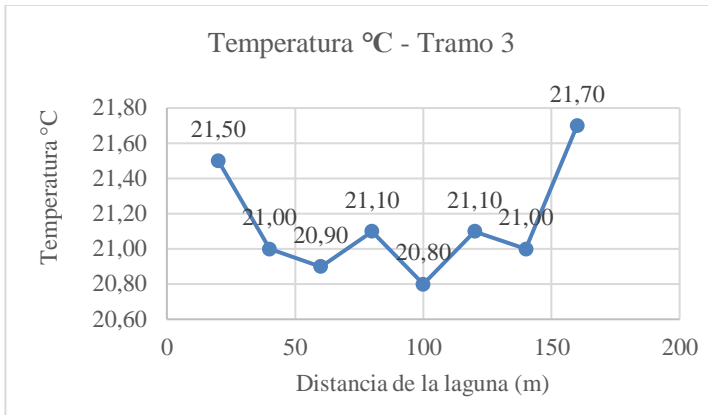
Valores de Temperatura del Tramo 3.

Punto	Distancia (m)	Temperatura °C
1	20	21,50
2	40	21,00
3	60	20,90
4	80	21,10
5	100	20,80
6	120	21,10
7	140	21,00
8	160	21,70
Promedio		21,14

Fuente: Autores

Figura 19

Gráfica de Temperatura del Tramo 3



Fuente: Autores.

El Tramo 3, registra la temperatura más elevada, con un promedio de 21.14 °C. Este incremento térmico puede atribuirse a la menor profundidad en esta zona, lo que facilita el calentamiento del agua por radiación solar directa. Además, la cercanía de actividades humanas, como la presencia de ganado en las orillas, puede generar un microclima más cálido que influye en la temperatura del agua. Este tramo refleja las mayores alteraciones térmicas debido a la combinación de factores naturales y antrópicos.

4.3.5 Sólidos Totales

Los sólidos totales en la Laguna Valle Hermoso muestran una ligera variabilidad entre los tramos analizados, con valores que oscilan entre 1283.63 ppm y 1311.67 ppm. Esto evidencia una relativa uniformidad en la concentración de sólidos a lo largo de la laguna, aunque con influencias locales atribuibles a las condiciones específicas de cada tramo.

Tabla 43

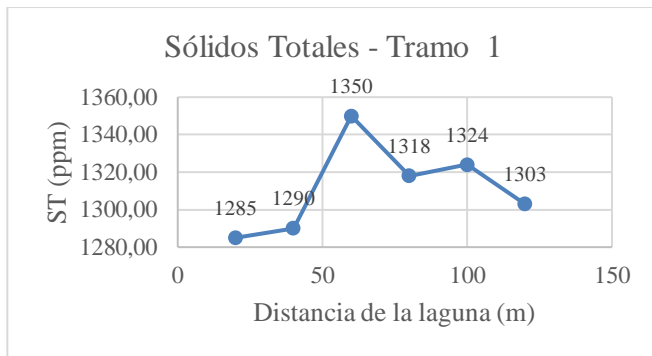
Valores de Sólidos Totales del Tramo 1.

Punto	Distancia (m)	ST (ppm)
1	20	1285,00
2	40	1290,00
3	60	1350,00
4	80	1318,00
5	100	1324,00
6	120	1303,00
Promedio		1311,67

Fuente: Autores.

Figura 20

Gráfica de Sólidos Totales del Tramo 1



Fuente: Autores.

El Tramo 1 registra el promedio más alto de sólidos totales, alcanzando 1311.67 ppm. Este resultado podría estar relacionado con una mayor escorrentía proveniente de las áreas agrícolas cercanas, que arrastran sedimentos y nutrientes hacia la laguna, incrementando la concentración de sólidos en esta sección.

Tabla 44

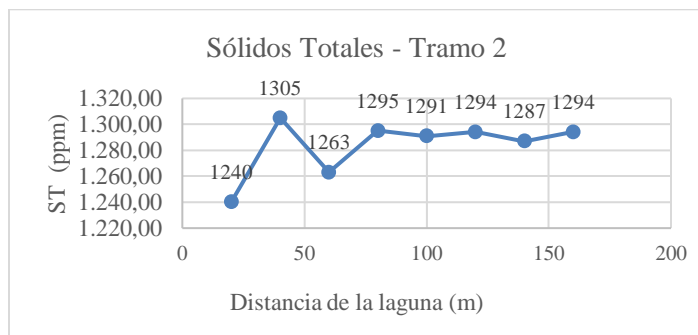
Valores de Sólidos Totales del Tramo 2.

Punto	Distancia (m)	ST (ppm)
1	20	1240,00
2	40	1305,00
3	60	1263,00
4	80	1295,00
5	100	1291,00
6	120	1294,00
7	140	1287,00
8	160	1294,00
Promedio		1283,63

Fuente: Autores.

Figura 21

Gráfica de Sólidos Totales del Tramo 2.



Fuente: Autores.

Con un promedio de 1283.63 ppm, el Tramo 2 presenta la menor concentración de sólidos totales entre los tramos analizados. Este valor más bajo sugiere condiciones relativamente estables y menos influenciadas por aportes externos de sedimentos, posiblemente debido a la menor interacción con fuentes cercanas de contaminación.

Tabla 45

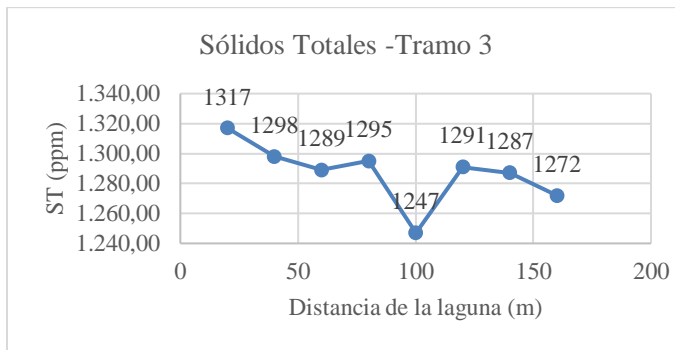
Valores de Sólidos Totales del Tramo 3.

Punto	Distancia (m)	ST (ppm)
1	20	1317,00
2	40	1298,00
3	60	1289,00
4	80	1295,00
5	100	1247,00
6	120	1291,00
7	140	1287,00
8	160	1272,00
Promedio		1287,00

Fuente: Autores.

Figura 22

Gráfica de Sólidos Totales del Tramo 3.



Fuente: Autores.

El Tramo 3 muestra un valor promedio intermedio de sólidos totales, con 1287.00 ppm. Aunque no alcanza los niveles observados en el Tramo 1, la ligera variación podría deberse a la presencia de actividades humanas cercanas, como la ganadería, que contribuyen al ingreso de partículas sólidas al agua.

4.3.6 Transparencia - Disco Secchi (Ds)

La transparencia del agua en la Laguna Valle Hermoso, medida con el Disco Secchi, presenta ligeras variaciones entre los tramos, con valores promedio que oscilan entre 2.00 m y 2.24 m. Estas diferencias están influenciadas por factores como la actividad antrópica, la escorrentía, la proliferación de macrófitas acuáticas y el incremento de sedimentos en suspensión.

Tabla 46

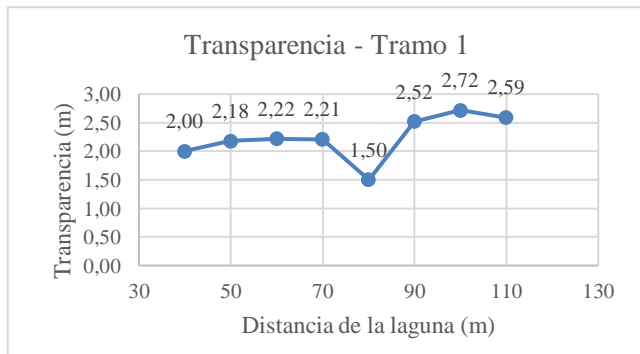
Valores de Transparencia del Tramo 1.

Punto	Distancia (m)	Transparencia (m)
4	40	2,00
5	50	2,18
6	60	2,22
7	70	2,21
8	80	1,50
9	90	2,52
10	100	2,72
11	110	2,59
Promedio		2,24

Fuente: Autores.

Figura 23

Gráfica de Transparencia en el Tramo 1



Fuente: Autores.

En el Tramo 1, se registró la mayor transparencia, con un promedio de 2.24 m. Este valor sugiere una menor presencia de sedimentos y materia orgánica en suspensión, posiblemente debido a una menor influencia de actividades humanas directas y un flujo de agua más limpio en esta sección de la laguna.

Tabla 47

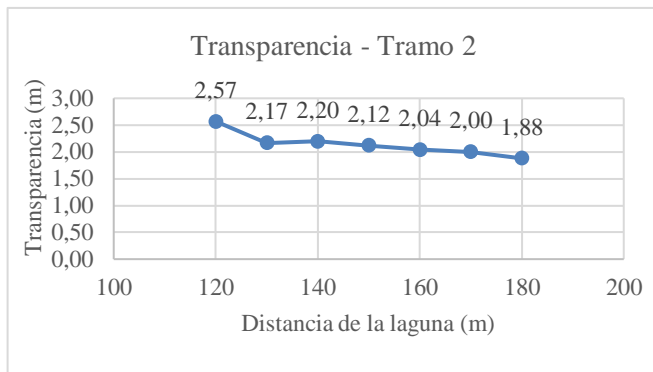
Valores de Transparencia del Tramo 2

Punto	Distancia (m)	Transparencia (m)
12	120	2.57
13	130	2.17
14	140	2.20
15	150	2.12
16	160	2.04
17	170	2.00
18	180	1.88
PROMEDIO		2.14

Fuente: Autores.

Figura 24

Gráfica de Transparencia en el Tramo 2



Fuente: Autores.

El Tramo 2, presentó un promedio de transparencia de 2.14 m, mostrando una ligera disminución en comparación con el Tramo 1. Esta diferencia podría atribuirse a una mayor carga de nutrientes y partículas en el agua provenientes de actividades agrícolas en áreas cercanas, así como a la moderada proliferación de macrófitas acuáticas.

Tabla 48

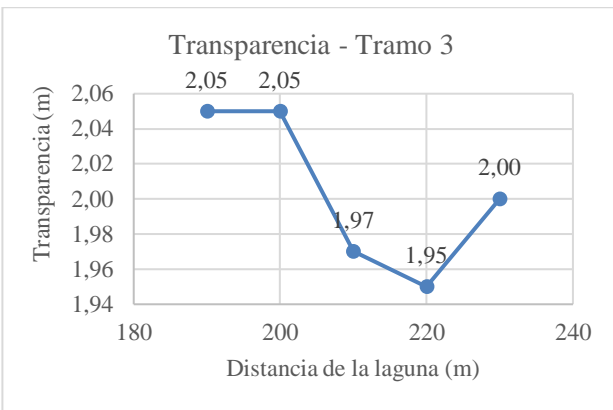
Valores de Transparencia del Tramo 3.

Punto	Distancia (m)	Transparencia (m)
19	190	2.05
20	200	2.05
21	210	1.97
22	220	1.95
23	230	2.00
PROMEDIO		2.00

Fuente: Autores.

Figura 25

Gráfica de Transparencia en el Tramo 3



Fuente: Autores.

El Tramo 3, registró la menor transparencia, con un promedio de 2.00 m. Este resultado está directamente relacionado con un incremento de la turbidez causado por actividades ganaderas y agrícolas cercanas, así como por la proliferación de totoras y otros macrófitos. La descomposición de materia orgánica y el ingreso de sedimentos adicionales reducen la penetración de luz, afectando significativamente la claridad del agua en esta área.

4.4 Evaluación del grado de eutrofización por los métodos: OCDE, APHA y CARLSON.

4.4.1 Fósforo Total

a) Método OCDE

Se evaluaron las concentraciones de fósforo total en tres puntos de muestreo de la laguna Valle Hermoso, utilizando el método OCDE, el cual clasifica las condiciones tróficas de los ecosistemas acuáticos en función de los niveles de fósforo.

Tabla 49

Categoría Trófica del Fósforo según método OCDE de la laguna Valle Hermoso.

OCDE		
Punto	Fósforo ug/L	Categoría
1	50.00	Eutrófico
2	70.00	Eutrófico
3	290.00	Hipertrófico
PROMEDIO	136.66	Hipertrófico

Fuente: Autores.

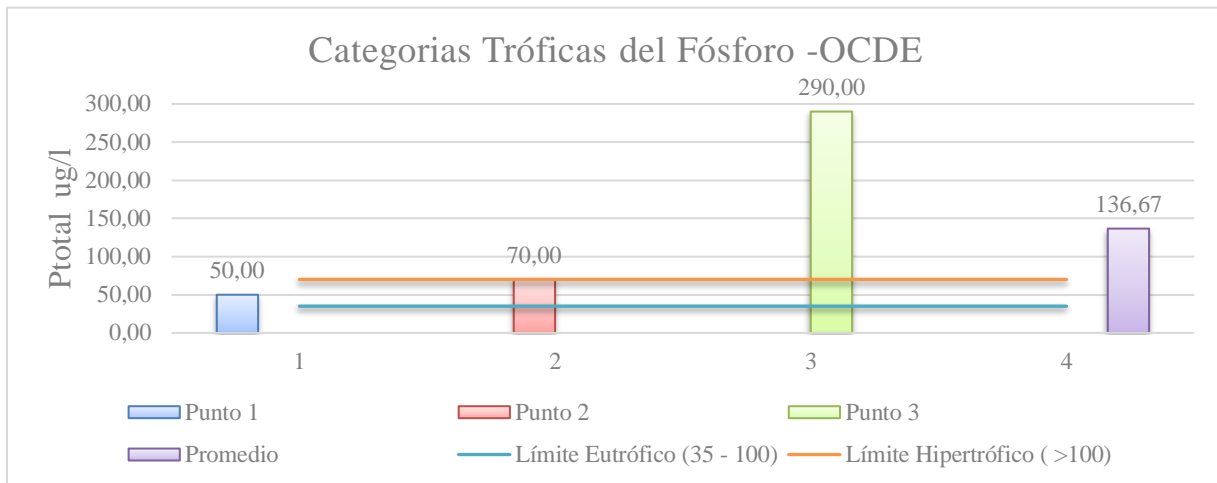
En el Punto 1, la concentración de fósforo total detectada fue de 50.00 $\mu\text{g/L}$ (Tabla 49), situándose dentro del rango de condiciones eutróficas definido por la OCDE (35-100 $\mu\text{g/L}$). Este nivel sugiere un aporte moderado de nutrientes al ecosistema, probablemente debido a la escorrentía agrícola o ganadera circundante. Aunque la concentración no alcanza niveles críticos, indica que el sistema ya está sometido a presiones externas que favorecen el crecimiento de organismos dependientes de nutrientes.

La concentración de fósforo en el Punto 2 aumentó a 7.00 $\mu\text{g/L}$ (Tabla 49), manteniéndose también dentro del rango eutrófico. Este incremento puede atribuirse a actividades antropogénicas más cercanas, como el uso intensivo de fertilizantes en las áreas agrícolas aledañas. La mayor disponibilidad de nutrientes promueve el crecimiento de fitoplancton, que podría generar alteraciones en las condiciones de oxigenación del agua si no se controlan las fuentes de contaminación.

El nivel más preocupante se registró en el Punto 3, con una concentración de 290.00 $\mu\text{g/L}$, superando ampliamente el umbral de condiciones hipereutróficas (mayor a 100 $\mu\text{g/L}$). Este valor refleja una sobrecarga crítica de nutrientes, probablemente debido a la alta densidad de ganado en las proximidades. Factores como el pisoteo y la deposición de excrementos incrementan de manera significativa la entrada de nutrientes y materia orgánica al sistema acuático. Estas condiciones hipereutróficas favorecen el crecimiento descontrolado de macrófitos y cianobacterias, lo cual puede generar problemas severos, como la disminución del oxígeno disuelto y la pérdida de biodiversidad acuática.

Figura 26

Gráfica de las Categorías Tróficas del Fósforo según el método OCDE



Fuente: Autores.

La concentración promedio de fósforo total en los tres puntos de muestreo fue de 136.66 $\mu\text{g/L}$ (Figura 26), lo que clasifica a la laguna, según el método OCDE, en la categoría hipereutrófica. Este resultado sugiere un proceso de eutrofización avanzado que pone en riesgo la estabilidad ecológica del ecosistema.

b) Método CARLSON

El análisis del índice trófico (TSI) mediante el método de Carlson permite evaluar el estado de eutrofización de la laguna Valle Hermoso considerando los niveles de fósforo total.

Tabla 50

Estado de Eutrofia del Fósforo según método CARLSON de la laguna Valle Hermoso.

CARLSON		
Punto	TSI Ptotal	Estado Trófico
1	60.52	Eutrófico
2	65.37	Eutrófico
3	85.85	Hipereutrófico
PROMEDIO	75.01	Hipereutrófico

Fuente: Autores.

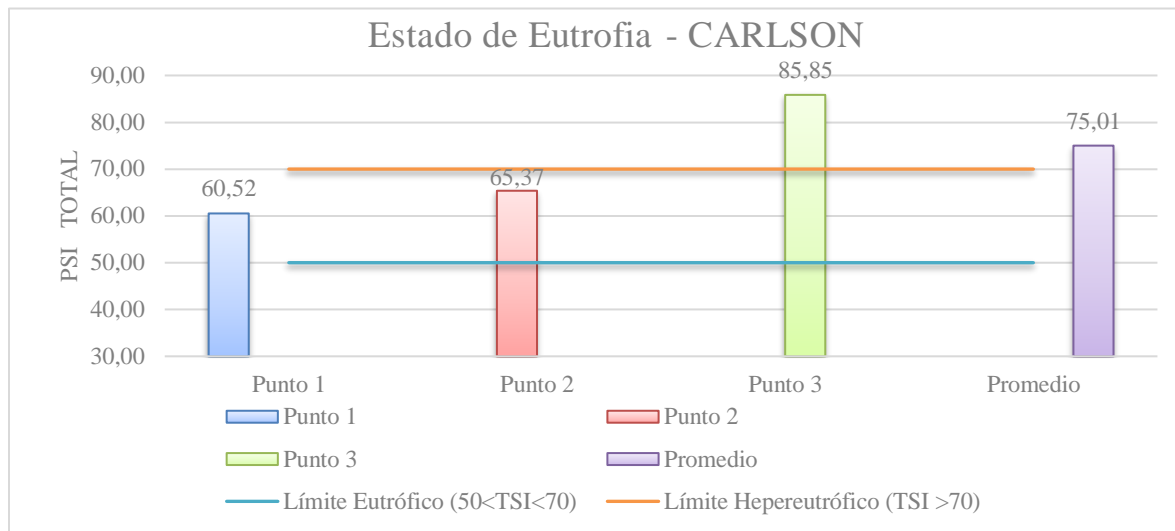
El índice TSI para el punto 1, es de 60.52 (Tabla 50), posicionándose dentro del rango eutrófico. Este valor refleja condiciones acuáticas donde los niveles de fósforo son suficientes para fomentar un crecimiento significativo de algas y macrófitas acuáticas, aunque sin alcanzar niveles críticos. Este estado podría estar influenciado por la escorrentía agrícola y el aporte de nutrientes de actividades ganaderas. A pesar de esto, aún no se observan impactos severos en la calidad del agua.

Con un TSI de 65.37 (Tabla 50), el punto 2 también permanece en el rango eutrófico, pero muestra un leve incremento respecto al Punto 1. Este aumento indica una mayor concentración de nutrientes, probablemente debido a un mayor aporte de fertilizantes, desechos orgánicos o actividades humanas intensivas en las zonas aledañas. Las condiciones aquí se aproximan al límite superior del estado eutrófico, lo que podría generar mayor proliferación de fitoplancton y macrófitas durante temporadas cálidas.

El índice TSI en el punto 3 alcanza 85.85 (Tabla 50), clasificándolo en el rango hipereutrófico (TSI > 70). Este nivel indica una sobrecarga extrema de fósforo que resulta en una proliferación masiva de algas y macrófitas acuáticas, como la totora, que cubre áreas significativas de la laguna. Este exceso de nutrientes genera un ciclo de retroalimentación donde la descomposición de materia orgánica libera aún más fósforo, intensificando el proceso de eutrofización. Además, las condiciones hipereutróficas conducen a una reducción severa del oxígeno disuelto, afectando negativamente la fauna acuática y promoviendo organismos más tolerantes a condiciones anóxicas, como ciertas bacterias y algas específicas.

Figura 27

Gráfica de los Estado de Eutrofia del Fósforo según el método CARLSON



Fuente: Autores.

El promedio de los índices TSI en los tres puntos es de 75.01 (Figura 27), clasificando a la laguna Valle Hermoso como hipereutrónica en su conjunto. Este resultado refleja un estado avanzado de eutrofización, caracterizado por una sobrecarga generalizada de nutrientes que deteriora la calidad del agua y el equilibrio ecológico del ecosistema.

La condición hipereutrónica promedio sugiere que el sistema está enfrentando serias limitaciones ambientales, con un riesgo elevado de pérdida de biodiversidad y servicios ecosistémicos, como la capacidad de soporte de vida acuática.

El método OCDE, indica que la laguna Valle Hermoso presenta un estado eutrónico moderado, con valores cercanos a los umbrales críticos. El método CARLSON confirma esta tendencia, clasificando el punto 3 como hipereutrónico y los puntos 1 y 2 como eutrónicos. Ambos métodos coinciden en señalar una concentración elevada de fósforo que favorece la proliferación de fitoplancton.

4.4.2 Nitrógeno Total.

a) Método APHA

Los resultados del método APHA para la evaluación de nitrógeno total sugieren un ecosistema acuático moderadamente productivo, con un riesgo de eutrofización en el punto 3 debido a una mayor carga de nitrógeno, posiblemente por actividades humanas cercanas.

Tabla 51

Estados Tróficos del Nitrógeno según método APHA de la laguna Valle Hermoso.

APHA		
Punto	Nitrógeno (ug/L)	Estado Trófico
1	212.00	Eutrófico
2	106.00	Mesotrófico
3	752.00	Eutrófico
PROMEDIO	356.67	Eutrófico

Fuente: Autores.

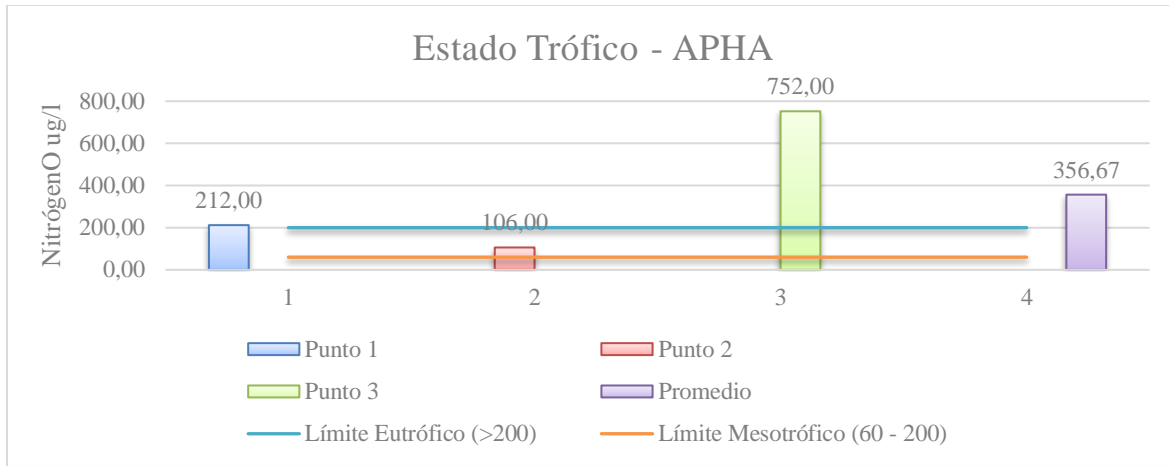
El punto 1, con un valor de 212.00 $\mu\text{g/L}$ (Tabla 51), se clasifica como eutrófico debido a la concentración de nitrógeno total, superando el umbral de 200.00 $\mu\text{g/L}$. Aunque está dentro de un rango que favorece la productividad biológica, la carga de nitrógeno es suficiente para mantener un estado eutrófico moderado. La escorrentía agrícola o la actividad humana pueden incrementar los niveles, exacerbando la eutrofización.

La concentración de nitrógeno en el punto 2 de 106.00 $\mu\text{g/L}$ (Tabla 51), se encuentra en el rango mesotrófico, lo que indica una productividad moderada del ecosistema. Sin embargo, es sensible a aumentos de nutrientes, lo que podría llevar a condiciones eutróficas si las prácticas de manejo no son adecuadas o si las fuentes de nitrógeno no se controlan.

El punto 3, con un valor de 752.00 $\mu\text{g/L}$ (Tabla 51), está claramente en un estado eutrófico alto, con una concentración de nitrógeno significativamente superior a los otros puntos. La alta carga de nitrógeno puede ser atribuida a fuentes de contaminación localizadas, como la escorrentía agrícola o residuos ganaderos, lo que favorece una acumulación de nutrientes y una posible proliferación de algas y macrófitas.

Figura 28

Gráfica de los Estado de Eutrofia del Fósforo según el método APHA.



Fuente: Autores.

El promedio de nitrógeno total en los tres puntos es de 356.67 $\mu\text{g/L}$ (Figura 28), lo que coloca a la laguna en un estado eutrófico. Este promedio sugiere una alta carga de nitrógeno que podría derivar en un ciclo continuo de proliferación de fitoplancton y algas

b) Método CARLSON

El análisis del nitrógeno total utilizando el método CARLSON muestra que todos los puntos de muestreo en la Laguna Valle Hermoso se encuentran en un estado hipereutrófico.

Tabla 52

Estado de Eutrofia del Nitrógeno según método CARLSON de la laguna Valle Hermoso.

CARLSON		
Punto	TSI TN	Estado Trófico
1	131.75	Hipereutrófico
2	121.74	Hipereutrófico
3	150.01	Hipereutrófico
PROMEDIO	139.25	Hipereutrófico

Fuente: Autores.

El punto 1, el valor de TSI de 131.75 (Tabla 52), a pesar de que el valor de nitrógeno en este punto es relativamente más bajo que en el punto 3, sigue siendo clasificado como

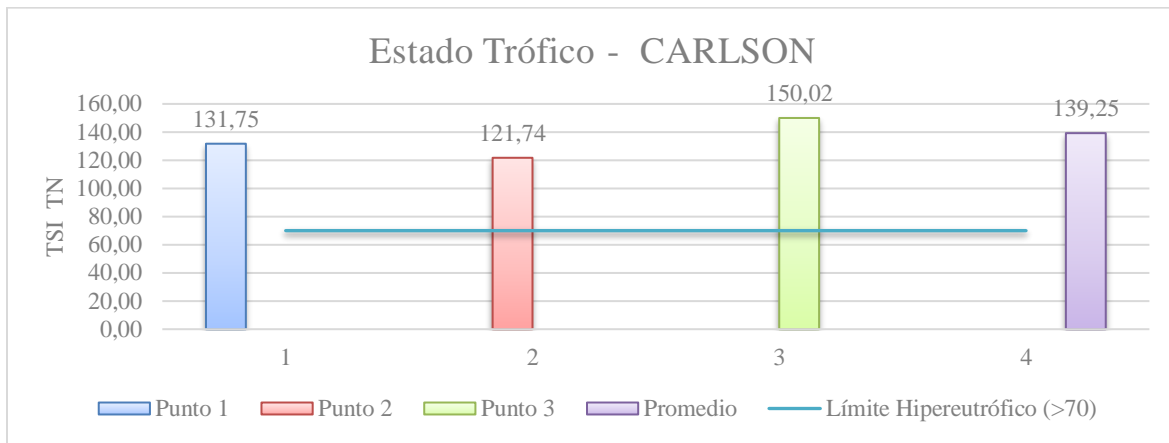
hipereutrífico. Esto indica que la zona ya está recibiendo un exceso de nutrientes, lo que podría generar efectos negativos sobre la biodiversidad acuática, la claridad del agua y la calidad del hábitat.

En el punto 2, el TSI es de 121.74 (Tabla 52), al igual que el Punto 1, este valor coloca al punto 2 en la categoría hipereutrífico, sugiriendo una carga considerable de nutrientes que afecta de manera general a la laguna. Aunque el valor es inferior al del Punto 3, aún está lo suficientemente alto como para generar una alta presión sobre el ecosistema acuático.

El punto 3 muestra el valor más alto 150.01 de TSI (Tabla 52); lo que lo sitúa en un estado hipereutrífico extremo. La alta carga de nitrógeno en esta zona, impulsada probablemente por la escorrentía de nutrientes de los campos agrícolas cercanos, está generando una degradación ecológica significativa.

Figura 29

Gráfica de los Estado de Eutrofia del Nitrógeno según el método CARLSON.



Fuente: Autores.

El promedio de TSI para los tres puntos es de 139.25, lo que coloca a toda la laguna en un estado hipereutrífico. Este valor elevado sugiere que la laguna está recibiendo una gran cantidad de nutrientes, lo que está afectando gravemente su calidad ecológica.

Los resultados obtenidos para el nitrógeno total, utilizando tanto el método APHA como el método CARLSON, muestran una tendencia similar en cuanto a la eutrofización de la Laguna Valle Hermoso, aunque con algunas diferencias en la clasificación de los puntos de muestreo. El método APHA señala que los Puntos 1 y 2 se encuentran en un estado mesotrófico, con

concentraciones de nitrógeno moderadas, mientras que el Punto 3 se encuentra en un estado eutrófico alto, indicando un nivel considerable de acumulación de nitrógeno. En contraste, el método CARLSON clasifica todos los puntos como hipereutróficos, reflejando una carga alta y homogénea de nitrógeno en toda la laguna.

4.4.3 *Transparencia – Disco Secchi (Ds)*

a) **Método OCDE**

El análisis de la transparencia en la Laguna Valle Hermoso, utilizando el método OCDE, muestra variaciones en los niveles de nutrientes y biomasa fitoplanctónica en diferentes puntos de muestreo

Tabla 53

Categorías Tróficas de la transparencia según método OCDE de la laguna Valle Hermoso.

OCDE		
Punto	Transparencia	Categoría
1	1.50	Eutrófico
2	2.12	Mesotrófico
3	1.97	Mesotrófico
PROMEDIO	1.86	Mesotrófico

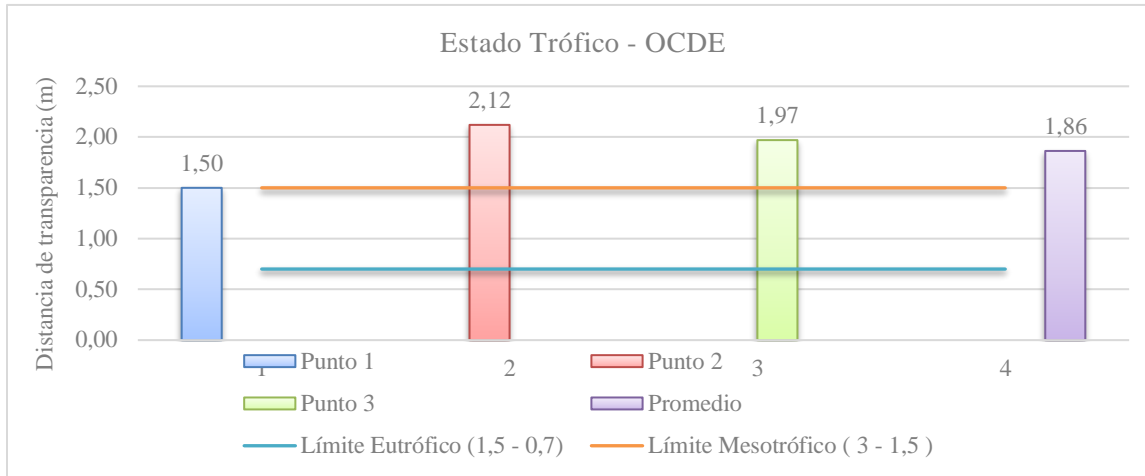
Fuente: Autores.

La transparencia registrada en el punto 1, fue de 1.50 m (Tabla 53), lo que lo coloca en la categoría eutrófica. Este valor sugiere una alta concentración de fitoplancton y materia orgánica, lo que limita la penetración de luz en la columna de agua y favorece la proliferación algal. Este comportamiento está alineado con los altos niveles de nutrientes (fósforo y nitrógeno) observados en este punto.

Los puntos 2 y 3, presentan valores de transparencia de 2.12 m y 1.97 m (Tabla 53), respectivamente, clasificándose como mesotróficos. La mayor transparencia en comparación con el Punto 1 sugiere una menor carga de nutrientes y biomasa fitoplanctónica, lo que permite una mayor penetración de luz, contribuyendo a una mejor calidad del agua.

Figura 30

Gráfica de los Estado de Eutrofia de la Transparencia según el método OCDE.



Fuente: Autores.

El promedio de transparencia en los tres puntos es de 1.86 m (Figura 30), lo que ubica a la laguna en un estado mesotrófico. Sin embargo, la variabilidad entre los puntos indica que el sistema está pasando por una transición hacia un estado eutrófico en ciertas áreas, particularmente en el Punto 1.

b) Método CARLSON

El análisis de transparencia en la Laguna Valle Hermoso utilizando el índice de Estado Trófico (TSI) de Carlson muestra que todos los puntos de muestreo se encuentran dentro del rango mesotrófico.

Tabla 54

Categorías Tróficas de la transparencia según método CARLSON de la laguna Valle Hermoso.

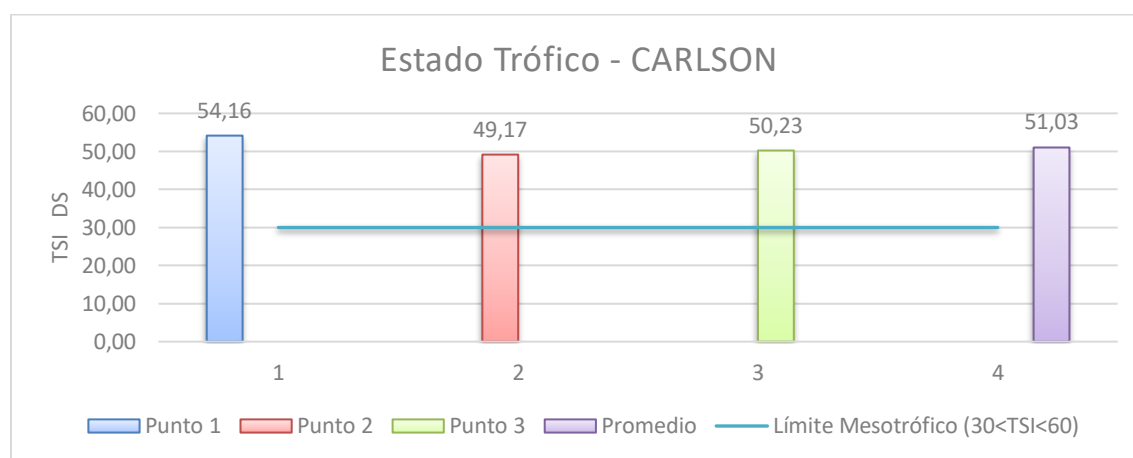
CARLSON		
Punto	TSI Ds	Estado Trófico
1	54.16	Mesotrófico
2	49.17	Mesotrófico
3	50.23	Mesotrófico
PROMEDIO	51.03	Mesotrófico

Fuente: Autores.

El punto 1, con un TSI de 54.16, clasifica el punto en mesotrófico. Esto indica una cantidad moderada de nutrientes y una productividad biológica equilibrada. El punto 2, con un TSI de 49.17, que también cae dentro de la categoría mesotrófica, reflejando condiciones similares al Punto 1. El punto 3, con un TSI de 50.23, que también se clasifica como mesotrófico, mostrando una tendencia a niveles moderados de nutrientes y productividad biológica controlada.

Figura 31

Gráfica de los Estado de Eutrofia de la Transparencia según el método CARLSON



Fuente: Autores.

El promedio de TSI de los tres puntos es de 51.03, lo que confirma que la laguna en su conjunto se encuentra en un estado mesotrófico.

Los valores de transparencia obtenidos en el Método OCDE indican un estado mesotrófico generalizado (promedio de 1.86 m), con el Punto 1 en un estado eutrófico debido a una mayor concentración de fitoplancton y materia orgánica, mientras que los Puntos 2 y 3 se encuentran en un estado mesotrófico, reflejando una menor carga de nutrientes y mejor calidad del agua.

El Método Carlson con valores de TSI de 54.16, 49.17, y 50.23 para los puntos 1, 2 y 3, respectivamente, clasifican la laguna dentro de un rango mesotrófico, con una productividad biológica moderada, sin alcanzar condiciones de eutrofización avanzada.

Finalmente, se realizó una comparación con el estudio elaborado por Romero, (2019) en el cual determinaron que la laguna se encontraba en un estado eutrófico con un promedio de 83.55 obtenido mediante el método CARLSON a partir de los parámetros de transparencia del Disco

Secchi y Fosforo total; sin embargo, ya para el 2024 de determino que la laguna posee un estado hipertrófico en el parámetro de Fosforo Total con un promedio de 75.01 , mientras para la Transparencia se encuentra en un estado mesotrófico con un valor promedio de 51.03., es decir, que la eutrofización permanece en este cuerpo de agua.

4.5 Estimación de los factores antrópicos que influyen en la eutrofización en la laguna Valle Hermoso.

4.5.1 Lista de Chequeo

Durante los meses de mayo, junio y julio de 2024 , se llevaron a cabo visitas de campo en las inmediaciones de la Laguna Valle Hermoso, con el propósito de identificar las actividades humanas que podrían estar contribuyendo a la eutrofización del cuerpo de agua. Estas visitas permitieron realizar observaciones directas y completar una lista de chequeo estructurada para evaluar los factores antropogénicos presentes en la zona. A continuación, se detallan los principales factores identificados que podrían influir en el proceso de eutrofización:

Tabla 55

Resultados de la inspección de las actividades humanos en la laguna Valle Hermoso.

No.	Actividades Humanas	SI	NO	OBSERVACIONES
A	Manejo inadecuado de residuos sólidos	X		La presencia de residuos sólidos es evidente, ya que se las encuentra regadas a los bordes y dentro de la laguna, además, existe un pésimo manejo de los residuos ya que la autoridad competente no se ha hecho responsable, por lo que los moradores recurren a la quema de la basura como alternativa.
B	Cultivos circundantes a la laguna	X		A simple vista es evidente que existe la presencia de algunos cultivos, sin embargo, en el noreste de la laguna es donde se encuentra en mayor cantidad de cultivos como la fresa, maíz y alfalfa.
C	Uso de fertilizantes y agroquímicos	X		En cuanto al uso de fertilizantes se pudo evidenciar su utilización principalmente en las plantaciones de fresa, mientras en el

			resto de los cultivos como maíz y alfalfa se utilizaba fertilizantes naturales como estiércol y gallinaza.
D	Crianza de animales vacuno, porcino y ovino	X	Es evidente la presencia de ciertos animales al lado Oeste de la laguna, siendo principalmente animales como vacas, cerdos y llamas que eran pertenecientes a algunos moradores de la zona.
E	Descarga de aguas residuales	X	No se realizar el vertido o descarga de aguas residuales provenientes de los hogares que se sitúan cercanos a la laguna, pues la mayoría de las casas poseen pozos sépticos con profundidades de hasta 2m.
F	Vertido de residuos Industriales	X	No hay indicios de vertidos de residuos industriales en el cuerpo de agua por pequeñas empresas o los mismos moradores.
G	Sobre pastoreo	X	A pesar de que existe la presencia de algunos animales a los alrededores de la laguna, se llegó a la conclusión de que no existe un problema de sobrepastoreo ya que pastan alrededor de 6 vacas y de vez en cuando se observa la presencia de burros o llamas.
H	Extracción de agua de la Laguna para siembra y cultivo	X	El agua de la laguna es extraída con el uso de tuberías y bombas para evitar su desbordamiento, pero también para regadío en la zona de San Gregorio.

Fuente: Autores.

4.5.2 Entrevista

Con el objetivo de conocer el origen y el estado actual de la Laguna Valle Hermoso, se realizó una entrevista a los moradores del sector. Según los entrevistados, la laguna no existía originalmente en la zona. En su lugar, el área estaba ocupada por un bosque de eucaliptos y un camino. Con el tiempo, comenzaron a formarse pequeños ojos de agua, que gradualmente se transformaron en charcos debido a la acumulación de agua, siendo el más grande de estos el que dio origen a la laguna actual.

En épocas pasadas, la biodiversidad del área era considerablemente mayor. La laguna albergaba una abundante población de peces y aves, y el entorno era menos alterado, ya que no existía el número de edificaciones que actualmente han proliferado en la zona.

En la actualidad, la laguna tiene un uso predominantemente turístico, siendo uno de sus principales atractivos el alquiler de botes los fines de semana para el disfrute de los turistas. No obstante, algunos moradores señalaron que, en ocasiones, jóvenes se acercan en vehículos a la laguna para realizar actividades como el consumo de bebidas alcohólicas (libar), lo cual genera preocupación tanto en términos de seguridad como de contaminación del agua.

Adicionalmente, los entrevistados mencionaron que una parte del agua de la laguna es conducida por tuberías hacia la localidad de San Gregorio. Esta agua es utilizada principalmente para el riego de cultivos y el abrevadero de animales. Sin embargo, los moradores del sector indicaron que la laguna no tiene otros usos significativos para la comunidad en términos de recursos hídricos.

Los detalles completos de los resultados obtenidos a partir de la entrevista se encuentran en el Anexo 2 de este proyecto de investigación.

4.5.3 Encuesta

Se realizaron encuestas a los moradores del sector de la Laguna Valle Hermoso con el objetivo de identificar las actividades humanas que podrían influir en los procesos de eutrofización de este cuerpo de agua. Las respuestas obtenidas fueron clasificadas en cuatro categorías: contaminación, agricultura, ganadería y gestión municipal, con la finalidad de obtener resultados más específicos que permitieran una mejor comprensión de los factores que impactan negativamente la calidad del agua. Los datos obtenidos se presentan a continuación:

- **Contaminación:** La contaminación de la laguna ha sido identificada como un problema evidente por los moradores. Un 76% de los encuestados afirmó haber observado la presencia de personas arrojando residuos sólidos, especialmente plásticos, los cuales constituyen el contaminante más prevalente con un 60%. Además, el 40% de los encuestados señaló que la presencia de totora es un contaminante, ya que esta especie invasora cubre gran parte de la laguna (Anexo 11). Al completar su ciclo de vida, la totora se descompone y se convierte en materia orgánica, lo que contribuye a la pérdida del espejo de agua y favorece la acumulación de nutrientes, exacerbando la eutrofización y alterando los parámetros físico-químicos del agua.
- **Agricultura:** En cuanto a las actividades agrícolas, las respuestas obtenidas en la pregunta dos indican que los cultivos predominantes en la zona circundante son el maíz (48%) y la

papa (36%), mientras que el cultivo de fresa (12%) también se encuentra presente, aunque en menor proporción (Anexo 5) A pesar de su menor presencia, la fresa es uno de los cultivos que genera mayor impacto debido al uso de fitosanitarios que llegan al agua de la laguna a través de la escorrentía. Este efecto se confirma con los resultados de la pregunta tres, que indican que, aunque la mayoría de los moradores utiliza fertilizantes orgánicos (76%) como compost y estiércol, el uso de fertilizantes químicos como GrowPlex y Promet Calcio, aunque en pequeñas cantidades, es particularmente perjudicial, ya que estos productos contribuyen a la eutrofización al incrementar la carga de nutrientes en el agua(Anexo 7).

- **Ganadería:** En la categoría de ganadería, las respuestas a la pregunta cuatro indican que los animales predominantes en el sector son vacunos (56%) y ovinos (44%)(Anexo 10). Al profundizar sobre las zonas de pastoreo en la pregunta siete, los moradores informaron que 68% de los animales pastorean en áreas alejadas de la laguna, mientras que el 32% restante lo hace en los bordes de la laguna(Anexo 16). Sin embargo, durante las visitas de campo, se observó que el ganado vacuno frecuentemente pastorea cerca de la zona noreste de la laguna, lo que representa un problema significativo, ya que estos animales depositan excrementos en el agua, lo que aumenta la concentración de nutrientes en el agua y contribuye al proceso de eutrofización.
- **Gestión Municipal:** La gestión municipal se identificó como un factor clave en la conservación y protección de la laguna. En la pregunta ocho, se reveló que la mayoría de los moradores desconoce las campañas de prevención de contaminación impulsadas por las autoridades ambientales. Solo un 8% de los encuestados está informado sobre estas iniciativas. Esta falta de conocimiento refleja una deficiencia en las políticas públicas de gestión ambiental y educación comunitaria. La ausencia de información sobre buenas prácticas ambientales, la conservación de ecosistemas acuáticos, el uso adecuado de fitosanitarios y la disposición final de desechos sólidos (Anexo 18) constituye un gran desafío para la mejora de la calidad del agua en la laguna.

En resumen, la encuesta evidencia una relación directa entre las actividades humanas, como la contaminación, la agricultura, la ganadería y la falta de gestión municipal efectiva, con el proceso

de eutrofización en la Laguna Valle Hermoso. Estos factores requieren una atención urgente para mitigar sus efectos y restaurar la calidad ambiental de este ecosistema acuático.

4.5.4 Matriz de valoración cuantitativa de impactos antrópicos

El manejo inadecuado de residuos sólidos se considera con una influencia baja en la eutrofización de la laguna. Aunque la presencia de residuos sólidos, como plásticos, es un factor contaminante identificado, la intensidad, magnitud y duración de su impacto son relativamente bajos, lo que se refleja en la baja calificación de este factor.

Los cultivos circundantes a la laguna, como el maíz y la papa, presentan una influencia media a alta en la eutrofización. La intensidad de la actividad agrícola es moderada, pero su magnitud y duración son significativas, especialmente debido al uso de fertilizantes y productos fitosanitarios que llegan al agua a través de la escorrentía, contribuyendo al aumento de nutrientes en el cuerpo de agua.

El uso de fertilizantes químicos y orgánicos es un factor con alta influencia en el proceso de eutrofización. La intensidad, magnitud y duración de su impacto son todas altas, especialmente debido a que los fertilizantes químicos, aunque en pequeñas cantidades, pueden aumentar significativamente la carga de nutrientes en la laguna, favoreciendo la proliferación de algas y otras plantas acuáticas.

La crianza de ganado (vacuno, porcino y ovino) tiene una influencia media a alta en la eutrofización, principalmente debido a la acumulación de excrementos que terminan en la laguna. Aunque gran parte del ganado pastorea en áreas alejadas de la laguna, el ganado vacuno en particular suele pastorear cerca de los bordes, aumentando la carga de nutrientes en el agua.

Las descargas de aguas residuales no se consideran un factor relevante para la eutrofización en este caso. No se reportó la presencia de descargas directas de aguas residuales en la laguna, lo que se refleja en el valor de 0 en los tres parámetros evaluados.

El vertido de desechos industriales no se presenta como una fuente significativa de contaminación para la laguna, ya que no se reportaron actividades industriales en las cercanías de la laguna que pudieran afectar su calidad de agua.

El sobrepastoreo tiene una influencia baja en la eutrofización de la laguna. Aunque algunos animales pastorean cerca de la laguna, la intensidad de esta actividad es baja y su impacto sobre los nutrientes del agua es limitado.

La extracción de agua de la laguna para riego de cultivos tiene una influencia media en la eutrofización. Aunque no directamente relacionado con la carga de nutrientes, el uso de agua de la laguna para irrigar cultivos puede aumentar la demanda de agua y alterar el balance del ecosistema acuático.

Tabla 56.

Convenciones y Valoración.

0 - 2	Influencia Baja de las actividades humanas en la eutrofización de la laguna
3 - 4	Influencia Media de las actividades humanas en la eutrofización de la laguna
5	Influencia Alta de las actividades en la eutrofización de la laguna

Fuente: Autores.

Tabla 57

Matriz Apriorística para la estimación de los factores antrópicos .

Objetivo	Actividades que influyen en la eutrofización	Intensidad			Magnitud			Duración			Resultado
		B	M	A	B	M	A	B	M	A	PROMEDIO
Estimar los factores antrópicos que influyen en la Eutrofización en la laguna Valle Hermoso	A. Manejo Inadecuado de Residuos Sólidos	2			2			2			2
	B. Cultivos circundantes a la laguna		3			4			4		4
	C. Uso de fertilizantes químicos y orgánicos		4			4			4		4
	D. Crianza de animales vacuno, porcino y ovino		3			4			4		4
	E. Descargas de aguas residuales	0			0			0			0
	F. Vertido de Desechos Industriales	0			0			0			0
	G. Sobrepastoreo	1			1			1			1
	H. Extracción de agua de la laguna para siembra y cultivo		3			3			3		3
PROMEDIO											2

Fuente: Autores.

El promedio general de los factores antrópicos que influyen en la eutrofización de la Laguna Valle Hermoso es 2, lo que indica que, en general, las actividades humanas en la zona tienen una influencia media sobre el proceso de eutrofización, con algunas actividades, como el uso de fertilizantes y la crianza de ganado, destacando con un mayor impacto. Es importante tomar en cuenta estos resultados para implementar medidas de manejo y conservación adecuadas que mitiguen estos efectos y promuevan la recuperación de la calidad del agua en la laguna.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- La evaluación batimétrica de la Laguna Valle Hermoso, basada en la comparación de dos métodos indirectos contra el método manual usado como referencia, permitió analizar las diferencias en la estimación de la profundidad del cuerpo de agua. El método de teledetección mostró un error aproximado del 9% con una subestimación significativa de la profundidad, especialmente en la máxima, que puede atribuirse a factores como la resolución espacial de las imágenes satelitales y la nubosidad que afecta la calidad de los datos. El Espectroradiómetro, aunque con un rendimiento intermedio, demostró un error promedio del 4.5%, lo que lo posiciona como una herramienta viable, aunque su desempeño aún está condicionado por factores ambientales externos.
- La morfometría de la Laguna Valle Hermoso registra un volumen de agua de aproximadamente 35,000 m³, con un área total cercana a los 30,000 m². La profundidad promedio no supera los 1.89 m, alcanzando una profundidad máxima de 2.72 m, lo que indica que es un cuerpo de agua poco profundo. Además, la laguna presenta un ancho promedio de 160.00 m y un largo promedio de 191.87 m.
- En términos de eutrofización, la laguna Valle Hermoso se encuentra en un estado que oscila entre eutrófico e hipertrófico, según los resultados obtenidos de los tres métodos empleados, OCDE 1982, APHA 1981 y Carlson 1977. Este estado refleja un exceso de nutrientes en el agua, que favorecen la proliferación de algas y otras especies invasoras.
- El grado de eutrofización de la laguna Valle Hermoso es consistente con las clasificaciones de eutrófico a hipertrófico. Las principales causas de este fenómeno están vinculadas a actividades humanas, especialmente las actividades agrícolas: el uso intensivo de fertilizantes químicos, los cultivos aledaños y la presencia de animales en la zona. Estas condiciones producen la pérdida del espejo de agua y alteraciones en el paisaje de la laguna.

5.2 RECOMENDACIONES

- Para reducir la contaminación de la Laguna Valle Hermoso, es esencial fomentar la colaboración entre las autoridades locales, instituciones y la comunidad. Esto permitirá articular esfuerzos para implementar programas educativos sobre buenas prácticas ambientales, tales como charlas, capacitaciones y talleres sobre manejo sostenible de los recursos naturales. La sensibilización de la población local es crucial para proteger y preservar el ecosistema lacustre.
- Se recomienda identificar y zonificar áreas específicas para el pastoreo de ganado, con el fin de controlar el acceso de los animales a las zonas más sensibles de la laguna. Establecer zonas de protección alrededor del ecosistema lacustre permitirá proteger los pastizales naturales cercanos al lecho de la laguna, previniendo la compactación del suelo y la contaminación del agua por excrementos animales.
- Es necesario promover la transición hacia el uso de fertilizantes agroecológicos y otros métodos agrícolas ambientalmente sostenibles. La colaboración entre la municipalidad local, especialistas en agricultura y los pobladores será fundamental para demostrar los beneficios de los fertilizantes naturales, los cuales son más respetuosos con el medio ambiente y, al mismo tiempo, más eficientes y sostenibles en términos de producción agrícola. Se recomienda llevar a cabo un monitoreo constante de la morfología y el grado de eutrofización de la laguna. La recopilación de datos actualizados permitirá a las autoridades locales implementar proyectos más efectivos para la protección y conservación del ecosistema lacustre. La evaluación continua de los parámetros físicos y químicos del agua ayudará a tomar decisiones informadas y mejorar

BIBLIOGRAFIA

- Anguera, M. T., Blanco-Villaseñor, A., Losada, J. L., & Portell, M. (2018). Pautas para elaborar trabajos que utilizan la metodología observacional. *Anuario de Psicología*, 48(1), 9–17. <https://doi.org/10.1016/J.ANPSIC.2018.02.001>
- APHA. (2017). *Métodos estándar para el examen de agua y aguas residuales*, 23.^a edición (Vol. 23). moz-extension://06191879-5f49-4d59-b577-48b711a14ead/enhanced-reader.html?openApp&pdf=https%3A%2F%2Fyabesh.ir%2Fwp-content%2Fuploads%2F2018%2F02%2FStandard-Methods-23rd-Perv.pdf
- Barboza Castillo, E., Maicelo Quintana, J. L., Vigo Mestanza, C., & Castro Silupú Segundo Manuel Oliva Cruz, J. (2014). Análisis morfométrico y batimétrico del lago Pomacochas (Perú) Morphometric and bathymetric analysis of lake Pomacochas (Peru) 1* a 2 3 4 5. *Rev. Indes*, 2(2), 90–97. <https://doi.org/10.25127/indes.201402.009>
- Bărbulescu, A., Barbeș, L., & Dani, A. (2020). Análisis estadístico de los indicadores de calidad del agua del río Danubio (en Rumania). *Advances in Science, Technology and Innovation*, 277–279. https://doi.org/10.1007/978-3-030-13068-8_69
- Briceño, I., Pérez, W., San, M. D., & Ramos, S. (2018). Determination of water quality vichuquén lake, using satellite images landsat 8, sensor OLI, year 2016, Chile. *Revista de Teledeteccion*, 2018(52), 67–78. <https://doi.org/10.4995/raet.2018.10126>
- Cajachagua Arce, E. (2022). Reutilización de aguas grises tratadas por soluciones basadas en la naturaleza: revisión sistemática. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/33182>
- Carlson, R. E. (1977). Un índice de estado trófico para los lagos. *Limnology and Oceanography*, 22(2), 361–369. <https://doi.org/10.4319/LO.1977.22.2.0361>
- Erena, M., Domínguez, J. A., Aguado-Giménez, F., Soria, J., & García-Galiano, S. (2019). Monitoring Coastal Lagoon Water Quality through Remote Sensing: The Mar Menor as a Case Study. *Water 2019*, Vol. 11, Page 1468, 11(7), 1468. <https://doi.org/10.3390/W11071468>
- Escobar-Arrieta, S., Albuja, A., & Andueza-Leal, F. D. (2021). Calidad fisicoquímica del agua de la laguna Colta. Chimborazo. Ecuador. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 11(1), 80–90. <https://doi.org/10.29166/revfig.v11i1.3135>
- Fornerón, C. F., Cintia Piccolo, M., & Carbone, M. E. (2010). Análisis morfométrico de la laguna Sauce Grande (Argentina). *Huellas N°*, 14, 11–30.
- Fraile, H., Orive, E., & Pozo, J. (1995). *Evaluación del estado trófico y comparación de modelos relativos al fósforo en los embalses de Cernadilla y Valparaíso(Río Tera, Zamora)*.
- Fritschy, B., & Glur, V. (2011). ANALISIS DE LA VARIABLE SITUACIÓN ECONOMICA EN LA CIUDAD DE SANTA FE SEGÚN ENCUESTAS DE 2011. In *Contribuciones Científicas GAEA* / (Vol. 26). chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcgclclefindmkaj/https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/

- handle/11336/15756/CONICET_Digital_Nro.19089_25.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Galih Prabasari, I., Syarifuddin, H., & Muhammad, D. (2017). Modelling of phosphate enrichment and trophic status of Sipin Lake Jambi using TSI Carlson method. *MATEC Web of Conferences*, 101, 04004. <https://doi.org/10.1051/MATECCONF/201710104004>
- Goretti, F., Miranda, G., & Rosales, V. M. (2018). *EUTROFIZACIÓN, UNA AMENAZA PARA EL RECURSO HÍDRICO*.
- Jácome, E. T. (2014). Vegetación acuática y estado trófico de las lagunas andinas de San Pablo y Yahuarcocha, provincia de Imbabura, Ecuador. *Revista Ecuatoriana de Medicina y Ciencias Biológicas*, 35(1–2), 121–131. <https://doi.org/10.26807/REMCB.V35I1-2.255>
- Kora, A. J., Rastogi, L., Kumar, J., & Jagatap, N. (2017). ScienceDirect Physico-chemical and bacteriological screening of Hussain Sagar lake: An urban wetland-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>). *Water Science*, 31, 24–33. <https://doi.org/10.1016/j.wsj.2017.03.003>
- Liliana López Martínez, M., Milena, S., & Palacios, M. (2015). ESTADO TRÓFICO DE UN LAGO TROPICAL DE ALTA MONTAÑA: CASO LAGUNA DE LA COCHA. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 25(2), 21–42. <https://doi.org/10.15665/RE.V13I1.348>
- Luo, Y., Tang, L., Yang, K., Zhou, X., Liu, J., Zhang, Y., & Peng, Z. (2023). Investigating the warming effect of urban expansion on lake surface water temperature in the Dianchi lake watershed. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 49, 101516. <https://doi.org/10.1016/J.EJRH.2023.101516>
- Moreno, P., Quintero, J., & López Armando. (2010). *Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia*. 1–9.
- Noyola, C., & Vázquez, L. (2014). *Estimación de la variabilidad del nivel del Lago de Chapala (Jalisco, México) a partir de la firma espectral del agua*.
- Rhosmi, T., Bravo, C., Jossen, P., & Jalixto, J. (2021). Evaluación del grado de eutrofización de la laguna de Huatata - Chinchero, Cusco 2021. *Universidad Continental*. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/10663>
- Rodríguez Curcio, J. de J., Linero-Cueto, J., & Barros Ortíz, L. J. (2018). Caracterización morfométrica de una laguna costera neotropical (ciénaga El Chino, Magdalena - Colombia). *Intropica*, 21. <https://doi.org/10.21676/23897864.2355>
- Romero, M. (2019). “DETERMINACIÓN DE EUTROFIZACIÓN A PARTIR DE LA SALUBRIDAD DE SUS NUTRIENTES, EN LA LAGUNA URBANA VALLE HERMOSO DEL CANTÓN GUANO” [ESPOCH]. chrome-extension://efaidnbmninnbpcajpcgclclefindmkaj/<http://dspace.esepoch.edu.ec/bitstream/123456789/10597/1/236T0428.PDF>
- Sarduy Domínguez, Y. (2007). El análisis de información y las investigaciones cuantitativa y cualitativa. *Revista Cubana de Salud Pública*, 33(3), 0–0. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-34662007000300020&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Soria, X., Vicente, E., Durán, C., Soria, J. M., & Peña, R. (2017). *Uso de imágenes Landsat-8 para la estimación de la profundidad del disco de Secchi en aguas*

continentales Landsat-8 images for Secchi disc depth estimation in inland waters.
<http://idearm.imida.es/aet2017>

- Steffen, W., Rockström, J., Richardson, K., & Lenton, T. M. (2018). Trayectorias del Sistema Tierra en el Antropoceno. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *115*(33), 8252–8259.
https://doi.org/10.1073/PNAS.1810141115/SUPPL_FILE/PNAS.1810141115.SAPP.PDF
- Wetzel, R. G., & Likens, G. E. (2000). Luz y Temperatura. *Limnological Analyses*, 15–32. https://doi.org/10.1007/978-1-4757-3250-4_2
- Xie, Q., Ren, L., & Yang, C. (2023). Regulation of water bodies to urban thermal environment: Evidence from Wuhan, China. *Frontiers in Ecology and Evolution*, *11*, 983567. <https://doi.org/10.3389/FEVO.2023.983567/BIBTEX>

	Opciones	
	Ganado Vacuno ()	Ganado Ovino ()
Contaminantes predominantes	5. ¿Cuáles son los principales contaminantes que usted cree que presenta la laguna en la actualidad?	
	Opciones	
	Residuos Plásticos ()	Totora ()
Contaminación por la agricultura	6. ¿Cree usted que la agricultura desarrollada alrededor de la laguna contamina y por qué?	
	Opciones	
	Si ()	No () Por qué
Zonas de pastoreo	7. ¿En qué zona pastorea más sus animales como ganado (vacuno, porcino)?	
	Opciones	
	Al borde de la laguna ()	A las afueras ()
Campañas de parte de la Municipalidad	8. ¿Usted sabe si la municipalidad de Guano realiza campañas para prevenir la contaminación de la laguna Valle Hermoso?	
	Opciones	
	Si ()	No ()

Fuente: Autores.

Anexo 3.

Respuestas de los moradores - Pregunta 1

RESPUESTAS	
Si	19
No	6
TOTAL	25

Fuente: Autores.

Anexo 4.

Gráfica de las respuestas de los moradores- Pregunta 1.



Fuente: Autores.

Anexo 5.

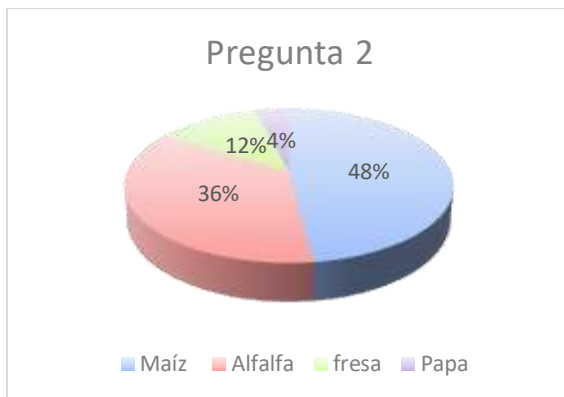
Respuestas de los moradores - Pregunta 2.

RESPUESTAS	
Maíz	12
Alfalfa	9
Fresa	3
Papa	1
TOTAL	25

Fuente: Autores.

Anexo 6.

Gráfica de las respuestas de los moradores- Pregunta 2.



Fuente: Autores.

Anexo 7.

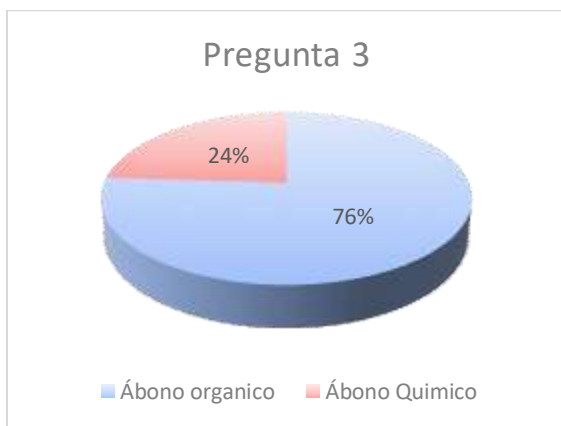
Respuestas de los moradores - Pregunta 3.

RESPUESTAS	
Fertilizantes Orgánicos	19
Fertilizantes Químicos	6
TOTAL	25

Fuente: Autores.

Anexo 8.

Gráfica de las respuestas de los moradores- Pregunta 3.



Fuente: Autores.

Anexo 9.

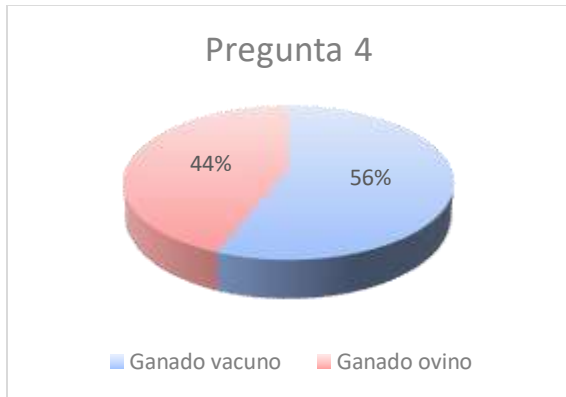
Respuestas de los moradores - Pregunta 4.

RESPUESTAS	
Ganado vacuno	14
Ganado ovino	11
TOTAL	25

Fuente: Autores.

Anexo 10.

Gráfica de las respuestas de los moradores- Pregunta 4.



Fuente: Autores.

Anexo 11.

Respuestas de los moradores - Pregunta 5.

RESPUESTAS	
Residuos plásticos	15
Totora	10
TOTAL	25

Fuente: Autores.

Anexo 12.

Gráfica de las respuestas de los moradores- Pregunta 5.



Fuente: Autores.

Anexo 13.

Respuestas de los moradores - Pregunta 6.

RESPUESTAS	
Si	2
No	23
TOTAL	25

Fuente: Autores.

Anexo 14.

Gráfica de las respuestas de los moradores- Pregunta 6.



Fuente: Autores.

Anexo 15.

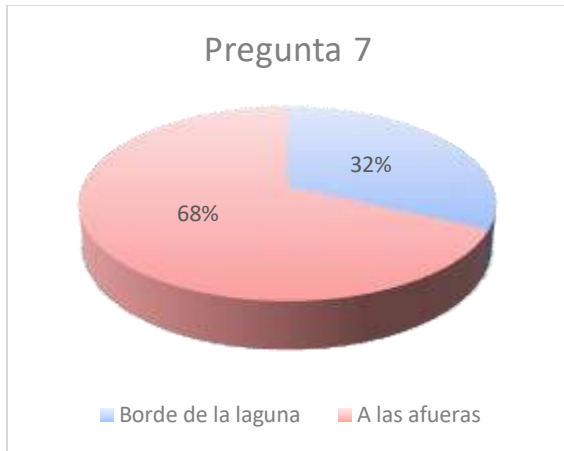
Respuestas de los moradores - Pregunta 7.

RESPUESTAS	
Borde de la laguna	8
A las afueras	17
TOTAL	25

Fuente: Autores.

Anexo 16.

Gráfica de las respuestas de los moradores- Pregunta 7.



Fuente: Autores.

Anexo 17.

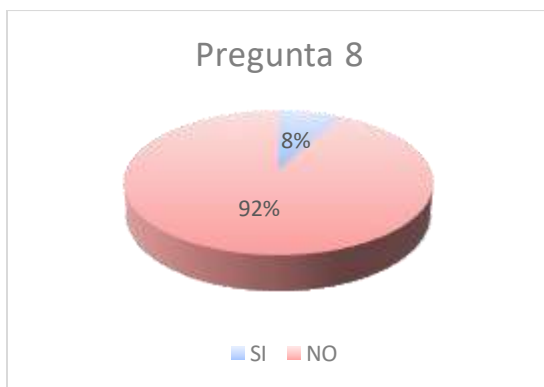
Respuestas de los moradores - Pregunta 8.

RESPUESTAS	
SI	2
NO	23
TOTAL	25

Fuente: Autores.

Anexo 18.

Gráfica de las respuestas de los moradores- Pregunta 8.



Fuente: Autores.

Anexo 19.

Protocolo de consentimiento informado para participantes.



Fuente: Autores.

Anexo 20.

Análisis de agua realizados en el laboratorio de ciencias ambientales.



Fuente: Autores.

Anexo 21.

Medición realizada con el Espectroradiómetro.



Fuente: Autores.

Anexo 22.

Medición Manual de la profundidad y la transparencia.



Fuente: Autores.

Anexo 23.

Entrevistas realizadas a los pobladores.



Fuente: Autores.