



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y
Recursos Hidráulicos (ERIS)

**CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LA LAGUNA DE CALDERAS, UBICADA ENTRE LAS
ALDEAS DE SAN JOSÉ CALDERAS Y SAN FRANCISCO DE SALES DEL MUNICIPIO DE SAN
VICENTE PACAYA, DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA, DE LA REPÚBLICA DE GUATEMALA**

Ing. Mariano Luis Alberto Martínez Méndez
Asesorado por el MSc. Ing. Zenón Much Santos

Guatemala, enero de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA DE LA LAGUNA DE CALDERAS, UBICADA ENTRE LAS ALDEAS DE SAN JOSÉ CALDERAS Y SAN FRANCISCO DE SALES DEL MUNICIPIO DE SAN VICENTE PACAYA, DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA, DE LA REPÚBLICA DE GUATEMALA

ESTUDIO ESPECIAL

PRESENTADO A LA ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y RECURSOS HIDRÁULICOS (ERIS)

POR

ING. MARIANO LUIS ALBERTO MARTÍNEZ MÉNDEZ

ASESORADO POR EL MSC. ING. ZENÓN MUCH SANTOS

COMO REQUISITO PREVIO PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE:

MAESTRO (*MAGISTER SCIENTIFICAE*) EN CIENCIAS DE INGENIERÍA SANITARIA

GUATEMALA, ENERO DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Ángel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**DIRECTOR DE LA ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y
RECUSOS HIDRÁULICOS**

MSc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

EXAMINADOR	MSc. Ing. Zenón Much Santos
EXAMINADOR	MSc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis
EXAMINADOR	Msc. Ing. Joram Matías Gil Larroj

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LA LAGUNA DE CALDERAS, UBICADA ENTRE LAS ALDEAS DE SAN JOSÉ CALDERAS Y SAN FRANCISCO DE SALES DEL MUNICIPIO DE SAN VICENTE PACAYA, DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA, DE LA REPÚBLICA DE GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS), el 29 de marzo de 2011.



Ing. Mariano Luis Alberto Martínez Méndez
maswatt@gmail.com
Carné:100020240

UNIVERSIDAD DE
SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA
Escuela Regional de Ingeniería
Sanitaria y Recursos Hídricos



Edificio de ERIS,
Instalaciones de Prefabricados, CII
Ciudad universitaria Zona 12
Ciudad de Guatemala 01012
Guatemala, C..A.

Tel. (502) 24188000,
Ext.86212 y 86213
(502) 24189138
(502) 24189140

Telfax (502) 24189124

www.ingenieria-usac.edu.gt

Guatemala, mayo 22 de 2014

M. Sc. Ing. Adán Pocasangre
Coordinador de la Maestría en Ingeniería Sanitaria
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos
Hidráulicos "ERIS"
Facultad de Ingeniería, USAC

Habiendo revisado el documento titulado:

**"Caracterización Físicoquímica de la Laguna de
Calderas, ubicada entre las aldeas de San José Calderas
y San Francisco de Sales del municipio de San Vicente
Pacaya, departamento de Escuintla, de la Republica de
Guatemala".**

Elaborado por el Ingeniero Mariano Luis Alberto Martínez Méndez, como parte de su Estudio Especial, y como requisito para optar al grado académico de Maestro en Ingeniería Sanitaria, mediante la presente me permito informarle mi satisfacción con su contenido y por lo tanto, le comunico que dicho documento cuenta con mi aprobación.

Agradeciendo la atención prestada a la presente, me suscribo de usted,

Atentamente.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS".

M. Sc. Ing. Zenón Much Santos
Asesor del estudio



UNIVERSIDAD SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

Guatemala, 14 de enero de 2015

Señores Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos

Respetuosamente les comunico que he revisado y aprobado, en mi calidad de Coordinador de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Sanitaria, el documento de Estudio Especial titulado:

“Caracterización Físicoquímica de la Laguna de Calderas, ubicada entre las aldeas de San José Calderas y San Francisco de Sales del municipio de San Vicente Pacaya, departamento de Escuintla, de la República de Guatemala”

Presentado por el estudiante:

Ing. Mariano Luis Alberto Martínez Méndez

Les manifiesto que el estudiante ha cumplido en forma satisfactoria con todos los requisitos establecidos por la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS) y por la Universidad de San Carlos de Guatemala en la realización de su estudio.

Agradeciéndoles de antemano la atención a la presente, se suscribe de ustedes,

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

MSc. Ing. Adán Ernesto A. Pocasangre Collazos
Coordinador Maestría en Ciencias en Ingeniería Sanitaria

Guatemala, 8 de octubre de 2014

Ingeniero Pedro Saravia
Director de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ing. Saravia:

Por este medio extiendo constancia a la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, de la Facultad de Ingeniería, que se ha realizado satisfactoriamente la revisión y corrección de estilo del trabajo de graduación de Maestría en Ciencias de Ingeniería Sanitaria: **Caracterización fisicoquímica de la Laguna de Calderas, ubicada entre las aldeas de San José Calderas y San Francisco de Sales del municipio de San Vicente Pacaya, departamento de Escuintla, de la República de Guatemala, del estudiante ingeniero Mariano Luis Alberto Martínez Méndez (carné: 100020240).**

Para los requerimientos que su despacho necesite.

Atentamente,

(f) y sello



Licda. Rosa Amelia González Domínguez
Unidad de Lingüística
Facultad de Ingeniería

UNIVERSIDAD SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

Guatemala, 16 de enero de 2015

El director de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS) después de conocer el dictamen del tribunal examinador integrado por los profesores siguientes: MSc. Ing. Zenón Much Santos, MSc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis, MSc. Ing. Joram Matías Gil Laroj, así como el visto bueno del Coordinador de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Sanitaria; MSc. Ing. Adán Ernesto A. Pocasangre Collazos y la revisión lingüística realizada por la Licenciada Rosa Amelia González Domínguez, Colegiada No. **5284**, al trabajo del estudiante Ing. Mariano Luis Alberto Martínez Méndez, titulado: **"Caracterización Físicoquímica de la Laguna de Calderas, ubicada entre las aldeas de San José Calderas y San Francisco de Sales del municipio de San Vicente Pacaya, departamento de Escuintla, de la República de Guatemala"**. En representación de la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado, procede a la autorización del mismo, en Guatemala a los 16 días del mes de enero de 2015.

Imprímase

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

A handwritten signature in black ink is written over a circular official stamp. The stamp contains the text "ESCUELA REGIONAL DE INGENIERIA SANITARIA Y RECURSOS HIDRAULICOS" around the top edge, "FACULTAD DE INGENIERIA" around the bottom edge, and "DIRECCION" in the center.

MSc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis

DIRECTOR

AGRADECIMIENTOS A:

- Dios** Por haberme permitido llegar hasta este punto y darme salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.
- Mis padres** Marta Méndez de Martínez y Mariano Martínez Calmo, por el apoyo incondicional, sus consejos, sus valores, por sus ejemplos de perseverancia y constancia que me han infundado siempre y que hoy me permiten alcanzar una meta más en mi vida.
- Msc. Ing. Zenón
Much Santos** Por el asesoramiento de este trabajo de graduación y haber brindado sus conocimientos y vivencias profesionales.
- Mis compañeros** Por su amistad sincera y apoyo brindado.
- Mis amigos** Henry Agustín, Daniel Dubon, Efraín Ibáñez y Sender Morales, Jorge Champet, por todo el apoyo brindado durante la realización del presente trabajo de graduación.
- Universidad de San
Carlos de Guatemala** Nuevamente me ha permitido alcanzar una meta, alcanzando un nuevo grado académico.

ACTO QUE DEDICO A:

Mis padres

Marta Méndez de Martínez y
Mariano Martínez Calmo

Mis hermanos

Elisa Marta Aurora Martínez Méndez y
Edy Rubén Méndez Estrada

**Mi familia, amigos y
compañeros en general**

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	XIII
LISTA DE ABREVIATURAS	XV
GLOSARIO	XVII
RESUMEN.....	XIX
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XXI
OBJETIVOS.....	XXIII
HIPÓTESIS.....	XIV
ANTECEDENTES.....	XXV
INTRODUCCIÓN.....	XXIX
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Ubicación	1
1.2. Vías de acceso	2
1.3. Geografía	3
1.4. Clima	3
1.5. Geología	4
1.6. Flora y fauna	5
1.7. Uso del suelo	5
1.8. Población	5
1.9. Servicios	6
2. MARCO CONCEPTUAL.....	7
2.1. Sistemas lénticos	7
2.2. Sistema lacustre de Guatemala	7

2.3.	Clasificación de los sistemas lénticos	8
2.4.	Eutrofización de los cuerpos de agua	8
2.5.	Clasificación del estado eutrófico según la OCDE	10
2.6.	Control de eutrofización	11
3.	METODOLOGÍA	13
3.1.	Definición del tipo de investigación a realizar	13
3.2.	Vista preliminar	14
3.3.	Puntos de muestreo	14
3.4.	Análisis estadístico para determinar el número de muestras .	16
3.5.	Toma de muestras	17
3.5.1.	Equipo utilizado	17
3.5.2.	Procedimiento	19
3.6.	Parámetros determinados en el laboratorio	19
4.	RESULTADOS.....	21
4.1.	Parámetros <i>in situ</i>	21
4.1.1.	Transparencia	22
4.1.2.	Temperatura.....	22
4.1.3.	Conductividad eléctrica	26
4.1.4.	Sólidos disueltos totales.....	29
4.1.5.	Salinidad.....	33
4.1.6.	Oxígeno disuelto (OD).....	36
4.1.7.	Potencial de hidrógeno (pH).....	39
4.2.	Parámetros determinados en laboratorio	42
5.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	47
5.1.	Parámetros <i>in situ</i>	47
5.1.1.	Transparencia	47

5.1.2.	Temperatura	49
5.1.3.	Conductividad eléctrica.....	52
5.1.4.	Sólidos disueltos totales	56
5.1.5.	Salinidad.....	59
5.1.6.	Oxígeno disuelto (OD)	63
5.1.7.	Potencial de hidrógeno (pH)	66
5.2.	Parámetros determinados en el laboratorio	69
5.2.1.	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅).....	69
5.2.2.	Demanda química de oxígeno (DQO)	70
5.2.3.	Fósforo total.....	72
5.2.4.	Nitrógeno total	73
5.2.5.	Sólidos suspendidos totales	75
5.3.	Análisis de correlación de datos	77
5.3.1.	Correlación entre temperatura y oxígeno disuelto ..	77
5.3.2.	Correlación entre transparencia y nitrógeno total ...	78
5.4.	Análisis comparativo de época seca con época lluviosa	80
5.4.1.	Análisis de transparencia.....	80
5.4.2.	Análisis de fósforo total.....	81
5.4.3.	Análisis de nitrógeno total.....	83
5.5.	Análisis trófico conforme a la época	84
5.5.1.	Análisis trófico en época seca	84
5.5.2.	Análisis trófico en época de lluvia.....	85
CONCLUSIONES		87
RECOMENDACIONES		89
BIBLIOGRAFÍA.....		91
ANEXOS		95

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Mapa de ubicación de la Laguna de Calderas	2
2.	Vista panorámica de la Laguna de Calderas	4
3.	Ubicación de los puntos de muestreo	15
4.	Curvas de nivel de confianza	17
5.	Equipo utilizado para toma de datos <i>in situ</i>	18
6.	Valores máximo, promedio y mínimo de transparencia según el punto de muestreo	48
7.	Histograma del parámetro de transparencia	49
8.	Perfil estratigráfico de la temperatura media.....	50
9.	Histograma de temperatura medida <i>in situ</i> a una profundidad de 1 m.....	51
10.	Histograma de temperatura medida <i>in situ</i> a una profundidad de 10 m.....	52
11.	Perfil estratigráfico de la conductividad eléctrica media.....	53
12.	Histograma de la conductividad eléctrica medida <i>in situ</i> a una profundidad de 1 m	54
13.	Histograma de la conductividad eléctrica medida <i>in situ</i> a una profundidad de 10 m	55
14.	Perfil estratigráfico de los promedios de los sólidos disueltos totales	56
15.	Histograma de los sólidos disueltos totales medidos <i>in situ</i> a una profundidad de 1 m	57

16.	Histograma de los sólidos disueltos totales medidos <i>in situ</i> a una profundidad de 10 m.....	58
17.	Perfil estratigráfico de los promedios de la salinidad.....	59
18.	Histograma de la salinidad medida <i>in situ</i> a una profundidad de 1 m.....	61
19.	Histograma de la salinidad medida <i>in situ</i> a una profundidad de 10 m.....	62
20.	Perfil estratigráfico de los promedios del oxígeno disuelto.....	63
21.	Histograma del oxígeno disuelto medido <i>in situ</i> a una profundidad de 1 m.....	64
22.	Histograma del oxígeno disuelto medido <i>in situ</i> a una profundidad de 10 m.....	65
23.	Perfil estratigráfico de los promedios del pH.....	66
24.	Histograma del potencial de hidrógeno medido <i>in situ</i> a una profundidad de 1 m.....	67
25.	Histograma del potencial de hidrógeno medido <i>in situ</i> a una profundidad de 10 m.....	68
26.	Histograma de DBO ₅	70
27.	Histograma de DQO.....	71
28.	Histograma de nitrógeno total.....	75
29.	Histograma de sólidos suspendidos totales.....	76
30.	Gráfico de regresión de oxígeno disuelto en función de la temperatura.....	78
31.	Gráfico de regresión de nitrógeno total en función de la transparencia.....	79
32.	Transparencia en época seca.....	80
33.	Transparencia en época de lluvia.....	81
34.	Nitrógeno total en época seca.....	83
35.	Nitrógeno total en época de lluvia.....	84

TABLAS

I.	Valores de la OCDE para la clasificación del estado eutrófico ..	11
II.	Coordenadas de los puntos de muestreo	15
III.	Transparencia de la laguna en los diferentes puntos muestreados, en metros y sus promedios	22
IV.	Temperatura a distintas profundidades para el punto de muestreo número 1, en grados Celsius °C	23
V.	Temperatura a distintas profundidades para el punto de muestreo número 2, en grados Celsius °C	23
VI.	Temperatura a distintas profundidades para el punto de muestreo número 3, en grados Celsius °C	24
VII.	Temperatura a distintas profundidades para el punto de muestreo número 4, en grados Celsius °C	24
VIII.	Temperatura a distintas profundidades para el punto de muestreo número 5, en grados Celsius °C	25
IX.	Valores de temperatura media <i>in situ</i> (°C)	25
X.	Conductividad eléctrica determinada <i>in situ</i> a distintas profundidades para el punto de muestreo número 1, en $\mu\text{S/cm}$	26
XI.	Conductividad eléctrica determinada <i>in situ</i> a distintas profundidades para el punto de muestreo número 2, en $\mu\text{S/cm}$	27
XII.	Conductividad eléctrica determinada <i>in situ</i> a distintas profundidades para el punto de muestreo número 3, en $\mu\text{S/cm}$	27
XIII.	Conductividad eléctrica determinada <i>in situ</i> a distintas profundidades para el punto de muestreo número 4, en $\mu\text{S/cm}$	28

XIV.	Conductividad eléctrica determinada <i>in situ</i> a distintas profundidades para el punto de muestreo número 5, en $\mu\text{S/cm}$	28
XV.	Valores de conductividad eléctrica medida <i>in situ</i> ($\mu\text{S/cm}$)	29
XVI.	Sólidos disueltos totales determinados <i>in situ</i> a distintas profundidades para el punto de muestreo número 1, en mg/L ..	30
XVII.	Sólidos disueltos totales determinados <i>in situ</i> a distintas profundidades para el punto de muestreo número 2, en mg/L ..	30
XVIII.	Sólidos disueltos totales determinados <i>in situ</i> a distintas profundidades para el punto de muestreo número 3, en mg/L ..	31
XIX.	Sólidos disueltos totales determinados <i>in situ</i> a distintas profundidades para el punto de muestreo número 4, en mg/L ..	31
XX.	Sólidos disueltos totales determinados <i>in situ</i> a distintas profundidades para el punto de muestreo número 5, en mg/L ..	32
XXI.	Valores de sólidos disueltos totales medida <i>in situ</i> (mg/L)	32
XXII.	Salinidad determinada <i>in situ</i> a distintas profundidades para el punto de muestreo número 1, en porcentaje	33
XXIII.	Salinidad determinada <i>in situ</i> a distintas profundidades para el punto de muestreo número 2, en porcentaje	34
XXIV.	Salinidad determinada <i>in situ</i> a distintas profundidades para el punto de muestreo número 3, en porcentaje	34
XXV.	Salinidad determinada <i>in situ</i> a distintas profundidades para el punto de muestreo número 4, en porcentaje	35
XXVI.	Salinidad determinada <i>in situ</i> a distintas profundidades para el punto de muestreo número 5, en porcentaje	35
XXVII.	Valores de salinidad medida <i>in situ</i> (porcentaje)	36
XXVIII.	Oxígeno disuelto determinado <i>in situ</i> a distintas profundidades para el punto de muestreo número 1, en mg/L	36

XXIX.	Oxígeno disuelto determinado <i>in situ</i> a distintas profundidades para el punto de muestreo número 2, en mg/L	37
XXX.	Oxígeno disuelto determinado <i>in situ</i> a distintas profundidades para el punto de muestreo número 3, en mg/L	37
XXXI.	Oxígeno disuelto determinado <i>in situ</i> a distintas profundidades para el punto de muestreo número 4, en mg/L	38
XXXII.	Oxígeno disuelto determinado <i>in situ</i> a distintas profundidades para el punto de muestreo número 5, en mg/L	38
XXXIII.	Valores de oxígeno disuelto, medido <i>in situ</i> (mg/L)	39
XXXIV.	Potencial de hidrógeno determinado <i>in situ</i> a distintas profundidades para el punto de muestreo número 1	39
XXXV.	Potencial de hidrógeno determinado <i>in situ</i> a distintas profundidades para el punto de muestreo número 2	40
XXXVI.	Potencial de hidrógeno determinado <i>in situ</i> a distintas profundidades para el punto de muestreo número 3	40
XXXVII.	Potencial de hidrógeno determinado <i>in situ</i> a distintas profundidades para el punto de muestreo número 4	41
XXXVIII.	Potencial de hidrógeno determinado <i>in situ</i> a distintas profundidades para el punto de muestreo número 5	41
XXXIX.	Valores promedio de pH medido <i>in situ</i> (unidades)	42
XL.	Parámetros físicos y químicos determinados en el laboratorio, para los muestreos correspondientes al punto número 1	43
XLI.	Parámetros físicos y químicos determinados en el laboratorio, para los muestreos correspondientes al punto número 2	43
XLII.	Parámetros físicos y químicos determinados en el laboratorio, para los muestreos correspondientes al punto número 3	44
XLIII.	Parámetros físicos y químicos determinados en el laboratorio, para los muestreos correspondientes al punto número 4	44

XLIV.	Parámetros físicos y químicos determinados en el laboratorio, para los muestreos correspondientes al punto número 5.....	45
XLV.	Resumen de los parámetros físicos y químicos determinados en el laboratorio	45
XLVI.	Resumen estadístico descriptivo del parámetro de transparencia.....	48
XLVII.	Resumen análisis estadístico para el parámetro temperatura a una profundidad de 1 metro	50
XLVIII.	Resumen análisis estadístico para el parámetro temperatura a una profundidad de 10 metros	51
XLIX.	Resumen estadístico descriptivo del parámetro conductividad eléctrica a 1 metro de profundidad	54
L.	Resumen estadístico descriptivo del parámetro conductividad eléctrica a 10 metros de profundidad	55
LI.	Resumen estadístico descriptivo del parámetro sólidos disueltos a 1 metro de profundidad	57
LII.	Resumen estadístico descriptivo del parámetro sólidos disueltos a 10 metros de profundidad	58
LIII.	Clasificación del agua según su salinidad.....	60
LIV.	Resumen estadístico descriptivo del parámetro salinidad a 1 metro de profundidad	61
LV.	Resumen estadístico descriptivo del parámetro salinidad a 10 metros de profundidad	62
LVI.	Resumen estadístico descriptivo del parámetro oxígeno disuelto a 1 metro de profundidad	64
LVII.	Resumen estadístico descriptivo del parámetro oxígeno disuelto a 10 metros de profundidad	65
LVIII.	Resumen estadístico descriptivo del parámetro pH a 1 metro de profundidad	67

LIX.	Resumen estadístico descriptivo del parámetro pH a 10 metros de profundidad.....	68
LX.	Resumen estadístico descriptivo de DBO ₅	69
LXI.	Resumen estadístico descriptivo de DQO	71
LXII.	Valoración del estado trófico según la OECD.....	72
LXIII.	Resumen estadístico descriptivo de fósforo total.....	72
LXIV.	Valoración del estado trófico según criterios de Nürmberg y Suecia.....	73
LXV.	Resumen estadístico descriptivo del nitrógeno total.....	74
LXVI.	Resumen estadístico descriptivo de sólidos suspendidos totales	76
LXVII.	Estadísticas de regresión entre los parámetros de temperatura (°C) y oxígeno disuelto (mg/L)	77
LXVIII.	Estadísticas de regresión entre los parámetros de nitrógeno total (mg/L) y transparencia (m).....	79
LXIX.	Estadísticas del parámetro de fósforo total (mg/L) en época seca	82
LXX.	Estadísticas del parámetro de fósforo total (mg/L) en época de lluvia	82

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
°C	Grados Celsius
g/L	Gramos por litro
km²	Kilómetros cuadrados
m	Metros
msnm	Metros sobre el nivel del mar
μS/cm	Microsiemens por centímetro
mg/año	Miligramos por año
mg/l	Miligramos por litro
mg/m³	Miligramos por metro cúbico
pH	Potencial de hidrógeno

LISTA DE ABREVIATURAS

Abreviatura	Significado
ADES	Asociación para el Desarrollo Sostenible
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
EE.UU.	Estados Unidos de Norteamérica
INSIVUMEH	Instituto Nacional de Sismografía, Vulcanología, Meteorología e Hidrología
OCDE	Organización para la Cooperación Económica y Desarrollo
WASP	Programa de Simulación de Análisis de la Calidad de Agua (<i>Water Quality Analysis Simulation Program</i>)
UTM	Sistema de coordenadas universal transversal de Mercator (<i>universal transverse mercator</i>)
GPS	Sistema de Posicionamiento Global (<i>Global Positioning System</i>)

GLOSARIO

Actividad antrópica	Cualquier acción o intervención que el ser humano implementa sobre la faz de la tierra.
Especie endémica	Especie propia y exclusiva de determinadas localidades o regiones.
Estado trófico	Productividad del ambiente acuático.
Eutrofización	Es el enriquecimiento de las aguas superficiales con nutrientes para las plantas.
Histograma	Representación gráfica de una distribución de frecuencias por medio de rectángulos, cuyas anchuras representan intervalos de la clasificación y cuyas alturas representan las correspondientes frecuencias.
<i>In situ</i>	Expresión latina que significa “en el sitio” o “en el lugar”.
Industria pecuaria	Industria que se dedica a la explotación y beneficio de los productos y subproductos de procedencia animal.

Limnológico	Relativo a acuáticos ubicados en continentes, lo que involucra a lagos, lagunas, ríos, charcas, marismas y estuarios.
Microcuenca	Unidad geográfica que se apoya principalmente en el concepto hidrológico de división del suelo.
Sedimento	Materia que, habiendo estado suspensa en un líquido, se posa en el fondo por su mayor gravedad.
Sistema fluvial	Red de ríos con todos sus afluentes desde el origen hasta su desembocadura en el mar.
Sistema lacustre	El sistema que se refiere a lagos.
Sistema léntico	Son sistemas de agua cerrados que permanecen en un mismo lugar sin correr ni fluir, como los lagos, las lagunas, los esteros o los pantanos.

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se detalla el procedimiento para realizar la caracterización físicoquímica, como parte de un estudio limnológico, a la Laguna de Calderas ubicada en el municipio de San Vicente Pacaya, departamento de Escuintla.

El objetivo principal de este estudio fue caracterizar el agua de la Laguna de Calderas, analizando los parámetros físicos y químicos, para determinar que su nivel trófico, según los parámetros de la OCDE y los criterios de Nürnberg, es un nivel oligotrófico.

Para cumplir con dicho estudio se tomaron y almacenaron muestras del cuerpo de agua en cinco distintos puntos de la laguna, mismas que fueron analizadas en menos de veinticuatro (24) horas en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria Dra. Alba Tabarini. A la vez que se recabaron las muestras, se tomaron datos *in situ* de las características del cuerpo de agua en cada punto a distintas profundidades, tales como: pH, temperatura, conductividad eléctrica, transparencia, sólidos disueltos, oxígeno disuelto y salinidad.

La investigación se complementa con un marco teórico que resalta la importancia del estudio de los cuerpos lacustres y la determinación de parámetros físicos y químicos, que determinan la calidad del agua y su estado trófico.

Finalmente, se analizaron los resultados obtenidos tanto *in situ* como en el laboratorio, para concluir que la Laguna de Calderas se encuentra en un estado oligotrófico de acuerdo con la clasificación de la OCDE y los criterios de Nürnberg y Suecia.

Según los valores obtenidos *in situ*, la Laguna de Calderas se puede clasificar como un lago oligomíctico por su temperatura; de agua tipo salobre de acuerdo a los niveles de salinidad que presenta y es un cuerpo de agua alcalino por sus niveles de pH. Los valores obtenidos de DBO₅ y DQO indican presencia de contaminantes en el agua de la Laguna de Calderas.

El actual estado oligotrófico de la Laguna de Calderas y los valores de los parámetros físicos y químicos evaluados, permiten que el agua de la laguna pueda ser utilizada para diversos usos.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Laguna de Calderas es un área de protección especial según el artículo 5º. del Acuerdo Gubernativo del 20 de julio de 1963, debido a que es un área turística.

La presencia de nutrientes (nitrógeno (N), fósforo (P)) y contaminantes (sulfatos, DBO, DQO, entre otros) en un cuerpo de agua, como la Laguna de Calderas, tiene influencia en el proceso de eutrofización del mismo, a la vez que afecta directamente las actividades y prácticas humanas para las cuales la laguna es la principal fuente de agua.

Los niveles de sustancias y contaminantes son debidos a la presencia de actividad humana cerca del cuerpo lacustre, en especial las malas prácticas de desechos sólidos y sistemas de riego, ya que permiten ingresar a la laguna desechos de tipo orgánico que facilitan el proceso de proliferación de bacterias que producen los mencionados nutrientes.

Estos escenarios se han puesto de manifiesto y los mismos pobladores los han señalado. El 20 de marzo del 2010 exteriorizaron su preocupación por la contaminación de la laguna, debido a que la misma abastece a 22 comunidades de Amatitlán y 3 de San Vicente Pacaya; indicaron que “muchos turistas dejaron de visitar el lugar y las personas que beben del agua padecen de enfermedades gastrointestinales”, situación corroborada por la Procuraduría de Los Derechos Humanos. Asimismo, declararon que la laguna está siendo invadida por una especie de alga rara y una nata de color verde.

En respuesta al llamado de los sectores involucrados y fundamentando en el compromiso de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS) de contribuir a la investigación de los sistemas lacustres; con este estudio se espera presentar la caracterización fisicoquímica de la Laguna de Calderas para determinar, ¿cuál es el estado trófico actual de la laguna? Por medio de la calidad del agua de esta, debido a la actividad antrópica del lugar.

OBJETIVOS

General

Caracterizar el agua de la Laguna de Calderas analizando los parámetros físicos y químicos, para determinar su nivel trófico según los parámetros de la OCDE y los criterios de Nürmberg y Suecia, el cual es oligotrófico.

Específicos

1. Recolectar datos *in situ* en 5 diferentes puntos a distintas profundidades de los parámetros físicos, como: pH, temperatura, conductividad eléctrica, transparencia, sólidos disueltos, oxígeno disuelto y salinidad.
2. Realizar muestreos en 5 puntos distintos de la Laguna de Calderas y hacer el análisis correspondiente en laboratorio para determinar los parámetros fisicoquímicos del cuerpo de agua: nitrógeno total, sulfatos, fósforo total, alcalinidad, dureza, cloruro, sólidos suspendidos totales, DBO₅ y DQO.
3. Determinar el nivel trófico de la Laguna de Calderas en función del fósforo total y la transparencia determinados, basándose en las clasificaciones de la OCDE y el nitrógeno total según los criterios de Nürmberg.
4. Indicar qué usos puede darse a la Laguna de Calderas dependiendo de los valores obtenidos

HIPÓTESIS

La Laguna de Calderas se encuentra en proceso de eutrofización, por lo que la calidad de agua contenida en ella se encuentra en este momento dentro de los límites del estado oligotrófico, según la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) y los criterios de Nürmberg y Suecia.

ANTECEDENTES

En el país hay aproximadamente 1 151 sistemas lacustres, con 7 lagos, 365 lagunas y 779 lagunetas. Los sistemas lacustres de Guatemala tienen origen geológico en cualquiera de las siguientes causas: a) volcánica o volcánica-tectónica, b) tectónica y levantamiento de la plataforma marina, y c) cambio del curso de los ríos o inundaciones. (PREPAC, 2005).

La Laguna de Calderas es de origen volcánico y está clasificada como Parque Nacional por el Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas (SIGAP). Está ubicada entre los municipios de Amatitlán, departamento de Guatemala, y el municipio de San Vicente Pacaya, departamento de Escuintla. (López, 2007))

El deterioro de la calidad del agua de los sistemas lacustres se debe esencialmente a la intervención humana. Un efecto de esto es la contaminación del recurso hídrico, el cual es un elemento vital para la sobrevivencia del ser humano. Por lo que se hace necesario generar información sobre el comportamiento de los cuerpos de agua para elaborar planes de manejo sostenibles.

En la publicación especial titulada *Los lagos, su desarrollo como ecosistema y su relación al fenómeno de la eutrofización* (Tabarini, 1981, p. 25) la doctora Alba Tabarini de Abreu, expone que una de las inquietudes fundamentales de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos a nivel de postgrado, es estimular la formación de equipos multidisciplinarios para el desarrollo de programas de investigación aplicada con

el propósito de crear una mística de trabajo unitario que represente una contribución científica hacia la introducción de los estudios limnológicos.

Partiendo de lo expuesto por la Dra. Tabarini, los estudios limnológicos en Guatemala han sido liderados por la ERIS, la cual ha incitado la formación de equipos multidisciplinarios para el desarrollo de programas de investigación en conjunto, como los realizados en convenio con la Escuela de Salud Pública de Carolina del Norte, EE. UU. en 1967 a 1969, donde se efectuó una serie de investigaciones sobre la calidad del agua, tanto en Amatitlán (Weis, 1971a) como en Atitlán (Weis, 1971b).

Desde 1974 a 1975 se efectuaron varios trabajos de tesis, para evaluar parámetros limnológicos por la Facultad de Ingeniería con la asesoría de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria, con el objetivo de obtener ciertos criterios a corto plazo, para evaluar algunos parámetros que contribuyeron a mantener el interés hacia la limnología, tales trabajos son los de Calzada, en 1974, Vásquez en 1975 y Silva en 1975.

Se publicó la tesis de grado *Estudio preliminar de la eutrofización y su influencia en la sucesión ecológica acuática de la laguna del Pino, Barberena, Santa Rosa* (Rivera, 1984).

También, se tiene un estudio que se realizó en 2005 por la Asociación para el Desarrollo Sostenible (ADES), coadministradora de la laguna de Ayarza; por parte de la ERIS se tiene un estudio, el cual lleva por nombre *Muestreo de la calidad ambiental de la playa pública del lago de Amatitlán*, (Cardona, 1985).

Adicionalmente, se puede referir el estudio especial realizado por el ingeniero Carlos Tetzaguic, el cual se denominó *Sistematización de la*

información de calidad del agua del lago de Amatitlán con parámetros que determinan su contaminación secuencial. Además, existe una tesis elaborada dentro de los lineamientos propuestos por la Escuela de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la USAC, en la Maestría en Ciencia y Tecnología de Medio Ambiente, que lleva como título: *Estudio limnológico del lago de Guija, determinación de su estado de eutrofización*, realizada por Luis López.

En el 2010, el Ing. Pedro Saravia, director de la ERIS, decidió realizar una serie de investigaciones en torno al lago de Ayarza para caracterizarlo, analizando el nivel trófico, por medio de los parámetros fisicoquímicos del agua, la carga contaminante, el volumen anual de sedimentos y describir el estado trófico por medio de un modelo matemático. Materializándose dicha propuesta, con los trabajos de graduación siguientes: *Caracterización fisicoquímica de la laguna de Ayarza, ubicada entre los municipios de Casillas y San Rafael Las Flores del departamento de Santa Rosa, de la República de Guatemala* del Ing. Dennis Argueta; *Estimación de la carga contaminante y el volumen de sedimento en la laguna de Ayarza* de la Inga. Irene Ortega y *Evaluación del estado trófico del lago de Ayarza utilizando el modelo de simulación WASP* de la Inga. Qca. Andrea Rodas.

En el curso de limnología impartido en la ERIS se han llevado a cabo dos estudios de la Laguna de Calderas, los cuales son *El análisis de la calidad de agua* publicado en el 2005 en la revista científica de Fortaleciendo la Investigación, en el cual se dieron a conocer los valores de del oxígeno disuelto, ph, alcalinidad y sólidos totales. Entre los datos más importantes de este estudio están los puntos de muestreo indicados en la tabla II, debido a que estos mismos puntos fueron tomados para ambos estudios y para el presente trabajo, otro dato importante es la temperatura, la cual aumentó un promedio de 2 grados Celsius; aunado a este, se tiene el reporte de la Laguna de Calderas

del 6 de junio de 2011, en el cual se midieron datos importantes como: dureza, calcio, magnesio, hierro, cloruros y fueron analizados conforme a la Norma Coganor NGO 29001, de igual forma se analizaron las coliformes totales y fecales.

INTRODUCCIÓN

La Laguna de Calderas está considerada como un parque nacional y un área de protección especial según el artículo 5º. del Acuerdo Gubernativo del 20 de julio 1963, esto significa que no debe tener niveles altos de contaminación ni el cuerpo de agua presentar un estado eutrófico.

Sin embargo, el crecimiento poblacional de los municipios, caseríos y aldeas alrededor de la laguna ha generado mayor demanda del recurso que presenta la laguna y las áreas colindantes, tanto en uso de agua, tierras, flora y fauna. Lo anterior, aunado al poco o nulo control sobre la disposición de desechos sólidos y aguas residuales de las comunidades aledañas, han generado el ingreso de agentes contaminantes a la laguna.

Determinar el estado de eutrofización de la Laguna de Calderas será de utilidad en la toma de medidas para prevenir o detener el deterioro del cuerpo de agua. Esto beneficiará no solo a las poblaciones de los alrededores de la laguna, que actualmente utilizan el agua para consumo humano y animal, riego y recreación, sino también al sector turístico de la zona y del país, ya que la Laguna de Calderas junto con el volcán de Pacaya constituyen un Parque Nacional y un Área Protegida Especial.

Debido al crecimiento de las poblaciones guatemaltecas y al poco orden para el incremento de estas aunado al sistema socioeconómico en el que se vive, es evidente que se requiera mayor consumo y uso de recursos naturales para la subsistencia de las personas; el inconveniente de ello es la mala administración de estos, puesto que son fuente de desarrollo y a la vez

sensibles a la actividad humana; pudiendo llegar a degradarse por completo o incluso a desaparecer.

Según estudios y algunos expertos en los temas de cuerpos lénticos, se tiene la noción de que la Laguna de Calderas es una de los pocos cuerpos acuíferos que aún se les considera de “buena calidad”; pero cabe recordar que en Guatemala por la mala administración de los recursos, los sistemas lacustres se están deteriorando a una velocidad alarmante, tal es el caso de los lagos de Atitlán y Amatitlán, por lo que es imperante la necesidad de llevar un monitoreo para resguardar dicho recurso hídrico.

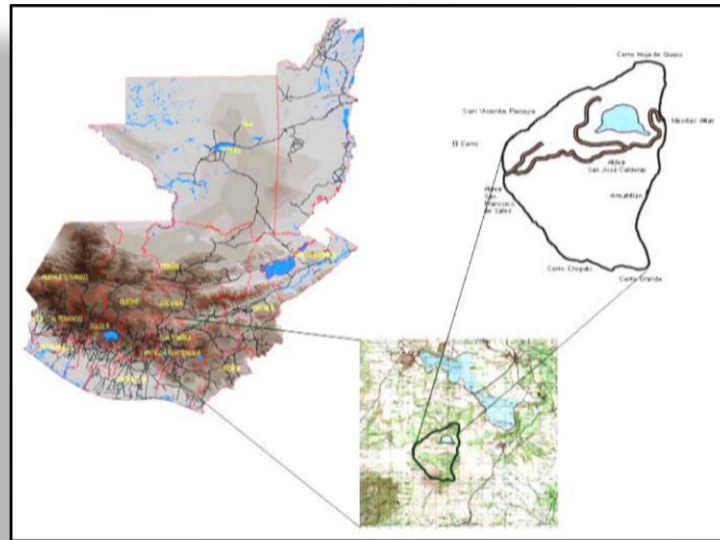
Para llevar a cabo este control y por ende un buen monitoreo en el cual se pueda confiar, es de vital importancia generar registros, donde se observe como están variando los parámetros físicos (color, turbiedad, temperatura, entre otros) y parámetros químicos (amoniaco, nitritos, nitratos, cloruros, entre otros), en el tiempo 1998, 2004 y 2007.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Ubicación

La microcuenca de la Laguna de Calderas es cerrada, y se localiza en la parte media de la cuenca mayor del río María Linda, sobre la vertiente del océano Pacífico. La extensión superficial de la microcuenca de la Laguna de Calderas abarca parcialmente las aldeas de San José Calderas del municipio de Amatitlán, departamento de Guatemala, con un área de 4,35 kilómetros cuadrados, que corresponden al 85 % de la microcuenca y la aldea San Francisco de Sales del municipio de San Vicente Pacaya, departamento de Escuintla, en un área de 0,7575 kilómetros cuadrados que corresponde al 15 % restante, posee una extensión superficial de 5,1072 kilómetros cuadrados, constituyendo el 0,18 %) del área de la cuenca del río María Linda, entre las coordenadas: latitud: 14° 24' 40"; longitud: 90° 35' 25". Cuenta con una extensión de 34,5 hectáreas y una altitud de 1 778 msnm. (García, 2007, p. 28)

Figura 1. **Mapa de ubicación de la Laguna de Calderas**



Fuente: elaboración propia.

1.2. **Vías de acceso**

Actualmente existen dos carreteras de terracería, la que conduce de san Vicente Pacaya, que es un camino rural Núm. 3, y la otra ruta es un camino municipal Núm.1 de Amatitlán que conduce la cabecera municipal hacia la laguna.

Para llegar al lugar se toma la carretera hacia Escuintla, la autopista hacia el puerto. Pocos kilómetros después de pasar Amatitlán, se encuentra un retorno que dirige precisamente a la entrada de esta, ahora, área protegida. El recorrido entero tomará una hora máximo.

No es necesario un vehículo todo terreno, pero si se tiene, desde allí es posible llegar en un cuatro por cuatro hasta Amatitlán por el otro lado, rodearlo y llegar finalmente a carretera a El Salvador.

1.3. Geografía

Los límites geográficos de la microcuenca son: al norte, las aldeas El Bejucal (San Vicente Pacaya, Escuintla) y El Pepinal (Amatitlán, Guatemala); al este por las aldeas Mesillas Altas, Mesillas Bajas (Amatitlán, Guatemala); y al sur, por los cerros Grande y el volcán de Pacaya.

La extensión superficial de la microcuenca de la Laguna de Calderas abarca parcialmente las aldeas de San José Calderas del municipio de Amatitlán, departamento de Guatemala, con un área de 4,35 kilómetros cuadrados.

1.4. Clima

Debido a sus condiciones geográficas Laguna de Calderas es considerada una zona fría, debido a que se encuentra en medio de tres cerros y a una altura de casi 2 000 msnm.

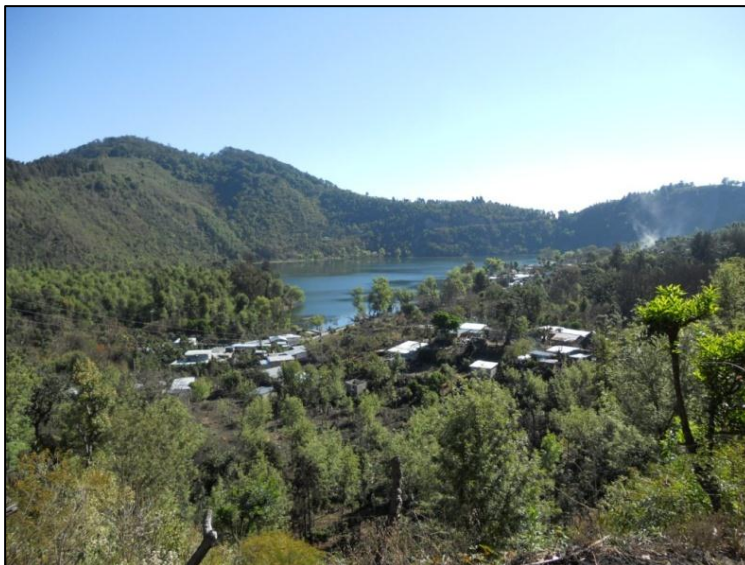
La temperatura promedio anual se oscila entre los 14 °C y 20 °C. Por lo que es considerado un clima templado-frío para el promedio de Guatemala. Además, debido a estas temperaturas el área de Calderas es muy propensa a lluvias que luego generan neblina en el lugar, lo que a veces lo hace más frío.

La Estación Meteorológica Suiza Contenta es la que se encuentra más cercana a Laguna de Calderas. La precipitación pluvial del área que rodea a la laguna es de 82 000 mm/año) y la humedad relativa es del 80 %.

1.5. Geología

Los suelos del área son reflejo de su origen volcánico. Permeables (el agua se filtra fácilmente) y con alto contenido de arena y grava, son ricos en potasio y bajos en fósforo. Esto les brinda un alto nivel nutritivo para ser cultivados. Es importante hacer un uso adecuado del suelo para que no pierda su cobertura natural.

Figura 2. Vista panorámica de la Laguna de Calderas



Fuente: Laguna de Calderas.

1.6. Flora y fauna

En el área puede observarse una gran variedad de fauna y flora; identificándose 28 especies de mamíferos, 101 especies de aves, 75 familias de flores, destacándose por su importancia la especie endémica cedro del Pacaya (Cedrilla pacayana) y otras como el árbol de hormigo (Platimiscium dimorphadrum), con el que se construye la marimba, instrumento musical nacional.

- Flora: cedro, pino y musgos, bromelias, orquídeas, roble, pacaya entre otras.
- Fauna: gato de monte, tacuazín, ardillas, roedores, murciélagos, pájaros carpinteros, reptiles y anfibios.

1.7. Uso del suelo

Debido a la temperatura del área de la laguna, el cultivo que más produce Laguna de Calderas es café. Se tiene buena siembra gracias a las lluvias y al clima frío; además la tierra esta abonada con ceniza volcánica del volcán de Pacaya.

1.8. Población

El área de la Laguna de Calderas está rodeada por 11 comunidades, las más cercanas : San Carlos, Pepinal, Bejucal, San Francisco. La aldea Calderas tiene un área de 9 km² y cuenta con 268 viviendas.

1.9. Servicios

En la aldea Calderas se cuenta únicamente con agua y luz. El servicio del agua se distribuye en las viviendas por medio de 160 llaves de agua las cuales tienen una cuota mensual de veinte quetzales por llave. Cada vivienda cuenta con un contador de energía eléctrica. La aldea no cuenta con desagües ni drenajes. Cada vivienda tiene fosa séptica. La ventaja que tiene la aldea es que el tipo del suelo es volcánico, por lo que al pasar los desechos se drenan naturalmente y llegan al agua del lago sin sólidos.

2. MARCO CONCEPTUAL

2.1. Sistemas lénticos

La palabra lacustre se refiere a los procesos o ecosistemas que tienen lugar y se forman en lagos o lagunas.

Los ecosistemas lacustres generalmente ocupan cuencas endorreicas en donde la masa de agua puede ser retenida, atribuyendo al sistema las características de un sistema léntico.

Los ambientes o sistemas lénticos comprenden todas las aguas interiores que no presentan corriente continua, es decir, aguas estancadas sin mayor flujo de corriente.

Los lagos y lagunas se encuentran dentro de la definición de sistemas lénticos, cuya fuente de alimentación hídrica pueden ser precipitaciones, sistemas fluviales, aguas subterráneas o el mar.

2.2. Sistema lacustre de Guatemala

El Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), clasifica el sistema lacustre de Guatemala de la siguiente manera: 5 lagos, 158 lagunas y 5 lagunetas; por otra parte, la clasificación que brinda Gil. A. en la *Enciclopedia de Guatemala* se afirma que en Guatemala hay aproximadamente 1 151 sistemas lacustres, organizados de

la siguiente manera: 7 lagos, 365 lagunas y 779 lagunetas, que conforman una superficie total 1 207 km² de espejo de agua.

El 80 % de estos cuerpos de agua se encuentran en alturas que van desde los 0-200 metros sobre el nivel del mar y el 54 % están ubicados en el departamento de Petén. Los sistemas lacustres ubicados a más de 1 000 msnm tienen generalmente origen tectónico-volcánico, los demás tienen origen en el progresivo levantamiento de la plataforma marina y por último, hay aquellos que son consecuencia del cambio en el cauce de los ríos o de alguna inundación. Esta clasificación se hace de acuerdo al tamaño del cuerpo de agua:

2.3. Clasificación de los sistemas lénticos

Según su composición química, los lagos y lagunas se pueden clasificar en: distróficos, alcalinos, salados y volcánicos. Según la productividad de sus aguas se clasifican en: ultraoligotróficos, oligotróficos, mesotróficos, eutróficos e hipertróficos. Y según su tamaño se clasifican en:

- Laguneta, con una superficie de 0,01 a 0,1 Km²
- Laguna, de 0,1 a 10 Km²
- Lago pequeño de 10 a 100 Km²
- Lago grande, de más de 100 Km². (Castañeda, 1995).

2.4. Eutrofización de los cuerpos de agua

El término eutrofización de cuerpos de agua se aplica a un fenómeno de evolución natural, que en palabras simples puede resumirse de la siguiente forma:

Un lago joven es oligotrófico: sus aguas son de alta transparencia, la profundidad es superior a 15 metros, presenta alta concentración de oxígeno disuelto en el hipolimnion (zona profunda del lago) y la productividad biológica es baja.

Al ir envejeciendo, el lago se enriquece en materia orgánica, a causa de su producción primaria fotosintética (algas) y eventualmente, de aportes externos de nutrientes; se hace entonces, sucesivamente, mesotrófico y después eutrófico pudiendo llegar a hipertrófico.

Un lago eutrófico se caracteriza por tener niveles altos de nutrientes (nitrógeno y fósforo), lo que produce mayor vegetación especialmente en las orillas del lago. También tiene mayor cantidad de oxígeno disuelto cerca de la superficie del cuerpo de agua, y en las partes más profundas ese parámetro suele disminuir drásticamente.

En un lago oligotrófico el oxígeno presente en el agua se mantiene en toda la columna de agua, lo que permite mayor vida animal en el cuerpo de agua. Esto se refleja en menor cantidad de nutrientes y poca vegetación cerca de la superficie.

El paso de una etapa a otra exige mucho tiempo, el que puede estimarse en millones de años. Sin embargo, este proceso natural, en algunos casos, puede ser acelerado hasta el punto que puede resultar perceptible en la escala de una vida humana, situación que es producto de la intensa actividad antrópica desarrollada en el entorno de los lagos, que aportan a estos materia orgánica y elementos nutrientes (N y P especialmente).

El proceso de eutrofización en los sistemas lénticos se acelera debido a la carga contaminante que recibe el cuerpo de agua. Existe la eutrofización natural, que se da por la materia orgánica y/o nutrientes que genera el propio lago y la eutrofización artificial que es producida por materia orgánica y/o nutrientes, provenientes de medios externos al cuerpo de agua (aguas residuales, industria, agricultura, etc.).

El proceso de eutrofización artificial puede producir consecuencias graves para el turismo y la pesca, además aumentar en forma significativa los costos, por ejemplo, el tratamiento del agua para uso potable.

La clasificación del nivel trófico de los sistemas lénticos no es tarea fácil por la complejidad de factores que interviene. Una clasificación inicial puede establecerse con base en los nutrientes fósforos (P) y nitrógeno (N), la transparencia y la productividad.

2.5. Clasificación del estado eutrófico según la OCDE

El Comité de Eutrofización de la Organización de Cooperación Económica y Desarrollo (OCDE) propone una clasificación del grado de eutrofia de lagos y embalses, luego de realizar un estudio de 5 años que abarcó 200 ambientes en 22 países de Europa occidental, EE. UU., Japón y Australia. Esta clasificación está basada en los valores que alcanzan las variables clorofila, profundidad en función de la transparencia por medio del disco Secchi y fósforo.

La siguiente tabla muestra los valores utilizados para la clasificación del grado de eutrofia de la OCDE.

Tabla I. **Valores de la OCDE para la clasificación del estado eutrófico**

GRADO DE EUTROFIA	CLOROFILA (mg/m³)	PROFUNDIDAD SECCHI (m)	P (mg/m³)
Ultraoligotrófico	<1	>12	<4
Oligotrófico	1-2.5	12-6	4-10
Mesotrófico	2.5-7.9	6-3	10-35
Eutrófico	8.0-25	3-1.5	35-100
Hipereutrófico	>25	<1.5	>100

Fuente: modificado de OCDE (1982).

2.6. Control de la eutrofización

La cantidad de luz se relaciona directamente con la transparencia del agua, la que es a su vez una función del nivel de eutrofización. Mientras que la cantidad de luz solar disponible puede ser un factor restrictivo en el crecimiento de algas, no es algo que se pueda controlar con el propósito de evitar o reducir el proceso de eutrofización.

Dado que la eutrofización cultural es producida por el aumento de nutrientes debido a una estimulación humana, parece de sentido común el perseguir la restricción de los nutrientes para reducir o eliminar este problema.

La lista de nutrientes que controlan la eutrofización incluye elementos tales como: carbón, nitrógeno, fósforo, sulfuro, calcio, magnesio, potasio, sodio, fierro, manganeso, zinc, cobre, boro, y otros. Afortunadamente el proceso es más manejable si se concentra en un único nutriente, usualmente fósforo o nitrógeno.

En 1840 se formuló la idea que “el crecimiento de una planta depende de la cantidad de alimento que se le presenta”. De esta manera, existen algunos elementos esenciales que, al ser reducidos, limitarán el crecimiento potencial de algas en lagos

Una serie de casos de lagos afectados por eutrofización cultural ha demostrado que esta puede ser revertida si el flujo de nutrientes al lago es eliminado. Sin embargo, antes de tomar medidas específicas es necesario que se desarrollen campañas de terreno exhaustivas para demostrar el origen de los contenidos de nutrientes (nitrógeno y fósforo) al lago: fuentes puntuales o difusas.

Fuentes puntuales, tales como descargas municipales, son fácilmente controlables mediante métodos alternativos de descarga o tratamientos terciarios que eliminen el nitrógeno y el fósforo contenido en los efluentes. Los nutrientes contenidos en fuentes difusas, como por ejemplo lixiviación agrícola, pueden ser controlados mediante mejoras en los métodos de riego y aplicación de fertilizantes.

Otros métodos alternativos de control son el uso de alguicidas (sulfato de cobre) sin embargo, es útil solo por breves períodos de tiempo. Otras alternativas son la aeración artificial de lagos, la cosecha de semillas y plantas acuáticas para evitar su proliferación.

3. METODOLOGÍA

3.1. Definición del tipo de investigación a realizar

La investigación se clasifica en 5 tipos: básica, aplicada, documental, de campo o mixta.

- La investigación básica pura o fundamental amplía los conocimientos teóricos, persigue las generalizaciones con vista al desarrollo de una teoría basada en principios y leyes. Busca nuevos conocimientos y nuevas teorías científicas.
- La investigación aplicada se caracteriza por su interés en aplicar y utilizar los conocimientos producidos, para saber hacer, actuar, construir y modificar.
- La investigación documental o bibliográfica es la que se realiza mediante la consulta de documentos (de todo tipo) con el fin de unificarlos, analizarlos, utilizarlos, perfeccionarlos y sistematizarlos.
- La investigación de campo directa es la que se efectúa en el lugar y tiempo en que ocurren los fenómenos objeto de estudio (se compila, registran, analizan, interpretan y comprenden los datos).
- La investigación mixta es la que combina la investigación documental y la de campo; es la comprensión del conocimiento científico y la utilización práctica de este.

Según esta descripción, para la presente investigación se realizó una investigación mixta.

3.2. Visita preliminar

Se realizó una visita preliminar al área de estudio en la Laguna de Calderas, previo a cualquier toma de datos o muestras. Esta visita sirvió para conocer el lugar, contactar personas que pudieran brindar el servicio de transporte en lancha, para moverse dentro de la laguna. De igual forma se contactaron posibles sitios para abastecimiento de alimentos, agua potable y servicios sanitarios.

La visita preliminar contribuyó al trabajo de investigación de forma directa, ya que se pudo observar aspectos como la distribución de hogares en el perímetro de la laguna, vegetación en las orillas, actividad agrícola y comercial del lugar.

También se pudo hacer un recorrido alrededor de la laguna que sirvió para definir a nivel general las áreas de ubicación de los distintos puntos de muestreo.

3.3. Puntos de muestreo

Para definir los puntos de muestreo dentro de la laguna se procedió a ubicar las zonas fijadas en el recorrido de la visita preliminar, luego estando ya en el área se ubicó un punto y con un equipo GPS se marcaron las coordenadas. Esto se hizo en los cinco puntos de muestreo. Los datos tomados por el GPS se guardaron para que en las visitas posteriores se tomara la muestra en el mismo punto.

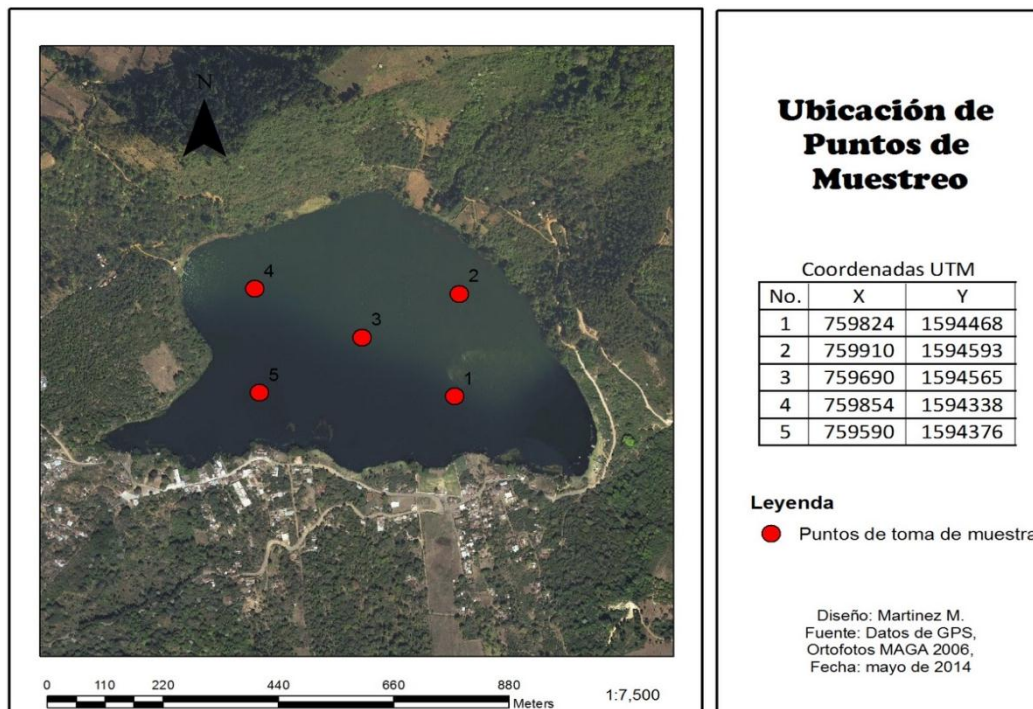
A continuación se presenta una tabla resumen de los puntos definidos y sus coordenadas:

Tabla II. **Coordenadas de los puntos de muestreo**

Punto	Coordenadas UTM	
	Y	X
1	1 594,468 N	759,824 E
2	1 594,593 N	759,910 E
3	1 594,565 N	759,690 E
4	1 594,376 N	759,854 E
5	1 594,376 N	759,590 E

Fuente: Instituto Nacional Geográfico, hoja cartográfica Núm. 205911.

Figura 3. **Ubicación de los puntos de muestreo**



Fuente: elaboración propia, con base en el documento *Análisis de la calidad del agua de la laguna de Calderas* de la clase de limnología, 2004.

Se determinó que se realizarían diez visitas para toma de datos *in situ* y toma de muestras para su posterior análisis de laboratorio, ya que con 5 puntos y 7 muestras de cada uno de ellos se tendría una cantidad de información aceptable para hacer un análisis completo de la calidad fisicoquímica del agua de la Laguna de Calderas.

3.4. Análisis estadístico para determinar el número de muestras

El cálculo del número de muestras se realizó conforme los métodos normalizados para el análisis de agua y aguas residuales 21 edición del año 2005, el método realizado fue el 1060 B, en el cual se utilizaron curvas de niveles de confianza, mismas que son establecidas a partir de la fórmula:

$$N \geq \left(\frac{ts}{U} \right)^2$$

En donde:

N = número de muestras

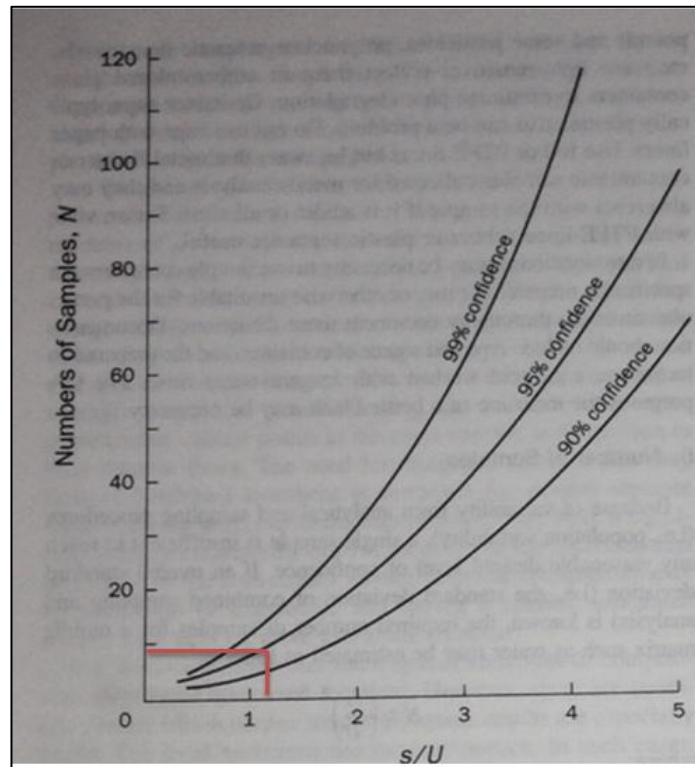
t = la t de *Student* para un nivel de confianza determinado

s = la desviación estándar global

U = el nivel de confianza aceptable

Se procedió a interpolar en las curvas respectivas para un nivel de confianza del 90 %, y se obtiene que el número de muestras por tomar deba ser mayor o igual a 9.

Figura 4. **Curvas de nivel de confianza**



Fuente: *estandar methods for the examination of water and wastewater*, p. 300.

3.5. Toma de muestras

Las muestras se tomaron entre febrero y septiembre de 2011.

3.5.1. Equipo utilizado

En cada visita de toma de muestras se utilizó el siguiente equipo:

- Lancha con remos

- Chalecos salvavidas
- Sistema de posicionamiento global. Marca Garmin, modelo: 62S.
- Equipo para medir parámetros fisicoquímicos de campo (lectura de campo de pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, sólidos totales disueltos, salinidad y temperatura) marca: YSI, modelo 556-01.
- 5 recipientes de un 1 galón cada uno (uno para cada punto de muestreo).
- Disco Sechi.

Figura 5. **Equipo utilizado para toma de datos *in situ***



Fuente: elaboración propia

3.5.2. Procedimiento

Se establecieron 5 puntos de medición y se realizó el procedimiento en cada uno de estos de la siguiente manera:

- Se tomaron muestras en la superficie a 1, 3, 4, 6, 8, 10 metros de profundidad con el muestreador.
- A cada muestra (por cada metro), se tomó lectura de los parámetros fisicoquímicos de campo (pH, conductividad, oxígeno disuelto, sólidos totales, temperatura, Eh (mV) y salinidad).
- A cada muestra (por cada metro), se tomó una porción de la misma de tal modo en ir formando una muestra compuesta hasta llegar a los 10 metros, para su análisis posterior de laboratorio.
- Cuando se llegó a los 10 metros, se tomó una muestra de agua para realizar el análisis bacteriológico en el laboratorio y así conocer la calidad del agua a esa profundidad.
- Se midió la transparencia del agua por medio del disco Secchi.
- Se midió la profundidad en el punto de la laguna en cuestión.

3.6. Parámetros determinados en el laboratorio

Los parámetros físicos que no pudieron ser determinados por el equipo para toma de datos in situ, y los parámetros químicos fueron obtenidos realizando las pruebas correspondientes en el Laboratorio Unificado de Química

y Microbiología Sanitaria “Dra. Alba Tabarini” en un lapso no mayor de 24 horas posteriores a la toma de las muestras.

Los parámetros físicos y químicos determinados en el laboratorio fueron: DBO₅, DQO, turbiedad, color, fósforo total, nitrógeno total y sólidos suspendidos totales, los cuales fueron obtenidos siguiendo el procedimiento indicado en el Manual de Laboratorio de Química del curso de Química y Microbiología del Agua de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS).

4. RESULTADOS

4.1. Parámetros *in situ*

Los resultados de las mediciones de parámetros *in situ* fueron tomados directamente de la sonda (YSI, modelo 556-01). Se tomaron los datos en boletas especiales y luego fueron digitalizados para poder determinar otros datos (según fuera el caso), tales como promedios, desviaciones, gráficas, etc.; la calendarización de toma de muestras fue:

- Época seca
 - Muestreo 1: 3 de febrero 2011
 - Muestreo 2: 15 de febrero 2011
 - Muestreo 3: 8 de marzo 2011
 - Muestreo 4: 17 de mayo 2011
 - Muestreo 5: 7 de junio 2011

- Época de lluvia
 - Muestreo 6: 5 de agosto 2011
 - Muestreo 7: 2 de septiembre 2011
 - Muestreo 8: 9 de septiembre 2011
 - Muestreo 9: 23 de septiembre 2011
 - Muestreo 10: 30 de septiembre 2011

4.1.1. Transparencia

A continuación se muestra una tabla de los valores obtenidos *in situ* y los valores promedio, relativos a la transparencia del agua a distintas profundidades en cada uno de los puntos muestreados.

Tabla III. **Transparencia de la laguna en los diferentes puntos muestreados, en metros y sus promedios**

PUNTO	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Muestreo 5	Muestreo 6	Muestreo 7	Muestreo 8	Muestreo 9	Muestreo 10	PROMEDIO
1	3	3,12	3,25	3,82	3,3	4,40	4,00	4,20	4,16	4,12	3,74
2	2,7	2,92	3,35	3,4	3,45	4,25	4,13	4,19	4,09	4,00	3,65
3	2,8	2,6	2,48	3,75	2,4	4,30	4,42	4,36	4,36	4,28	3,58
4	2,85	2,7	2,1	3,9	3,8	4,05	4,10	4,08	4,06	4,10	3,57
5	2,7	2,45	2,32	2,72	3,7	3,23	4,00	3,62	3,81	3,50	3,20

Fuente: elaboración propia.

4.1.2. Temperatura

A continuación se muestran los resultados obtenidos en campo del parámetro de temperatura *in situ*.

Tabla IV. Temperatura a distintas profundidades para el punto de muestreo número 1, en grados Celsius °C

PROFUNDIDAD (m)	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Muestreo 5	Muestreo 6	Muestreo 7	Muestreo 8	Muestreo 9	Muestreo 10	PROMEDIO (°C)
0	20,00	22,40	20,70	31,60	23,20	21,80	22,40	21,80	23,10	23,60	23,06
1	20,30	22,20	20,90	28,30	22,00	21,00	22,50	21,90	22,90	23,60	22,56
3	20,05	22,10	20,90	29,20	22,10	22,10	22,40	21,90	23,20	23,60	22,76
4	19,88	22,00	20,70	26,50	22,00	22,20	22,40	21,70	23,20	23,60	22,42
6	18,70	21,30	20,60	27,00	21,40	22,90	22,20	21,60	23,30	23,50	22,25
8	18,17	20,70	20,70	26,60	20,10	22,10	22,10	21,50	23,00	23,30	21,83
10	17,93	20,60	20,40	29,90	20,20	21,70	21,40	21,20	22,50	22,80	21,86

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. Temperatura a distintas profundidades para el punto de muestreo número 2, en grados Celsius °C

PROFUNDIDAD (m)	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Muestreo 5	Muestreo 6	Muestreo 7	Muestreo 8	Muestreo 9	Muestreo 10	PROMEDIO (°C)
0	20,10	22,20	20,80	23,30	22,30	22,00	22,60	22,00	23,30	23,80	22,24
1	20,17	22,10	20,6	25,5	22,3	21,90	22,40	22,00	23,20	23,70	22,39
3	19,90	22,00	20,6	24,9	22,2	21,80	22,20	21,90	23,10	23,50	22,21
4	19,80	22,00	20,7	24,5	22,2	21,70	22,20	22,00	23,10	23,60	22,18
6	18,90	21,30	20,5	24,1	21,4	21,50	22,20	22,20	23,10	23,60	21,88
8	18,20	20,80	20,5	22,2	20,7	21,40	21,90	21,90	22,80	23,30	21,37
10	17,80	20,50	20,6	22,8	19,9	21,30	21,30	21,90	22,60	23,00	21,17

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. Temperatura a distintas profundidades para el punto de muestreo número 3, en grados Celsius °C

PROFUNDIDAD (m)	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Muestreo 5	Muestreo 6	Muestreo 7	Muestreo 8	Muestreo 9	Muestreo 10	PROMEDIO (°C)
0	19,80	22,50	21,90	24,10	22,30	22,20	23,00	22,30	23,60	24,10	22,58
1	20,30	22,80	22,00	22,40	22,50	22,40	22,50	22,50	23,60	24,00	22,50
3	20,00	22,60	22,20	21,60	22,10	22,30	22,40	22,00	23,30	23,70	22,22
4	19,90	22,60	22,50	21,60	22,00	22,30	22,40	21,90	23,30	23,70	22,22
6	18,94	22,00	22,20	21,50	21,60	22,30	22,40	22,00	23,30	23,70	21,99
8	18,22	21,20	22,20	20,30	20,00	22,10	22,40	21,90	23,20	23,60	21,51
10	17,83	21,00	22,00	23,00	19,80	22,10	21,80	21,40	22,90	23,10	21,49

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. Temperatura a distintas profundidades para el punto de muestreo número 4, en grados Celsius °C

PROFUNDIDAD (m)	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Muestreo 5	Muestreo 6	Muestreo 7	Muestreo 8	Muestreo 9	Muestreo 10	PROMEDIO (°C)
0	20,00	23,10	23,60	25,90	22,20	22,60	23,20	22,80	24,00	24,50	23,19
1	20,50	23,40	23,50	26,30	22,50	22,40	22,70	22,30	23,60	24,00	23,12
3	20,04	23,20	23,70	27,10	22,30	22,40	22,80	22,40	23,70	24,10	23,17
4	19,92	23,20	23,80	23,50	22,30	22,30	22,60	22,20	23,50	23,90	22,72
6	18,71	22,40	23,80	24,90	21,30	22,20	22,50	22,10	23,40	23,80	22,51
8	18,20	22,10	24,50	25,40	20,20	22,00	22,40	22,00	23,20	23,70	22,37
10	17,88	22,10	24,90	25,50	20,00	21,60	21,60	21,20	22,50	22,90	22,02

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Temperatura a distintas profundidades para el punto de muestreo número 5, en grados Celsius °C**

PROFUNDIDAD (m)	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Muestreo 5	Muestreo 6	Muestreo 7	Muestreo 8	Muestreo 9	Muestreo 10	PROMEDIO (°C)
0	24,74	26,10	27,00	23,00	22,50	22,80	23,60	23,00	24,30	24,80	24,18
1	24,42	26,50	28,90	20,50	22,10	22,60	23,00	22,40	23,80	24,20	23,84
3	24,69	26,80	29,60	20,80	21,90	22,50	22,50	21,90	23,40	23,70	23,78
4	23,35	24,90	25,70	20,80	21,90	22,50	22,40	21,80	23,30	23,60	23,03
6	24,27	26,10	28,70	21,20	21,20	22,40	22,40	21,80	23,30	23,60	23,50
8	24,55	26,30	27,80	21,50	22,60	22,10	22,10	21,50	23,00	23,30	23,47
10	22,05	22,80	23,20	21,90	19,60	22,30	22,00	21,40	23,00	23,20	22,15

Fuente: elaboración propia.

A continuación se presenta una tabla resumen con los valores de temperatura promedio en grados Celsius, en los 5 puntos de muestreo de la laguna.

Tabla IX. **Valores de temperatura media *in situ* (°C)**

PROFUNDIDAD (m)	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	PUNTO 5
0	23,06	22,24	22,58	23,19	24,18
1	22,56	22,39	22,50	23,12	23,84
3	22,76	22,21	22,22	23,17	23,78
4	22,42	22,18	22,22	22,72	23,03
6	22,25	21,88	21,99	22,51	23,50
8	21,83	21,37	21,51	22,37	23,47
10	21,86	21,17	21,49	22,02	22,15

Fuente: elaboración propia.

4.1.3. Conductividad eléctrica

A continuación se presentan los resultados obtenidos de la conductividad eléctrica medida *in situ* en los distintos puntos de muestreo.

Tabla X. **Conductividad eléctrica determinada *in situ* a distintas profundidades para el punto de muestreo número 1, en $\mu\text{S}/\text{cm}$**

PROFUNDIDAD (m)	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Muestreo 5	Muestreo 6	Muestreo 7	Muestreo 8	Muestreo 9	Muestreo 10	PROMEDIO
0	325,0	344,0	361,0	364,0	370,0	323,0	330,0	327,0	327,0	327,0	339,8
1	327,0	341,0	361,0	363,0	363,0	322,0	321,0	325,0	325,0	325,0	337,3
3	324,0	340,0	362,0	362,0	363,0	321,0	321,0	324,0	324,0	324,0	336,5
4	325,0	340,0	361,0	362,0	364,0	322,0	321,0	324,0	324,0	324,0	336,7
6	323,0	341,0	365,0	368,0	369,0	326,0	321,0	326,0	326,0	326,0	339,1
8	320,0	343,0	367,0	369,0	371,0	330,0	328,0	325,0	325,0	325,0	340,3
10	318,0	348,0	365,0	367,0	372,0	340,0	346,0	339,0	339,0	339,0	347,3

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Conductividad eléctrica determinada *in situ* a distintas profundidades para el punto de muestreo número 2, en $\mu\text{S}/\text{cm}$**

PROFUNDIDAD (m)	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Muestreo 5	Muestreo 6	Muestreo 7	Muestreo 8	Muestreo 9	Muestreo 10	PROMEDIO
0	325,0	340,0	361,0	361,0	363,0	322,0	320,0	326,0	326,0	326,0	337,0
1	325,0	340,0	362,0	362,0	363,0	322,0	321,0	325,0	325,0	325,0	337,0
3	323,0	339,0	363,0	362,0	362,0	323,0	320,0	325,0	325,0	325,0	336,7
4	323,0	340,0	361,0	364,0	363,0	323,0	321,0	324,0	324,0	324,0	336,7
6	325,0	343,0	365,0	369,0	369,0	326,0	321,0	323,0	323,0	323,0	338,7
8	320,0	346,0	368,0	370,0	370,0	330,0	336,0	325,0	325,0	325,0	341,5
10	317,0	349,0	367,0	369,0	370,0	339,0	348,0	336,0	336,0	336,0	346,7

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Conductividad eléctrica determinada *in situ* a distintas profundidades para el punto de muestreo número 3, en $\mu\text{S}/\text{cm}$**

PROFUNDIDAD (m)	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Muestreo 5	Muestreo 6	Muestreo 7	Muestreo 8	Muestreo 9	Muestreo 10	PROMEDIO
0	337,0	343,0	362,0	360,0	363,0	321,0	320,0	326,0	326,0	326,0	338,4
1	325,0	340,0	361,0	362,0	363,0	323,0	321,0	325,0	325,0	325,0	337,0
3	323,0	340,0	360,0	362,0	363,0	322,0	322,0	325,0	325,0	325,0	336,7
4	322,0	339,0	360,0	362,0	363,0	322,0	321,0	326,0	326,0	326,0	336,7
6	325,0	342,0	360,0	367,0	367,0	322,0	320,0	325,0	325,0	325,0	337,8
8	319,0	342,0	365,0	369,0	372,0	328,0	327,0	329,0	329,0	329,0	340,9
10	316,0	348,0	359,0	367,0	370,0	329,0	348,0	338,0	338,0	338,0	345,1

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Conductividad eléctrica determinada *in situ* a distintas profundidades para el punto de muestreo número 4, en $\mu\text{S}/\text{cm}$**

PROFUNDIDAD (m)	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Muestreo 5	Muestreo 6	Muestreo 7	Muestreo 8	Muestreo 9	Muestreo 10	PROMEDIO
0	330,0	342,0	360,0	362,0	363,0	322,0	320,0	315,0	315,0	315,0	334,4
1	326,0	340,0	359,0	362,0	403,0	322,0	320,0	315,0	315,0	315,0	337,7
3	323,0	339,0	358,0	361,0	363,0	323,0	319,0	314,0	314,0	314,0	332,8
4	322,0	339,0	358,0	363,0	364,0	326,0	320,0	317,0	317,0	317,0	334,3
6	322,0	340,0	361,0	367,0	368,0	326,0	320,0	317,0	317,0	317,0	335,5
8	319,0	344,0	362,0	370,0	371,0	330,0	331,0	328,0	328,0	328,0	341,1
10	316,0	347,0	355,0	367,0	371,0	341,0	346,0	343,0	343,0	343,0	347,2

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Conductividad eléctrica determinada *in situ* a distintas profundidades para el punto de muestreo número 5, en $\mu\text{S}/\text{cm}$**

PROFUNDIDAD (m)	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Muestreo 5	Muestreo 6	Muestreo 7	Muestreo 8	Muestreo 9	Muestreo 10	PROMEDIO
0	319,0	336,0	359,0	358,0	363,0	322,0	319,0	312,0	312,0	312,0	331,2
1	320,0	338,0	355,0	362,0	363,0	323,0	320,0	313,0	313,0	313,0	332,0
3	320,0	339,0	355,0	364,0	362,0	322,0	320,0	313,0	313,0	313,0	332,1
4	320,0	339,0	361,0	364,0	366,0	322,0	320,0	313,0	313,0	313,0	333,1
6	321,0	340,0	362,0	368,0	367,0	327,0	320,0	313,0	313,0	313,0	334,4
8	326,0	344,0	365,0	368,0	371,0	332,0	325,0	318,0	318,0	318,0	338,5
10	339,0	352,0	368,0	367,0	371,0	346,0	337,0	330,0	330,0	330,0	347,0

Fuente: elaboración propia.

En la siguiente tabla se resumen los valores promedio obtenidos en cada punto de muestreo.

Tabla XV. **Valores de conductividad eléctrica medida *in situ* ($\mu\text{S}/\text{cm}$)**

PROFUNDIDAD (m)	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	PUNTO 5
0	339,8	337,0	338,4	334,4	331,2
1	337,3	337,0	337,0	337,7	332,0
3	336,5	336,7	336,7	332,8	332,1
4	336,7	336,7	336,7	334,3	333,1
6	339,1	338,7	337,8	335,5	334,4
8	340,3	341,5	340,9	341,1	338,5
10	347,3	346,7	345,1	347,2	347,0

Fuente: elaboración propia.

4.1.4. **Sólidos disueltos totales**

A continuación se muestran las tablas con los valores obtenidos de la medición de sólidos disueltos totales en campo:

Tabla XVI. **Sólidos disueltos totales determinados *in situ* a distintas profundidades para el punto de muestreo número 1, en mg/L**

PROFUNDIDAD (m)	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Muestreo 5	Muestreo 6	Muestreo 7	Muestreo 8	Muestreo 9	Muestreo 10	PROMEDIO
0	230,0	202,0	217,0	193,0	199,0	171,0	175,0	173,0	173,0	173,0	190,6
1	233,0	202,0	217,0	193,0	193,0	171,0	170,0	172,0	172,0	172,0	189,5
3	233,0	201,0	218,0	192,0	192,0	170,0	170,0	172,0	172,0	172,0	189,2
4	233,0	201,0	217,0	192,0	193,0	171,0	170,0	172,0	172,0	172,0	189,3
6	233,0	202,0	220,0	195,0	196,0	173,0	170,0	173,0	173,0	173,0	190,8
8	233,0	204,0	220,0	196,0	196,0	175,0	174,0	172,0	172,0	172,0	191,4
10	233,0	206,0	220,0	194,0	197,0	180,0	183,0	180,0	180,0	180,0	195,3

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Sólidos disueltos totales determinados *in situ* a distintas profundidades para el punto de muestreo número 2, en mg/L**

PROFUNDIDAD (m)	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Muestreo 5	Muestreo 6	Muestreo 7	Muestreo 8	Muestreo 9	Muestreo 10	PROMEDIO
0	233,0	201,0	217,0	191,0	193,0	171,0	169,0	173,0	173,0	173,0	189,4
1	233,0	201,0	218,0	192,0	192,0	171,0	170,0	172,0	172,0	172,0	189,3
3	233,0	201,0	217,0	192,0	192,0	171,0	170,0	172,0	172,0	172,0	189,2
4	233,0	202,0	217,0	193,0	192,0	171,0	171,0	171,0	171,0	171,0	189,2
6	233,0	203,0	219,0	195,0	195,0	173,0	173,0	172,0	172,0	172,0	190,7
8	233,0	205,0	221,0	196,0	196,0	175,0	178,0	172,0	172,0	172,0	192,0
10	233,0	207,0	220,0	195,0	196,0	180,0	185,0	178,0	178,0	178,0	195,0

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Sólidos disueltos totales determinados *in situ* a distintas profundidades para el punto de muestreo número 3, en mg/L**

PROFUNDIDAD (m)	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Muestreo 5	Muestreo 6	Muestreo 7	Muestreo 8	Muestreo 9	Muestreo 10	PROMEDIO
0	232,0	201,0	217,0	191,0	192,0	170,0	170,0	173,0	173,0	173,0	189,2
1	232,0	201,0	217,0	192,0	192,0	171,0	170,0	172,0	172,0	172,0	189,1
3	232,0	201,0	216,0	191,0	192,0	171,0	170,0	172,0	172,0	172,0	188,9
4	232,0	201,0	216,0	192,0	193,0	171,0	170,0	173,0	173,0	173,0	189,4
6	232,0	202,0	217,0	195,0	195,0	171,0	170,0	172,0	172,0	172,0	189,8
8	232,0	203,0	217,0	196,0	197,0	174,0	173,0	174,0	174,0	174,0	191,4
10	232,0	207,0	211,0	195,0	196,0	175,0	184,0	179,0	179,0	179,0	193,7

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Sólidos disueltos totales determinados *in situ* a distintas profundidades para el punto de muestreo número 4, en mg/L**

PROFUNDIDAD (m)	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Muestreo 5	Muestreo 6	Muestreo 7	Muestreo 8	Muestreo 9	Muestreo 10	PROMEDIO
0	232,0	201,0	216,0	192,0	192,0	170,0	169,0	173,0	173,0	173,0	189,1
1	232,0	201,0	215,0	192,0	214,0	171,0	170,0	174,0	174,0	174,0	191,7
3	232,0	201,0	214,0	192,0	192,0	171,0	169,0	173,0	173,0	173,0	189,0
4	232,0	201,0	216,0	192,0	194,0	173,0	170,0	174,0	174,0	174,0	190,0
6	232,0	202,0	216,0	195,0	195,0	173,0	170,0	174,0	174,0	174,0	190,5
8	232,0	204,0	216,0	195,0	197,0	175,0	175,0	179,0	179,0	179,0	193,1
10	232,0	206,0	216,0	195,0	197,0	181,0	183,0	187,0	187,0	187,0	197,1

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Sólidos disueltos totales determinados *in situ* a distintas profundidades para el punto de muestreo número 5, en mg/L**

PROFUNDIDAD (m)	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Muestreo 5	Muestreo 6	Muestreo 7	Muestreo 8	Muestreo 9	Muestreo 10	PROMEDIO
0	173,0	180,0	211,0	191,0	192,0	171,0	169,0	171,0	171,0	171,0	180,0
1	174,0	181,0	215,0	193,0	192,0	171,0	170,0	172,0	172,0	172,0	181,2
3	174,0	181,0	215,0	193,0	192,0	171,0	170,0	172,0	172,0	172,0	181,2
4	174,0	181,0	217,0	192,0	192,0	171,0	170,0	172,0	172,0	172,0	181,3
6	174,0	182,0	217,0	196,0	195,0	173,0	170,0	172,0	172,0	172,0	182,3
8	176,0	183,0	219,0	195,0	196,0	176,0	172,0	174,0	174,0	174,0	183,9
10	183,0	188,0	221,0	194,0	195,0	183,0	179,0	181,0	181,0	181,0	188,6

Fuente: elaboración propia.

La siguiente tabla muestra los valores promedio de sólidos disueltos totales en cada uno de los puntos de muestreo a distintas profundidades, medido en campo.

Tabla XXI. **Valores de sólidos disueltos totales medida *in situ* (mg/L)**

PROFUNDIDAD (m)	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	PUNTO 5
0	190,6	189,4	189,2	189,1	180,0
1	189,5	189,3	189,1	191,7	181,2
3	189,2	189,2	188,9	189,0	181,2
4	189,3	189,2	189,4	190,0	181,3
6	190,8	190,7	189,8	190,5	182,3
8	191,4	192,0	191,4	193,1	183,9
10	195,3	195,0	193,7	197,1	188,6

Fuente: elaboración propia.

4.1.5. Salinidad

A continuación se presentan las tablas con los valores tomados en campo del parámetro físico de salinidad.

Tabla XXII. **Salinidad determinada *in situ* a distintas profundidades para el punto de muestreo número 1, en porcentaje**

PROFUNDIDAD (m)	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Muestreo 5	Muestreo 6	Muestreo 7	Muestreo 8	Muestreo 9	Muestreo 10	PROMEDIO
0	0,170	0,180	0,170	0,160	0,19	0,160	0,160	0,150	0,170	0,160	0,167
1	0,170	0,180	0,170	0,160	0,21	0,150	0,160	0,150	0,170	0,160	0,168
3	0,170	0,180	0,170	0,160	0,190	0,150	0,160	0,150	0,170	0,160	0,166
4	0,170	0,170	0,180	0,170	0,200	0,160	0,160	0,150	0,170	0,160	0,169
6	0,180	0,180	0,180	0,170	0,200	0,160	0,160	0,160	0,180	0,170	0,174
8	0,180	0,190	0,180	0,170	0,200	0,170	0,170	0,160	0,180	0,170	0,177
10	0,180	0,190	0,190	0,190	0,200	0,170	0,160	0,160	0,190	0,170	0,180

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIII. **Salinidad determinada *in situ* a distintas profundidades para el punto de muestreo número 2, en porcentaje**

PROFUNDIDAD (m)	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Muestreo 5	Muestreo 6	Muestreo 7	Muestreo 8	Muestreo 9	Muestreo 10	PROMEDIO
0	0,170	0,170	0,160	0,150	0,190	0,170	0,170	0,150	0,170	0,150	0,165
1	0,170	0,170	0,170	0,150	0,210	0,160	0,170	0,150	0,170	0,170	0,169
3	0,170	0,180	0,170	0,160	0,190	0,170	0,170	0,150	0,180	0,170	0,171
4	0,170	0,180	0,160	0,150	0,210	0,160	0,180	0,160	0,180	0,170	0,172
6	0,180	0,180	0,180	0,180	0,210	0,160	0,180	0,160	0,180	0,170	0,178
8	0,180	0,180	0,180	0,180	0,210	0,170	0,180	0,160	0,180	0,190	0,181
10	0,180	0,180	0,190	0,180	0,210	0,170	0,180	0,160	0,190	0,190	0,183

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIV. **Salinidad determinada *in situ* a distintas profundidades para el punto de muestreo número 3, en porcentaje**

PROFUNDIDAD (m)	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Muestreo 5	Muestreo 6	Muestreo 7	Muestreo 8	Muestreo 9	Muestreo 10	PROMEDIO
0	0,170	0,180	0,170	0,160	0,200	0,170	0,170	0,150	0,180	0,160	0,171
1	0,170	0,180	0,180	0,160	0,220	0,160	0,170	0,150	0,180	0,170	0,174
3	0,170	0,190	0,180	0,170	0,200	0,170	0,170	0,150	0,180	0,170	0,175
4	0,170	0,180	0,180	0,160	0,210	0,170	0,180	0,160	0,180	0,170	0,176
6	0,180	0,190	0,190	0,180	0,210	0,170	0,180	0,170	0,190	0,180	0,184
8	0,180	0,190	0,190	0,180	0,210	0,180	0,180	0,170	0,190	0,190	0,186
10	0,180	0,190	0,200	0,190	0,210	0,180	0,180	0,170	0,200	0,190	0,189

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXV. **Salinidad determinada *in situ* a distintas profundidades para el punto de muestreo número 4, en porcentaje**

PROFUNDIDAD (m)	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Muestreo 5	Muestreo 6	Muestreo 7	Muestreo 8	Muestreo 9	Muestreo 10	PROMEDIO
0	0,160	0,180	0,180	0,160	0,200	0,170	0,170	0,150	0,180	0,160	0,171
1	0,170	0,180	0,190	0,160	0,220	0,160	0,170	0,150	0,180	0,170	0,175
3	0,170	0,190	0,190	0,170	0,200	0,170	0,170	0,150	0,180	0,170	0,176
4	0,170	0,180	0,190	0,160	0,210	0,170	0,180	0,160	0,180	0,170	0,177
6	0,170	0,190	0,200	0,180	0,210	0,170	0,180	0,170	0,190	0,180	0,184
8	0,180	0,190	0,200	0,180	0,210	0,180	0,180	0,170	0,190	0,190	0,187
10	0,180	0,190	0,210	0,190	0,210	0,180	0,180	0,170	0,200	0,190	0,190

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVI. **Salinidad determinada *in situ* a distintas profundidades para el punto de muestreo número 5, en porcentaje**

PROFUNDIDAD (m)	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Muestreo 5	Muestreo 6	Muestreo 7	Muestreo 8	Muestreo 9	Muestreo 10	PROMEDIO
0	0,160	0,200	0,180	0,160	0,190	0,180	0,180	0,160	0,190	0,160	0,176
1	0,170	0,200	0,190	0,160	0,210	0,170	0,180	0,160	0,190	0,180	0,181
3	0,180	0,210	0,190	0,170	0,190	0,180	0,180	0,160	0,190	0,180	0,183
4	0,180	0,200	0,190	0,160	0,210	0,170	0,190	0,170	0,190	0,180	0,184
6	0,180	0,210	0,200	0,190	0,210	0,170	0,190	0,170	0,200	0,190	0,191
8	0,180	0,210	0,200	0,190	0,210	0,190	0,190	0,170	0,200	0,200	0,194
10	0,180	0,210	0,210	0,200	0,210	0,190	0,190	0,170	0,210	0,200	0,197

Fuente: elaboración propia.

En la siguiente tabla se muestran los valores promedio en cada punto de muestreo de la medición de salinidad *in situ*.

Tabla XXVII. **Valores de salinidad medida *in situ* (porcentaje)**

PROFUNDIDAD (m)	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	PUNTO 5
0	0,167	0,165	0,171	0,171	0,176
1	0,168	0,169	0,174	0,175	0,181
3	0,166	0,171	0,175	0,176	0,183
4	0,169	0,172	0,176	0,177	0,184
6	0,174	0,178	0,184	0,184	0,191
8	0,177	0,181	0,186	0,187	0,194
10	0,180	0,183	0,189	0,190	0,197

Fuente: elaboración propia.

4.1.6. Oxígeno disuelto

Las tablas siguientes muestran los valores obtenidos de oxígeno disuelto en las mediciones realizadas en campo.

Tabla XXVIII. **Oxígeno disuelto determinado *in situ* a distintas profundidades para el punto de muestreo número 1, en mg/L**

PROFUNDIDAD (m)	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Muestreo 5	Muestreo 6	Muestreo 7	Muestreo 8	Muestreo 9	Muestreo 10	PROMEDIO
0	7,85	5,84	5,80	4,60	4,10	8,16	4,74	3,10	3,10	3,10	5,04
1	7,80	5,71	5,00	4,20	4,20	8,00	4,80	3,17	3,17	3,17	4,92
3	7,80	6,25	5,70	4,60	4,10	6,71	6,02	3,75	3,75	3,75	5,24
4	6,70	5,26	5,10	4,50	4,10	6,73	4,32	3,55	3,55	3,55	4,74
6	4,20	4,12	4,00	3,70	3,10	6,22	4,29	4,33	4,33	4,33	4,26
8	3,30	3,45	3,50	2,90	2,80	5,61	4,01	4,75	4,75	4,75	3,98
10	3,20	3,33	3,60	3,20	2,90	5,37	3,46	4,04	4,04	4,04	3,72

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIX. **Oxígeno disuelto determinado *in situ* a distintas profundidades para el punto de muestreo número 2, en mg/L**

PROFUNDIDAD (m)	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Muestreo 5	Muestreo 6	Muestreo 7	Muestreo 8	Muestreo 9	Muestreo 10	PROMEDIO
0	6,40	5,04	6,00	4,80	6,40	5,21	3,69	3,69	3,69	3,69	4,86
1	7,80	5,34	5,10	4,10	5,60	6,38	3,80	3,80	3,80	3,80	4,95
3	5,30	4,71	4,60	4,60	4,30	6,31	4,01	4,01	4,01	4,01	4,59
4	3,90	4,13	5,50	4,50	4,40	6,32	3,84	3,84	3,84	3,84	4,41
6	3,30	3,55	4,50	3,50	2,80	6,36	3,71	3,71	3,71	3,71	3,89
8	3,20	3,41	4,00	3,30	2,70	6,00	3,60	3,60	3,60	3,60	3,70
10	3,00	3,23	3,60	3,20	2,50	5,63	3,37	3,37	3,37	3,37	3,46

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXX. **Oxígeno disuelto determinado *in situ* a distintas profundidades para el punto de muestreo número 3, en mg/L**

PROFUNDIDAD (m)	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Muestreo 5	Muestreo 6	Muestreo 7	Muestreo 8	Muestreo 9	Muestreo 10	PROMEDIO
0	6,20	5,00	4,90	4,30	6,20	6,76	4,26	4,26	4,26	4,26	5,04
1	7,50	5,33	5,60	4,10	4,40	6,79	4,09	4,09	4,09	4,09	5,01
3	6,34	4,90	4,70	4,10	4,50	6,85	4,02	4,02	4,02	4,02	4,75
4	4,60	4,42	4,10	4,50	4,60	6,74	3,98	3,98	3,98	3,98	4,49
6	4,00	4,03	4,80	3,80	3,40	6,87	4,12	4,12	4,12	4,12	4,34
8	3,50	3,38	3,30	3,10	3,10	6,42	3,39	3,39	3,39	3,39	3,64
10	3,20	3,18	3,80	2,80	3,00	6,22	3,42	3,42	3,42	3,42	3,59

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXI. **Oxígeno disuelto determinado *in situ* a distintas profundidades para el punto de muestreo número 4, en mg/L**

PROFUNDIDAD (m)	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Muestreo 5	Muestreo 6	Muestreo 7	Muestreo 8	Muestreo 9	Muestreo 10	PROMEDIO
0	6,80	5,14	5,00	4,10	6,50	7,25	4,26	4,60	4,60	4,60	5,29
1	7,80	5,34	5,40	4,00	5,40	7,39	3,92	4,30	4,30	4,30	5,22
3	4,60	4,43	5,20	4,20	4,50	7,63	4,30	4,51	4,51	4,51	4,84
4	4,46	4,44	5,50	4,60	5,60	7,49	4,09	4,73	4,73	4,73	5,04
6	3,98	4,00	4,80	3,10	3,50	7,78	4,73	5,48	5,48	5,48	4,83
8	3,35	3,56	3,90	3,20	3,00	7,45	3,98	4,65	4,65	4,65	4,24
10	3,23	3,22	4,40	3,00	2,70	6,94	3,31	3,98	3,98	3,98	3,87

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXII. **Oxígeno disuelto determinado *in situ* a distintas profundidades para el punto de muestreo número 5, en mg/L**

PROFUNDIDAD (m)	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Muestreo 5	Muestreo 6	Muestreo 7	Muestreo 8	Muestreo 9	Muestreo 10	PROMEDIO
0	5,13	4,47	5,50	4,00	6,40	8,88	4,06	4,14	4,14	4,14	5,086
1	5,20	4,66	5,40	4,60	4,60	9,13	3,98	4,20	4,20	4,20	5,017
3	5,47	4,83	5,50	4,60	4,80	9,41	4,20	4,48	4,48	4,48	5,225
4	5,74	5,02	4,80	4,60	5,00	10,05	4,48	4,62	4,62	4,62	5,355
6	5,66	4,61	4,50	3,60	3,60	10,12	4,34	4,50	4,50	4,50	4,993
8	5,99	4,54	4,20	3,20	3,70	10,10	4,18	5,11	5,11	5,11	5,124
10	5,22	3,89	3,00	3,00	3,50	10,00	3,25	4,18	4,18	4,18	4,44

Fuente: elaboración propia.

En la siguiente tabla se muestran los valores promedio en cada punto de muestreo de la medición de oxígeno disuelto *in situ*.

Tabla XXXIII. **Valores de oxígeno disuelto, medido *in situ* (mg/L)**

PROFUNDIDAD (m)	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	PUNTO 5
0	5,04	4,86	5,04	5,29	5,09
1	4,92	4,95	5,01	5,22	5,02
3	5,24	4,59	4,75	4,84	5,23
4	4,74	4,41	4,49	5,04	5,36
6	4,26	3,89	4,34	4,83	4,99
8	3,98	3,70	3,64	4,24	5,12
10	3,72	3,46	3,59	3,87	4,44

Fuente: elaboración propia.

4.1.7. **Potencial de hidrógeno (pH)**

Las tablas siguientes muestran los valores de pH determinados en campo para los puntos de muestreo a distintas profundidades.

Tabla XXXIV. **Potencial de hidrógeno determinado *in situ* a distintas profundidades para el punto de muestreo número 1**

PROFUNDIDAD (m)	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Muestreo 5	Muestreo 6	Muestreo 7	Muestreo 8	Muestreo 9	Muestreo 10	PROMEDIO
0	8,62	8,27	8,54	8,35	7,90	7,20	7,50	8,30	8,30	8,30	8,13
1	8,60	8,30	8,47	8,31	7,95	7,64	7,64	8,30	8,30	8,30	8,18
3	7,63	8,18	8,36	8,28	7,95	8,23	8,32	8,40	8,40	8,40	8,22
4	7,84	8,27	8,25	8,21	7,93	8,45	8,45	8,70	8,70	8,70	8,35
6	8,30	8,40	8,22	8,06	7,80	8,51	8,51	8,82	8,82	8,82	8,43
8	8,62	8,55	8,22	8,14	7,63	8,55	8,55	8,50	8,50	8,50	8,38
10	8,55	8,48	8,31	8,23	7,70	8,32	8,32	8,90	8,90	8,90	8,46

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXV. **Potencial de hidrógeno determinado *in situ* a distintas profundidades para el punto de muestreo número 2**

PROFUNDIDAD (m)	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Muestreo 5	Muestreo 6	Muestreo 7	Muestreo 8	Muestreo 9	Muestreo 10	PROMEDIO
0	8,32	8,40	8,45	8,43	8,12	8,82	8,12	8,90	8,90	8,90	8,54
1	8,29	8,59	8,44	8,29	8,17	8,84	8,84	8,90	8,90	8,90	8,62
3	9,20	8,65	8,39	8,26	8,13	8,82	8,13	8,60	8,60	8,60	8,54
4	9,05	8,83	8,34	8,17	8,04	8,90	8,90	8,60	8,60	8,60	8,60
6	8,30	8,20	8,26	8,01	7,79	8,84	7,95	8,00	8,00	8,00	8,14
8	8,23	8,14	8,29	8,06	7,63	8,72	7,79	8,30	8,30	8,30	8,18
10	7,96	8,03	8,39	8,22	7,61	8,38	7,61	7,90	7,90	7,90	7,99

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVI. **Potencial de hidrógeno determinado *in situ* a distintas profundidades para el punto de muestreo número 3**

PROFUNDIDAD (m)	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Muestreo 5	Muestreo 6	Muestreo 7	Muestreo 8	Muestreo 9	Muestreo 10	PROMEDIO
0	8,80	8,66	8,40	8,42	8,04	8,80	8,42	7,98	7,98	7,98	8,35
1	9,20	8,92	8,45	8,34	8,08	8,84	8,84	8,40	8,40	8,40	8,59
3	8,59	8,50	8,41	8,29	8,01	8,88	8,29	7,85	7,85	7,85	8,25
4	8,55	8,43	8,31	8,21	7,99	8,89	8,18	7,74	7,74	7,74	8,18
6	8,62	8,39	8,24	8,10	7,91	8,92	8,10	7,66	7,66	7,66	8,13
8	8,30	8,27	8,25	8,09	7,83	8,82	8,09	7,65	7,65	7,65	8,06
10	7,84	8,22	8,30	8,25	7,88	8,80	8,25	7,81	7,81	7,81	8,10

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVII. **Potencial de hidrógeno determinado *in situ* a distintas profundidades para el punto de muestreo número 4**

PROFUNDIDAD (m)	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Muestreo 5	Muestreo 6	Muestreo 7	Muestreo 8	Muestreo 9	Muestreo 10	PROMEDIO
0	9,00	8,79	8,52	8,34	8,09	8,77	8,67	8,63	8,63	8,63	8,61
1	8,76	8,69	8,39	8,32	8,08	8,73	8,63	8,61	8,61	8,61	8,54
3	9,21	8,82	8,48	8,27	8,05	8,71	8,61	8,53	8,53	8,53	8,57
4	9,20	8,77	8,36	8,21	8,06	8,63	8,53	8,45	8,45	8,45	8,51
6	9,00	8,69	8,36	8,10	7,93	8,71	8,61	8,45	8,45	8,45	8,48
8	8,58	8,48	8,12	8,06	7,87	8,55	8,45	8,12	8,12	8,12	8,25
10	8,17	8,27	8,25	8,18	7,91	8,22	8,12	7,79	7,79	7,79	8,05

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVIII. **Potencial de hidrógeno determinado *in situ* a distintas profundidades para el punto de muestreo número 5**

PROFUNDIDAD (m)	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 3	Muestreo 4	Muestreo 5	Muestreo 6	Muestreo 7	Muestreo 8	Muestreo 9	Muestreo 10	PROMEDIO
0	8,80	8,65	8,30	8,10	8,09	8,80	8,70	8,67	8,67	8,67	8,55
1	8,84	8,74	8,26	8,28	8,66	8,83	8,73	8,72	8,72	8,72	8,65
3	8,86	8,73	8,30	8,24	8,59	8,84	8,74	8,74	8,74	8,74	8,65
4	8,77	8,64	8,12	8,06	8,58	8,84	8,74	8,60	8,60	8,60	8,56
6	8,70	8,52	8,11	7,89	8,46	8,77	8,60	8,55	8,55	8,55	8,47
8	8,56	8,43	7,79	7,84	8,13	8,65	8,55	8,38	8,38	8,38	8,31
10	8,39	8,36	8,13	7,96	8,04	8,48	8,38	8,21	8,21	8,21	8,24

Fuente: elaboración propia.

En la siguiente tabla se muestran los valores promedio en cada punto de muestreo de la medición de pH en campo.

Tabla XXXIX. **Valores promedio de pH medido *in situ* (unidades)**

PROFUNDIDAD (m)	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	PUNTO 5
0	8,13	8,54	8,35	8,61	8,55
1	8,18	8,62	8,59	8,54	8,65
3	8,22	8,54	8,25	8,57	8,65
4	8,35	8,60	8,18	8,51	8,56
6	8,43	8,14	8,13	8,48	8,47
8	8,38	8,18	8,06	8,25	8,31
10	8,46	7,99	8,10	8,05	8,24

Fuente: elaboración propia.

4.2. Parámetros determinados en laboratorio

Los resultados se obtuvieron realizando las prácticas correspondientes para cada parámetro a evaluar en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria Dra. Alba Tabarini de la Universidad de San Carlos de Guatemala, analizando las muestras tomadas en un lapso no mayor de 24 horas después de recogidas.

A continuación se muestra una tabla por cada punto de muestreo con los valores obtenidos con respecto a los parámetros químicos determinados en laboratorio.

Tabla XL. **Parámetros físicos y químicos determinados en el laboratorio, para los muestreos correspondientes al punto número 1**

MUESTREO	Turbiedad (UTN)	Color (U)	Fósforo Total, P (mg/L)	Nitrógeno Total, N (mg/L)	Demanda Química de Oxígeno, DQO (mg/L)	SST (mg/L)	Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO ₅ (mg/L)
1	2,20	18,00	0,20	0,20	5,90	NSR	8,00
2	1,36	9,00	0,20	0,20	8,60	NSR	8,67
3	1,69	5,00	0,30	0,90	4,30	NSR	5,00
4	0,94	26,00	0,20	0,40	17,60	NSR	29,33
5	1,10	9,00	0,30	0,50	11,50	0,30	25,00
6	1,19	6,00	0,20	0,20	5,60	1,00	23,00
7	1,19	6,00	0,20	0,20	5,60	1,75	23,00
8	1,75	10,00	0,30	0,20	11,50	1,75	18,67
9	1,21	5,00	0,10	0,70	9,90	1,00	26,67
10	1,75	4,00	0,10	0,40	10,10	1,50	20,67
PROMEDIO	1,44	9,80	0,21	0,39	9,06	1,22	18,80

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLI. **Parámetros físicos y químicos determinados en el laboratorio, para los muestreos correspondientes al punto número 2**

MUESTREO	Turbiedad (UTN)	Color (U)	Fósforo Total, P (mg/L)	Nitrógeno Total, N (mg/L)	Demanda Química de Oxígeno, DQO (mg/L)	SST (mg/L)	Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO ₅ (mg/L)
1	1,76	11,00	0,30	0,10	6,30	NSR	8,00
2	1,69	9,00	0,20	0,00	22,50	NSR	5,67
3	1,60	5,00	0,30	1,00	10,80	NSR	5,33
4	1,07	25,50	0,10	0,00	15,40	NSR	25,00
5	1,24	12,00	0,30	0,20	6,70	0,40	19,67
6	1,30	4,00	0,40	0,20	12,10	0,25	24,67
7	1,30	4,00	0,40	0,20	12,10	1,25	24,67
8	1,75	8,00	0,20	0,10	9,60	0,75	12,33
9	1,28	5,00	0,10	0,60	9,10	0,25	40,33
10	2,30	3,00	0,10	0,10	9,60	2,00	22,33
PROMEDIO	1,53	8,65	0,24	0,25	11,42	0,82	18,80

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLII. **Parámetros físicos y químicos determinados en el laboratorio, para los muestreos correspondientes al punto número 3**

MUESTREO	Turbiedad (UTN)	Color (U)	Fósforo Total, P (mg/L)	Nitrógeno Total, N (mg/L)	Demanda Química de Oxígeno, DQO (mg/L)	SST (mg/L)	Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO ₅ (mg/L)
1	1,91	10,00	0,30	0,40	4,10	NSR	2,00
2	3,34	11,00	0,20	0,60	9,60	NSR	10,00
3	2,20	8,00	0,20	0,40	2,60	NSR	21,67
4	1,07	24,50	0,20	0,40	8,60	NSR	32,00
5	0,95	10,00	0,20	0,30	8,40	0,20	23,00
6	1,24	5,00	0,20	0,20	4,20	1,25	25,00
7	1,24	5,00	0,20	0,20	4,20	3,00	25,00
8	1,84	9,00	0,10	0,20	6,90	1,50	26,00
9	3,07	6,00	0,10	0,20	10,10	2,75	26,67
10	3,81	7,00	0,10	0,20	11,20	1,75	40,33
PROMEDIO	2,07	9,55	0,18	0,41	6,99	1,74	23,17

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIII. **Parámetros físicos y químicos determinados en el laboratorio, para los muestreos correspondientes al punto número 4**

MUESTREO	Turbiedad (UTN)	Color (U)	Fósforo Total, P (mg/L)	Nitrógeno Total, N (mg/L)	Demanda Química de Oxígeno, DQO (mg/L)	SST (mg/L)	Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO ₅ (mg/L)
1	1,69	10,00	0,30	0,10	6,50	NSR	19,33
2	2,90	12,00	0,20	0,20	12,30	NSR	10,00
3	3,28	7,00	0,40	0,90	5,50	NSR	2,00
4	0,97	32,50	0,10	0,40	11,30	NSR	27,00
5	1,01	11,00	0,40	0,70	3,50	0,20	20,00
6	1,80	4,00	0,20	0,20	9,70	0,50	28,00
7	1,80	4,00	0,20	0,20	9,70	1,00	28,00
8	2,10	8,00	0,20	0,10	7,40	1,00	14,67
9	3,16	5,00	0,10	0,30	10,20	1,00	26,33
10	1,30	6,00	0,20	0,30	10,30	1,75	20,33
PROMEDIO	2,00	9,95	0,23	0,34	8,64	0,91	19,57

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIV. **Parámetros físicos y químicos determinados en el laboratorio, para los muestreos correspondientes al punto número 5**

MUESTREO	Turbiedad (UTN)	Color (U)	Fósforo Total, P (mg/L)	Nitrógeno Total, N (mg/L)	Demanda Química de Oxígeno, DQO (mg/L)	SST (mg/L)	Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO ₅ (mg/L)
1	1,77	14,00	0,30	0,40	6,70	NSR	12,67
2	2,84	10,00	0,30	0,20	11,40	NSR	8,67
3	1,81	6,00	0,20	0,80	6,40	NSR	0,00
4	1,34	28,50	0,10	0,80	9,90	NSR	42,67
5	0,91	11,00	0,20	0,20	8,30	0,20	18,33
6	1,25	5,00	0,20	0,20	8,50	1,25	49,67
7	1,25	5,00	0,20	0,20	8,50	3,00	49,67
8	1,34	7,00	0,20	0,20	5,40	0,75	16,00
9	1,54	4,00	0,10	0,40	10,00	1,00	26,33
10	1,70	5,00	0,10	0,20	9,80	1,50	52,67
PROMEDIO	1,57	9,55	0,19	0,36	8,49	1,28	27,67

Fuente: elaboración propia.

A continuación se presenta una tabla con los valores promedios de cada parámetro analizado en laboratorio en cada punto de muestreo.

Tabla XLV. **Resumen de los parámetros físicos y químicos determinados en el laboratorio**

PUNTO	Turbiedad (UTN)	Color (U)	Fósforo Total, P (mg/L)	Nitrógeno Total, N (mg/L)	Demanda Química de Oxígeno, DQO (mg/L)	SST (mg/L)	Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO ₅ (mg/L)
Promedio punto 1	1,44	9,80	0,21	0,39	9,06	1,22	18,80
Promedio punto 2	1,53	8,65	0,24	0,25	11,42	0,82	18,80
Promedio punto 3	2,07	9,55	0,18	0,31	6,99	1,74	23,17
Promedio punto 4	2,00	9,95	0,23	0,34	8,64	0,91	19,57

Fuente: elaboración propia.

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Parámetros *in situ*

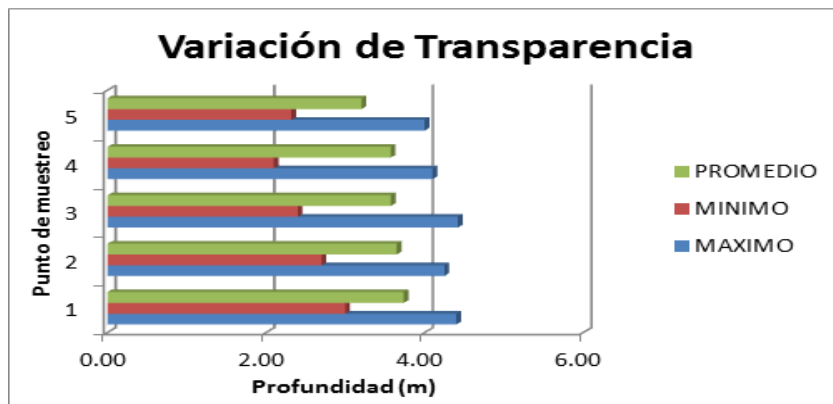
En cada uno de los puntos de muestreo fueron medidos los parámetros necesarios para poder indicar el estado trófico de la laguna, es de mencionar que dichas mediciones se realizaron conforme a los instructivos para poder tomar muestras confiables.

5.1.1. Transparencia

Como se puede observar en la tabla III, los valores obtenidos *in situ* del parámetro de transparencia tienen poca variación según el punto muestreado. La variación que se da es por la época de muestreo, ya que el muestreo con valor promedio más bajo es el número 3, el cual se llevó a cabo durante marzo, mientras que los valores más altos se dieron en septiembre.

Con los datos obtenidos de las mediciones durante las 10 visitas establecidas, se pudo establecer el siguiente perfil de variación de transparencia en los distintos puntos muestreados dentro de la laguna.

Figura 6. **Valores máximo, promedio y mínimo de transparencia según el punto de muestreo**



Fuente: elaboración propia.

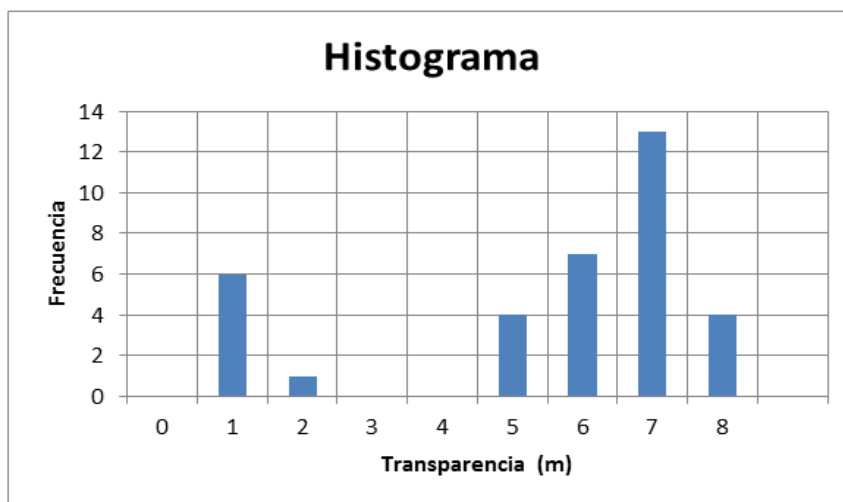
A continuación se presenta una tabla con el resumen del análisis estadístico descriptivo del parámetro de transparencia y el histograma.

Tabla XLVI. **Resumen estadístico descriptivo del parámetro transparencia**

<i>ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA TRANSPARENCIA</i>	
Media	3,5476
Error típico	0,095282
Mediana	3,775
Moda	2,7
Desviación estándar	0,673745
Varianza de la muestra	0,453932
Curtosis	-1,06492
Coefficiente de asimetría	-0,52408
Rango	2,32
Mínimo	2,1
Máximo	4,42
Suma	177,38
Datos válidos	50

Fuente: elaboración propia.

Figura 7. **Histograma del parámetro transparencia**



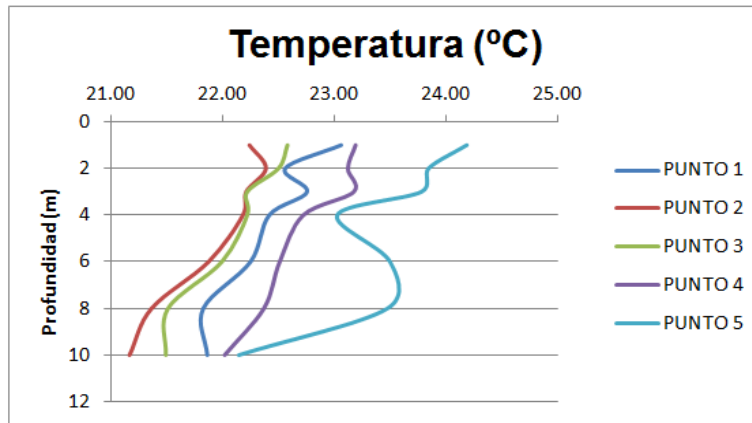
Fuente: elaboración propia.

5.1.2. **Temperatura**

Las mediciones de temperatura de la laguna obtenida *in situ* muestran que es un cuerpo de agua tropical oligomíctico, ya que su temperatura varía entre los 20 y 30 °C. Existe variación en los valores obtenidos en campo, esto puede deberse a factores como la hora de la toma de medición y la época, ya que en estación lluviosa la temperatura del lago es menor que en tiempo seco, en donde la radiación solar directa sobre la laguna es mayor, así como también la Laguna de Calderas se encuentra rodeada por el volcán, lo que pudo haber afectado los puntos de sombra.

Con los datos obtenidos se puede construir un perfil estratigráfico que indica la variación de la temperatura de la laguna con respecto a la profundidad en los distintos puntos de muestreo, en donde se observa que a nivel general, la temperatura del agua disminuye conforme aumenta la profundidad.

Figura 8. **Perfil estratigráfico de la temperatura media**



Fuente: elaboración propia.

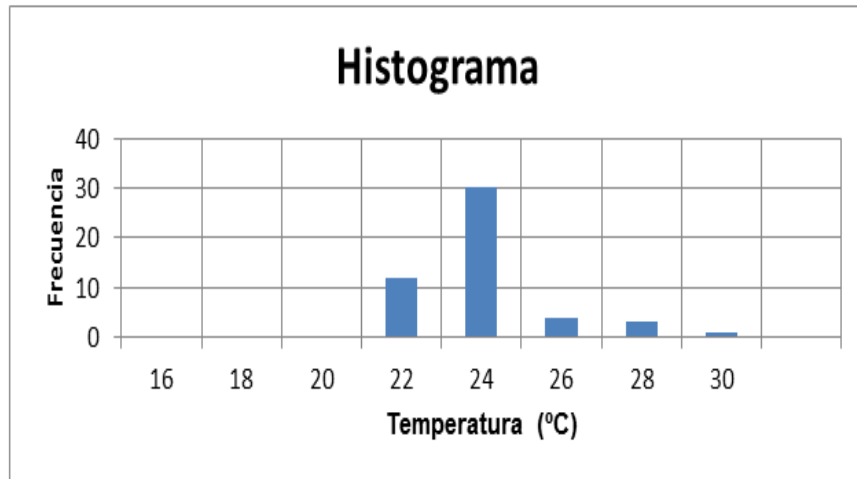
A continuación se presenta el análisis estadístico del parámetro temperatura medida *in situ*, a 1 metro de profundidad y a 10 metros, así como los histogramas respectivos.

Tabla XLVII. **Resumen análisis estadístico para el parámetro temperatura a una profundidad de 1 metro**

<i>Estadística descriptiva temperatura a 1 m de profundidad</i>	
Media	22,95
Error típico	0,236
Mediana	22,5
Moda	22,5
Desviación estándar	1,672
Varianza de la muestra	2,796
Curtosis	1,667
Coficiente de asimetría	0,97
Rango	8,13
Mínimo	20,17
Máximo	28,3
Suma	1148
Datos válidos	50

Fuente: elaboración propia.

Figura 9. **Histograma de temperatura medida *in situ* a una profundidad de 1 m**



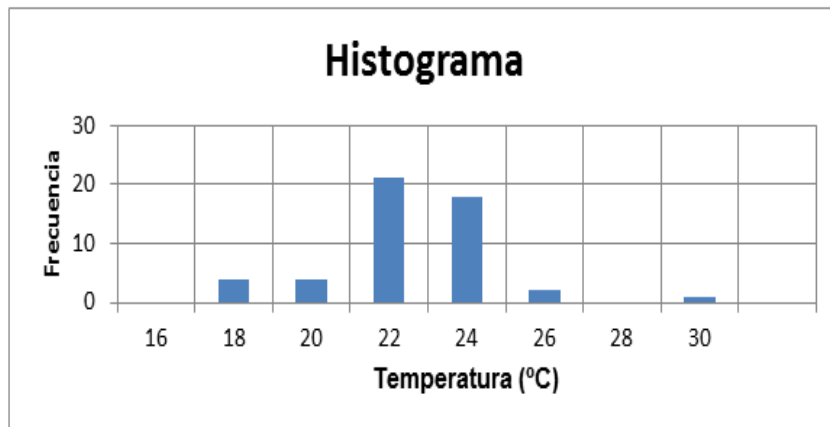
Fuente: elaboración propia.

Tabla XLVIII. **Resumen análisis estadístico para el parámetro temperatura a una profundidad de 10 metros**

<i>Estadística descriptiva temperatura a 10 m de profundidad</i>	
Media	21,74
Error típico	0,283
Mediana	21,85
Moda	22,8
Desviación estándar	1,999
Varianza de la muestra	3,995
Curtosis	5,117
Coficiente de asimetría	1,005
Rango	12,12
Mínimo	17,78
Máximo	29,9
Suma	1087
Datos válidos	50

Fuente: elaboración propia

Figura 10. **Histograma de temperatura medida *in situ* a una profundidad de 10 m**



Fuente: elaboración propia.

El análisis estadístico para ambas profundidades muestra una variación estándar menor a 2, lo que representa una leve variación en la temperatura de la laguna, esto debido a las variables que se explicaron anteriormente.

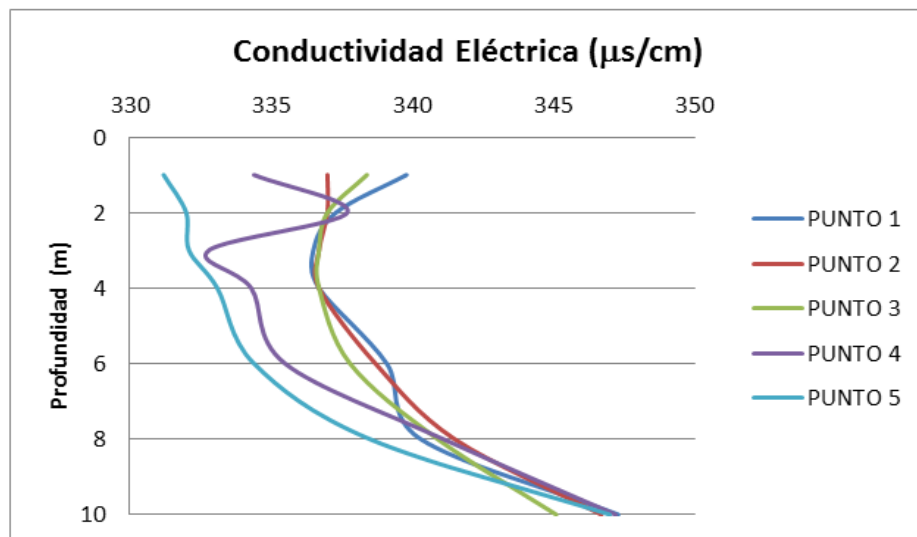
5.1.3. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica está relacionada con la concentración de las sales solubles presentes en el cuerpo de agua, y representa indirectamente el contenido de sólidos disueltos en esta.

A continuación se presenta el perfil estratigráfico de la conductividad eléctrica del agua de la Laguna de Calderas, el cual muestra que existe proporción directa entre la profundidad del agua y la conductividad eléctrica, es decir, que la conductividad aumenta con la profundidad. También se puede observar que en el punto 5 la conductividad eléctrica fue menor a diferencia de

los demás puntos, los primeros 8 metros de profundidad, sin embargo, a 10 metros de profundidad la conductividad eléctrica fue similar en los 5 puntos de muestra.

Figura 11. **Perfil estratigráfico de la conductividad eléctrica media**



Fuente: elaboración propia.

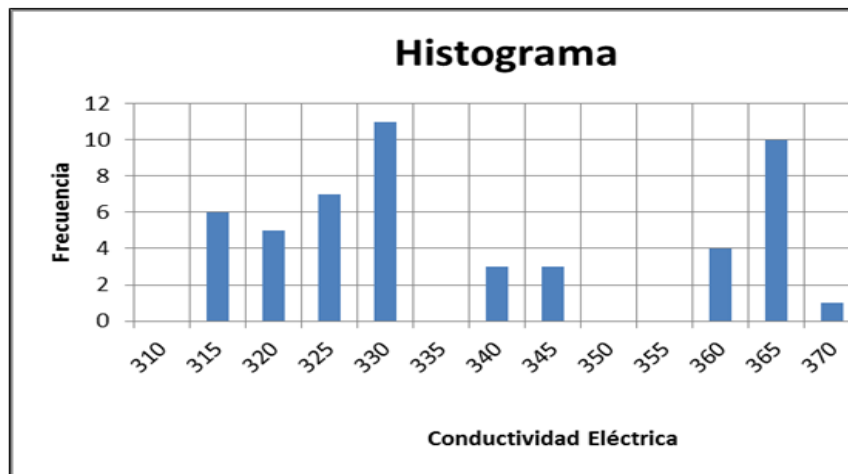
A continuación se presenta un resumen del análisis estadístico descriptivo, también un histograma para 1 metro de profundidad y un histograma para 10 metros.

Tabla XLIX. **Resumen estadístico descriptivo del parámetro conductividad eléctrica a 1 metro de profundidad**

<i>Estadística descriptiva conductividad eléctrica a 1 metro de profundidad</i>	
Media	336,16
Error típico	2,630
Mediana	327,0
Moda	326,0
Desviación estándar	18,598
Varianza de la muestra	345,892
Curtosis	-1,361
Coefficiente de asimetría	0,492
Rango	58
Mínimo	312
Máximo	370
Suma	16808
Datos válidos	50

Fuente: elaboración propia.

Figura 12. **Histograma de la conductividad eléctrica medida *in situ* a una profundidad de 1 m**



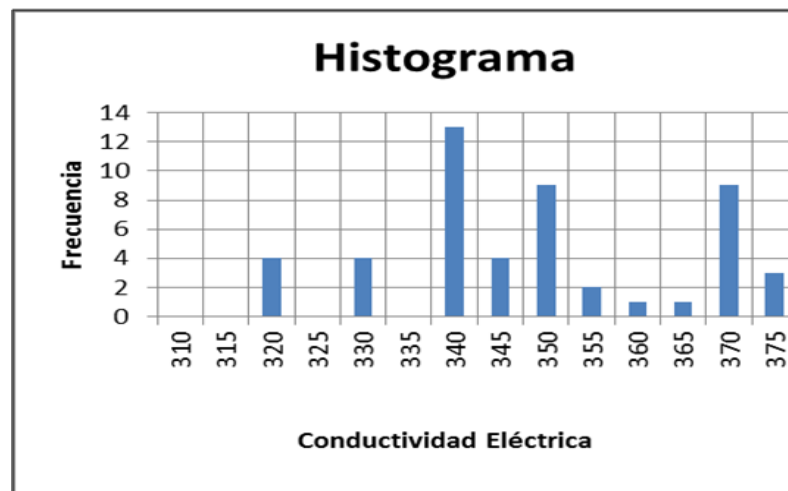
Fuente: elaboración propia.

Tabla L. **Resumen estadístico descriptivo del parámetro conductividad eléctrica a 10 metros de profundidad**

<i>Estadística descriptiva conductividad eléctrica a 10 metros de profundidad</i>	
Media	346,66
Error típico	2,244
Mediana	344,5
Moda	367
Desviación estándar	15,866
Varianza de la muestra	251,739
Curtosis	-0,721
Coefficiente de asimetría	0,033
Rango	56
Mínimo	316
Máximo	372
Suma	17333
Datos válidos	50

Fuente: elaboración propia.

Figura 13. **Histograma de la conductividad eléctrica medida *in situ* a una profundidad de 10 m**

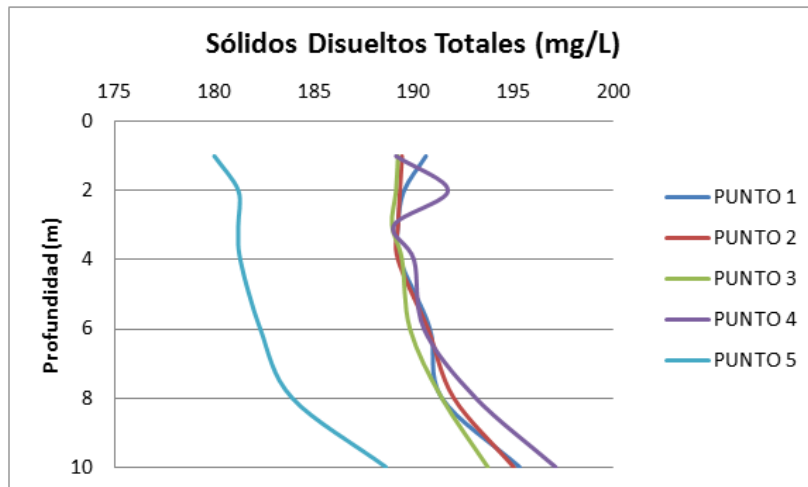


Fuente: elaboración propia.

5.1.4. Sólidos disueltos totales

Existe correlación directa entre la conductividad eléctrica del agua y la concentración de sólidos disueltos totales (TDS, por sus siglas en inglés) para cuerpos de agua. La medida de los TDS es un indicador de la presencia de contaminantes químicos y concentración de sales en el agua. A continuación se presenta el perfil estratigráfico de los sólidos disueltos totales de la Laguna de Calderas.

Figura 14. Perfil estratigráfico de los promedios de los sólidos disueltos totales



Fuente: elaboración propia.

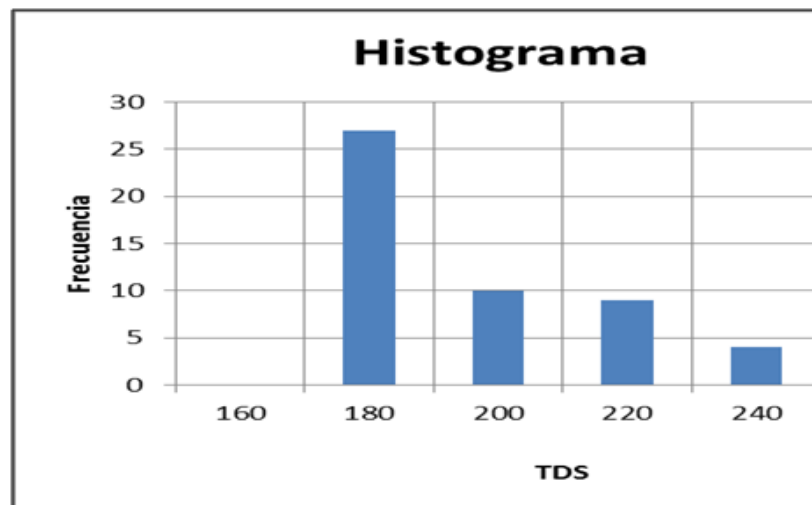
En la figura 13 se observa que la cantidad de TDS no tiene mayor variación con respecto a la profundidad de medición. Sin embargo, sí existe diferencia entre el punto 5 y los demás puntos de muestreo dentro de la laguna, lo cual puede deberse a la ubicación del punto de muestreo 5, estando este más alejado de fuentes de contaminación.

Tabla LI. **Resumen estadístico descriptivo del parámetro sólidos disueltos totales a 1 metro de profundidad**

<i>Estadística descriptiva de sólidos disueltos totales a 1 m de profundidad</i>	
Media	187,66
Error típico	2,814
Mediana	174
Moda	173
Desviación estándar	19,899
Varianza de la muestra	395,984
Curtosis	-0,215
Coefficiente de asimetría	0,971
Rango	64
Mínimo	169
Máximo	233
Suma	9383
Datos válidos	50

Fuente: elaboración propia.

Figura 15. **Histograma de los sólidos disueltos totales medidos *in situ* a una profundidad de 1 m**



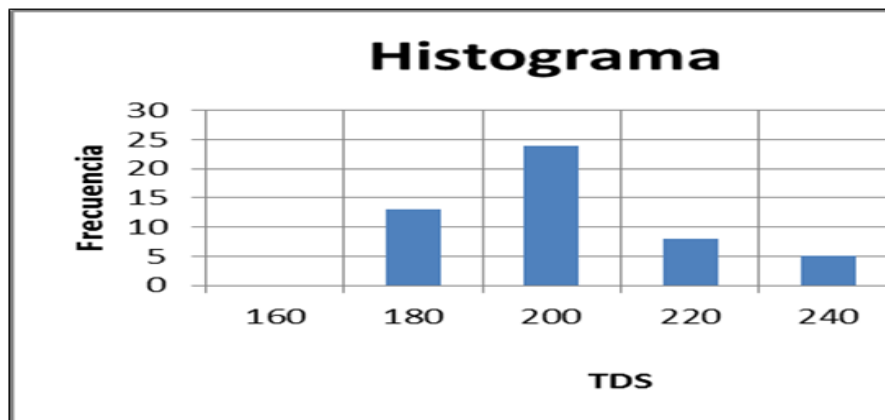
Fuente: elaboración propia.

Tabla LII. **Resumen estadístico descriptivo del parámetro sólidos disueltos totales a 10 metros de profundidad**

<i>Estadística descriptiva de sólidos disueltos totales a 10 m de profundidad</i>	
Media	193,94
Error típico	2,38813564
Mediana	187
Moda	180
Desviación estándar	16,8866691
Varianza de la muestra	285,159592
Curtosis	0,10841695
Coefficiente de asimetría	1,08497364
Rango	58
Mínimo	175
Máximo	233
Suma	9697
Datos válidos	50

Fuente: elaboración propia.

Figura 16. **Histograma de los sólidos disueltos totales medidos *in situ* a una profundidad de 10 m**



Fuente: elaboración propia.

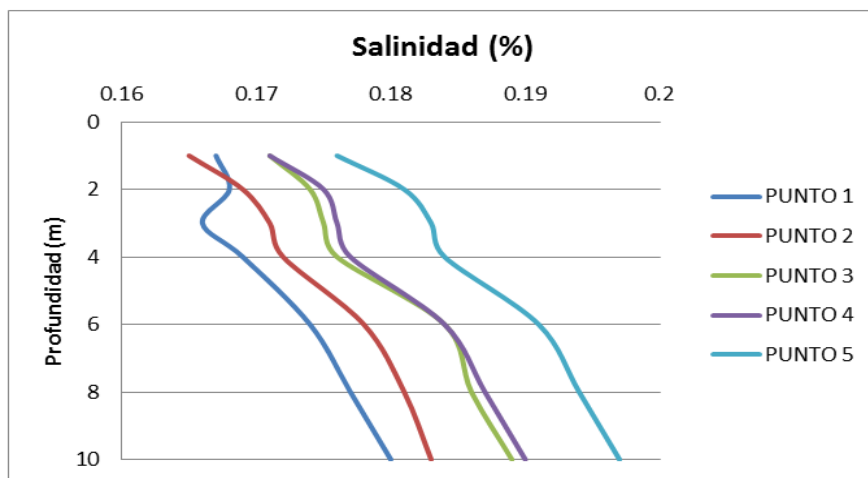
Como se puede observar en las gráficas y estadísticas, los sólidos disueltos totales se mantienen sin mayor variación en el cuerpo de agua de la Laguna de Calderas.

5.1.5. Salinidad

La salinidad es un parámetro físico que indica el contenido de sales minerales disueltas en un cuerpo de agua, por lo que está directamente relacionado con la cantidad de sólidos disueltos totales en el agua y la conductividad eléctrica.

A continuación, se presenta el perfil estratigráfico del parámetro de salinidad medida *in situ* en la Laguna de Calderas, en donde se puede ver que se obtuvieron resultados bajos de salinidad que corresponden también a la medida de conductividad eléctrica y TDS mostradas anteriormente.

Figura 17. Perfil estratigráfico de los promedios de la salinidad



Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con los datos obtenidos, y como se puede observar en la siguiente tabla, el agua de la Laguna de Calderas es considerada como agua salobre.

Tabla LIII. **Clasificación del agua según su salinidad**

Agua dulce	Agua salobre	Agua de mar	Salmuera
< 0,05 %	0,05 – 3 %	3 – 5 %	> 5 %
< 0,5 g/L	0,5 – 30 g/L	30 – 50 g/L	> 50 g/L

Fuente: Ocean Eng., *Escala práctica de salinidad 1978 y sus antecedentes*, p. 25.

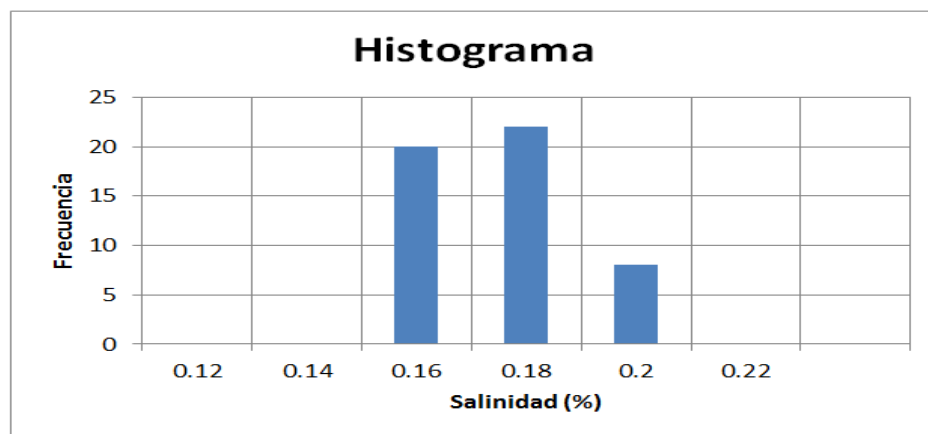
A continuación se presentan las tablas de estadística descriptiva de la salinidad del agua de la Laguna de Calderas a 1 metro y a 10 metros de profundidad, así como los histogramas de las mismas profundidades.

Tabla LIV. **Resumen estadístico descriptivo del parámetro salinidad a 1 metro de profundidad**

<i>Estadística descriptiva de salinidad a 1 m de profundidad</i>	
Media	0,17
Error típico	0,0019
Mediana	0,17
Moda	0,17
Desviación estándar	0,0136
Varianza de la muestra	0,0002
Curtosis	-0,2799
Coefficiente de asimetría	0,5124
Rango	0,05
Mínimo	0,15
Máximo	0,2
Suma	8,5
Datos válidos	50

Fuente: elaboración propia.

Figura 18. **Histograma de la salinidad medida *in situ* a una profundidad de 1 m**



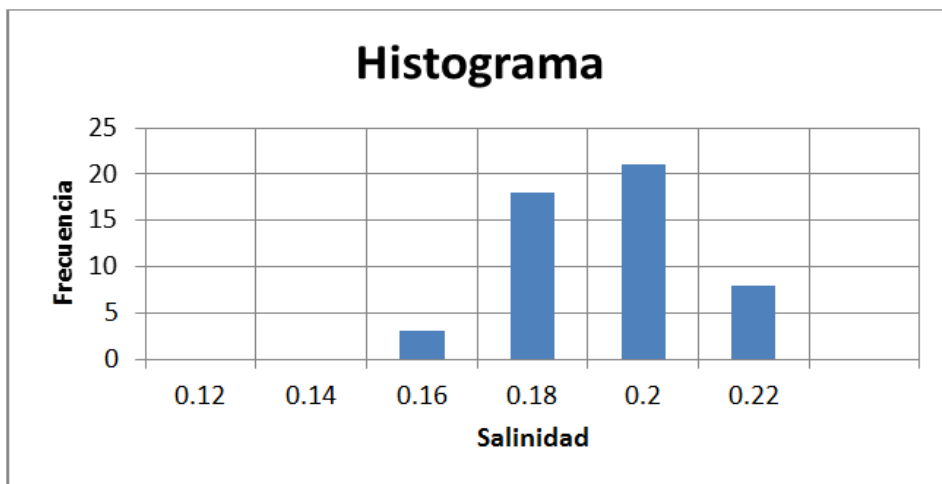
Fuente: elaboración propia.

Tabla LV. **Resumen estadístico descriptivo del parámetro salinidad a 10 metros de profundidad**

<i>Estadística descriptiva de salinidad a 10 m de profundidad</i>	
Media	0,1878
Error típico	0,0020
Mediana	0,19
Moda	0,19
Desviación estándar	0,0142
Varianza de la muestra	0,0002
Curtosis	-0,6196
Coficiente de asimetría	-0,0403
Rango	0,05
Mínimo	0,16
Máximo	0,21
Suma	9,39
Datos válidos	50

Fuente: elaboración propia.

Figura 19. **Histograma de la salinidad medida *in situ* a una profundidad de 10 m**



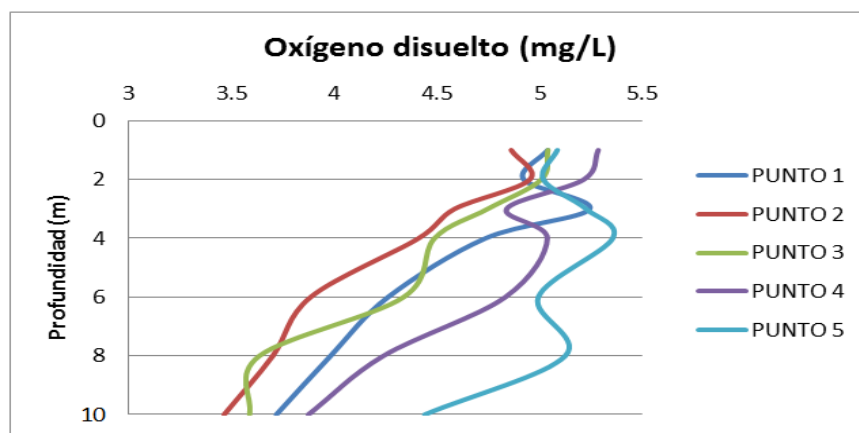
Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar en las tablas y figuras anteriores, la salinidad del agua de la Laguna de Calderas se mantiene en valores muy cercanos a distintas profundidades. La media, la moda y la mediana tiene un valor igual en cada una de las profundidades estudiadas y a la vez muy cercano en ambas profundidades mostradas.

5.1.6. Oxígeno disuelto

Es un indicador de cuán contaminada está el agua o de lo bien que puede dar soporte esta agua a la vida vegetal y animal. Los valores que se consideran normales de oxígeno disuelto en un cuerpo de agua para que exista vida acuática son de 7 a 8 mg/L. Los datos recabados en la Laguna de Calderas dan valores que oscilan entre 5,46 y 3,46 mg/L, estos valores indican que el agua de la laguna está en proceso de deterioro, permitiendo así poca vida animal o vegetal. A continuación se presenta un perfil estratigráfico del parámetro de oxígeno disuelto en el agua de la Laguna de Calderas.

Figura 20. Perfil estratigráfico de los promedios del oxígeno disuelto



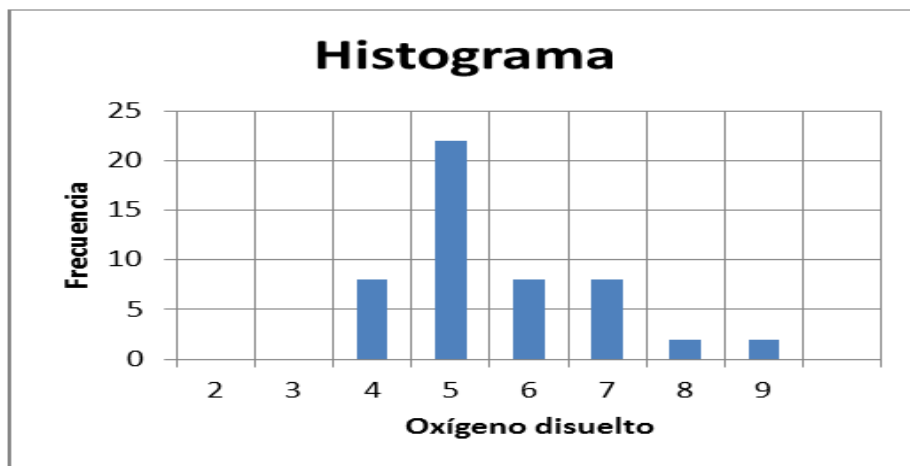
Fuente: elaboración propia

Tabla LVI. **Resumen estadístico descriptivo del parámetro oxígeno disuelto a 1 metro de profundidad**

<i>Estadística descriptiva de oxígeno disuelto a 1 m de profundidad</i>	
Media	5,0622
Error típico	0,18707224
Mediana	4,67
Moda	4,26
Desviación estándar	1,32280051
Varianza de la muestra	1,74980118
Curtosis	0,51043744
Coefficiente de asimetría	0,91401261
Rango	5,78
Mínimo	3,1
Máximo	8,88
Suma	253,11
Datos válidos	50

Fuente: elaboración propia.

Figura 21. **Histograma del oxígeno disuelto medido *in situ* a una profundidad de 1 m**



Fuente: elaboración propia.

Tabla LVII. **Resumen estadístico descriptivo del parámetro oxígeno disuelto a 10 metros de profundidad**

<i>Estadística descriptiva de oxígeno disuelto a 10 m de profundidad</i>	
Media	3,8168
Error típico	0,17627702
Mediana	3,42
Moda	3
Desviación estándar	1,24646675
Varianza de la muestra	1,55367935
Curtosis	12,2981893
Coficiente de asimetría	3,10030464
Rango	7,5
Mínimo	2,5
Máximo	10
Suma	190,84
Datos válidos	50

Fuente: elaboración propia.

Figura 22. **Histograma del oxígeno disuelto medido *in situ* a una profundidad de 10 m**



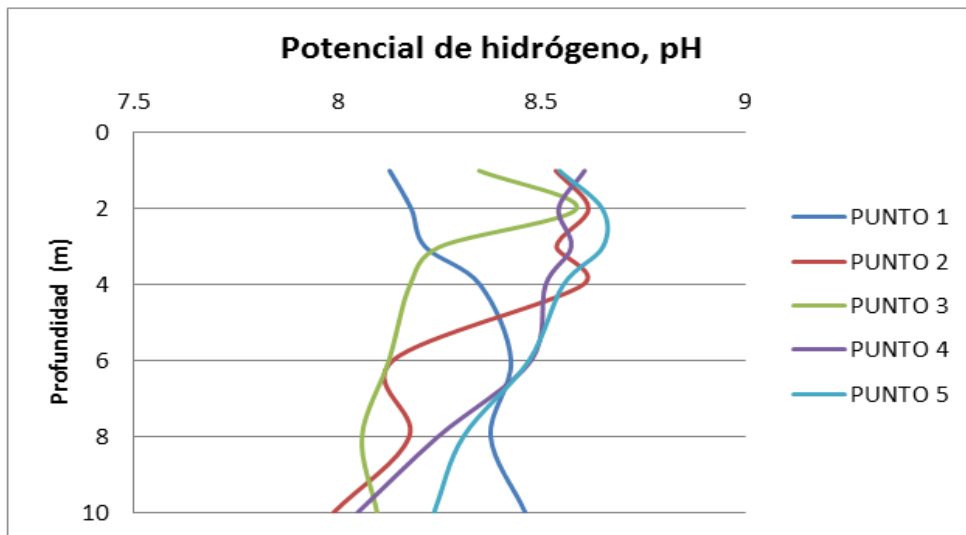
Fuente: elaboración propia.

5.1.7. Potencial de hidrógeno

Es una medida de acidez o alcalinidad en el agua y está relacionado con las condiciones para que exista vida acuática en un cuerpo de agua. Los datos de las mediciones de pH muestran que el agua de la Laguna de Calderas se mantiene alrededor de 8, tanto a 1 metro de profundidad como a 10 metros. Esto indica que es un agua alcalina pero dentro de los valores considerados normales para un cuerpo de agua dulce y que tiene condiciones para la vida acuática.

A continuación, se muestra el perfil estratigráfico de los promedios de pH en los distintos puntos de muestreo a diferentes profundidades, así como la estadística descriptiva y los histogramas, a 1 metro y a 10 metros de profundidad.

Figura 23. Perfil estratigráfico de los promedios de pH



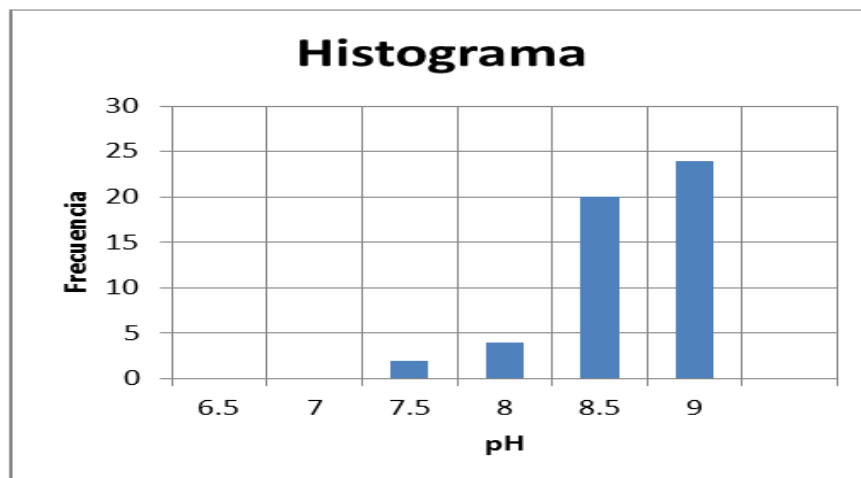
Fuente: elaboración propia.

Tabla LVIII. **Resumen estadístico descriptivo del parámetro pH a 1 metro de profundidad**

<i>Estadística descriptiva de pH a 1 m de profundidad</i>	
Media	8,4328
Error típico	0,05184674
Mediana	8,44
Moda	8,3
Desviación estándar	0,36661185
Varianza de la muestra	0,13440424
Curtosis	1,60613399
	-
Coefficiente de asimetría	1,04254966
Rango	1,8
Mínimo	7,2
Máximo	9
Suma	421,64
Datos válidos	50

Fuente: elaboración propia.

Figura 24. **Histograma del potencial de hidrógeno medido *in situ* a una profundidad de 1 m**



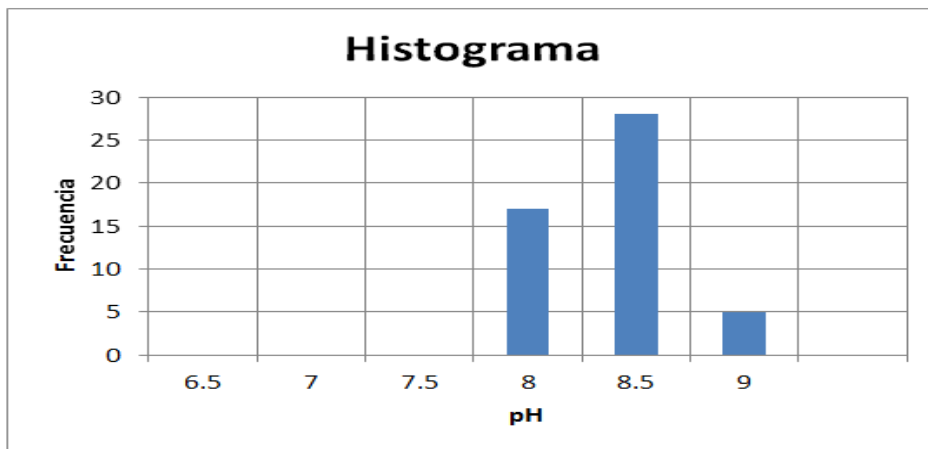
Fuente: elaboración propia.

Tabla LIX. **Resumen estadístico descriptivo del parámetro pH a 10 metros de profundidad**

<i>Estadística descriptiva de pH a 10m de profundidad</i>	
Media	8,1668
Error típico	0,04498384
Mediana	8,21
Moda	8,9
Desviación estándar	0,3180838
Varianza de la muestra	0,10117731
Curtosis	0,12415022
Coficiente de asimetría	0,47599054
Rango	1,29
Mínimo	7,61
Máximo	8,9
Suma	408,34
Datos válidos	50

Fuente: elaboración propia.

Figura 25. **Histograma del potencial de hidrógeno medido *in situ* a una profundidad de 10 m**



Fuente: elaboración propia.

5.2. Parámetros determinados en el laboratorio

Es importante mencionar que cada uno de los parámetros determinados en el laboratorio, son confiables, puesto que para obtener los resultados se ejecutaron de forma estricta las instrucciones detalladas en los manuales de química del agua.

5.2.1. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

Es la cantidad de oxígeno disuelto que se requiere para la descomposición de la materia orgánica por los microorganismos transcurridos 5 días y se expresa en miligramos por litro (mg/L). La tabla XLV muestra valores promedio que oscilan de 18 a 27 miligramos por litro (mg/L), lo cual indica presencia de contaminantes orgánicos en el cuerpo de agua.

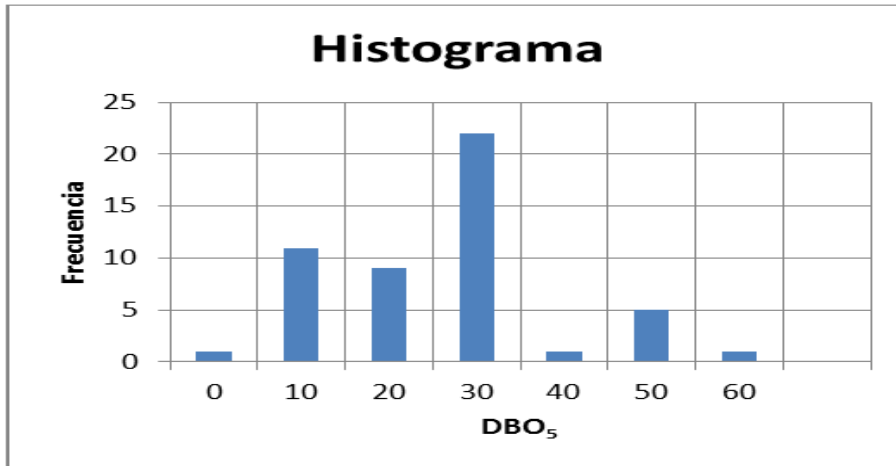
A continuación se presenta el resumen estadístico descriptivo y el histograma de los valores de los 5 puntos de muestreo.

Tabla LX. **Resumen estadístico descriptivo de DBO₅**

<i>Estadística descriptiva DBO₅</i>	
Media	21,6
Error típico	1,742
Mediana	22,667
Moda	25
Desviación estándar	12,316
Varianza de la muestra	151,696
Curtosis	0,356
Coefficiente de asimetría	0,536
Rango	52,667
Mínimo	0
Máximo	52,667
Suma	1080
Datos válidos	50

Fuente: elaboración propia.

Figura 26. **Histograma de DBO₅**



Fuente: elaboración propia.

Los valores de DBO₅ en los 5 puntos de muestreo y en diferentes días de toma de muestras es muy variable, como se ve en la estadística descriptiva, sin embargo, el histograma presenta que los valores de DBO₅ se mantienen entre los 10 y los 30 mg/L.

5.2.2. **Demanda química de oxígeno (DQO)**

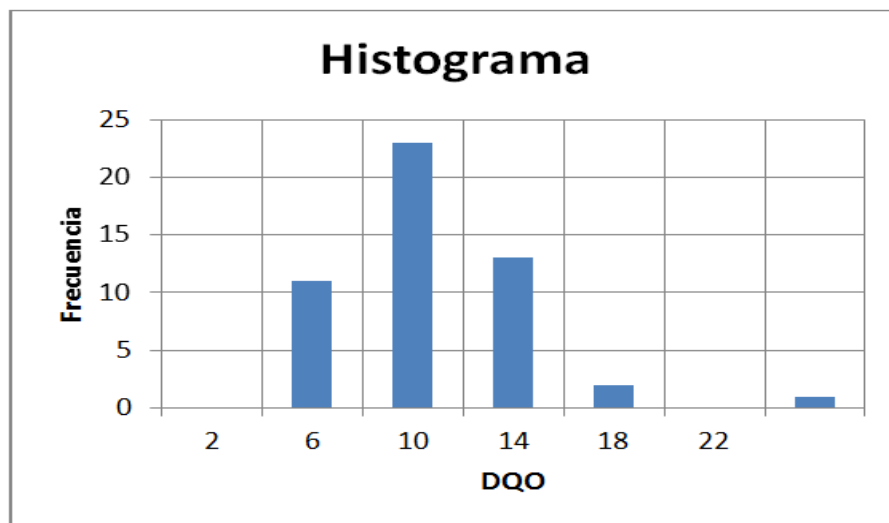
La DQO para la Laguna de Calderas muestra valores que oscilan entre 2,6 y 22,5 mg/L, manteniendo un valor promedio de 8,92 mg/L. En el histograma se puede observar que los valores se mantienen alrededor de los 10mg/L. Esto es un indicador de presencia de contaminación en el agua.

Tabla LXI. **Resumen estadístico descriptivo de DQO**

<i>Estadística descriptiva DQO</i>	
Media	8,92
Error típico	0,50722132
Mediana	9,35
Moda	9,6
Desviación estándar	3,58659636
Varianza de la muestra	12,8636735
Curtosis	3,39443418
Coefficiente de asimetría	1,16547077
Rango	19,9
Mínimo	2,6
Máximo	22,5
Suma	446
Datos válidos	50

Fuente: elaboración propia.

Figura 27. **Histograma de DQO**



Fuente: elaboración propia.

5.2.3. Fósforo total

La cantidad de fósforo total en el agua es un indicador de presencia de vida acuática, así como también, el exceso del mismo causa desarrollo excesivo de algas y eutrofización del agua. La tabla LXII muestra la clasificación del estado trófico de un sistema lacustre según la OECD, la cual toma como parámetro el valor medio anual del fósforo total en el agua.

Tabla LXII. Valoración del estado trófico según la OECD

Estado trófico	Fósforo total (mg/L)
Ultraoligotrófico	<0.004
Oligotrófico	<0.010
Mesotrófico	0.010 – 0.035
Eutrófico	0.035 – 0.100
Hipereutrófico	>0.100

Fuente: modificado de OCDE (1982).

Tabla LXIII. Resumen estadístico descriptivo de fósforo total

<i>Estadística descriptiva parámetro fósforo total</i>	
Media	0,21
Error típico	0,01253566
Mediana	0,2
Moda	0,2
Desviación estándar	0,08864053
Varianza de la muestra	0,00785714
Curtosis	0,28855284
Coficiente de asimetría	0,53111059
Rango	0,3
Mínimo	0,1
Máximo	0,4
Suma	10,5
Datos válidos	50

Fuente: elaboración propia.

La estadística descriptiva de los datos obtenidos de fósforo total muestran que la Laguna de Calderas se encuentra en estado hipereutrófico, sin embargo, para valores muy bajos de fósforo total es necesario un equipo y reactivos más precisos, con límites de detección más bajos, por lo que no se puede concluir el estado trófico de la Laguna de Calderas basándose exclusivamente en los valores de fósforo total.

5.2.4. Nitrógeno total

Los valores del nitrógeno total contenido en la Laguna de Calderas están por debajo de los 0,6mg/L en todos los puntos de muestreo y los distintos días de toma de muestras, manteniendo un valor promedio de 0,33 mg/L, considerándose un valor bajo, indicando bajos niveles de nutrientes.

Las siguientes tablas relacionan el nivel de eutrofización de un cuerpo de agua con la cantidad de nitrógeno total presente.

Tabla LXIV. **Valoración del estado trófico según criterios de Nürmborg y Suecia**

Clasificación/Criterio	Nitrógeno total (mg/L)	
	Nürmborg	Suecia
Oligotrófico	<0.350	<0.400
Mesotrófico	0.350– 0.650	0.400 – 0.600
Eutrófico	0.651 – 1.200	0.600 – 1.500
Hipereutrófico	>1.200	>1.500

Fuente: ARGUETA MAYORGA, Dennis Salvador. *Caracterización fisicoquímica de la Laguna de Ayarza, ubicada entre los municipios de Casillas y San Rafael las Flores del departamento de Santa Rosa, de la República de Guatemala.* p. 117.

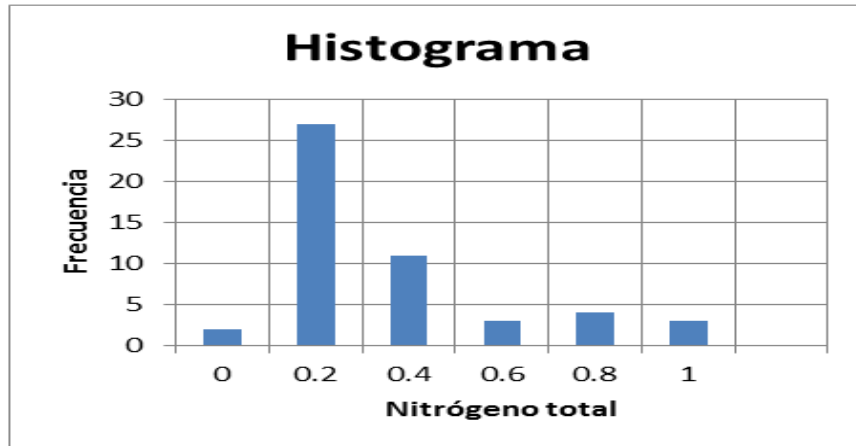
Tabla LXV. **Resumen estadístico descriptivo del nitrógeno total**

<i>Estadística descriptiva de nitrógeno total</i>	
Media	0,33
Error típico	0,034
Mediana	0,2
Moda	0,2
Desviación estándar	0,243
Varianza de la muestra	0,059
Curtosis	0,822
Coefficiente de asimetría	1,259
Rango	1
Mínimo	0
Máximo	1
Suma	16,5
Datos válidos	50

Fuente: elaboración propia.

El valor promedio del nitrógeno total es de 0,33 mg/L, el cual clasifica a la Laguna de Calderas como un cuerpo de agua oligotrófico según ambos criterios, sin embargo, el valor máximo es de un 1mg/L, el cual se encuentra como un cuerpo de agua eutrófico en ambos criterios. Al observar el histograma se puede ver que la mayor parte de los valores obtenidos se encuentran entre 0,2 y 0,4 mg/L, y esto significa que el estado trófico de la Laguna de Calderas según el parámetro de nitrógeno total es de un estado oligotrófico.

Figura 28. **Histograma de nitrógeno total**



Fuente: elaboración propia.

5.2.5. **Sólidos suspendidos totales**

Un alto porcentaje de los sólidos suspendidos es debido a los sólidos disueltos totales en el agua. Los sólidos suspendidos para la Laguna de Calderas varían entre 0,2) y 3 mg/L, y si se comparan estos datos con los obtenidos en la medición de campo de sólidos disueltos totales, se verá que es un porcentaje mínimo.

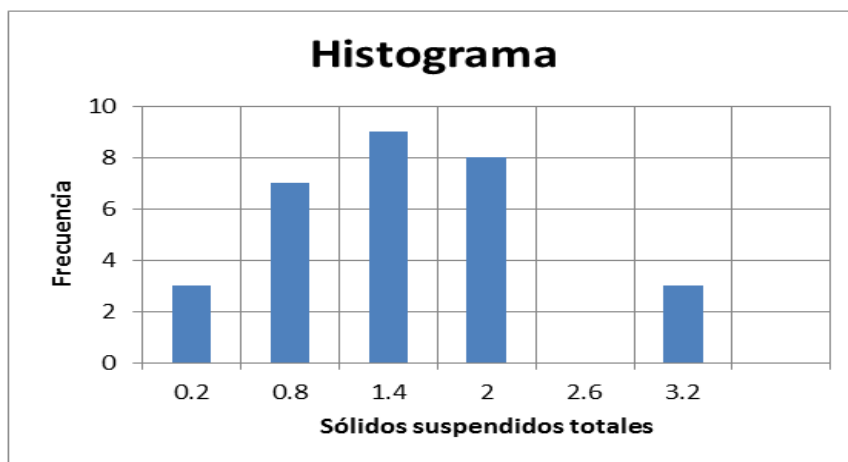
A continuación, se presenta un resumen del análisis estadístico descriptivo de los datos analizados en el Laboratorio de los Sólidos Suspendidos Totales, así como un histograma para visualizar de mejor maneja la variación de los datos.

Tabla LXVI. **Resumen estadístico descriptivo de sólidos suspendidos totales**

<i>Estadística descriptiva para sólidos suspendidos totales</i>	
Media	1,193
Error típico	0,145
Mediana	1
Moda	1
Desviación estándar	0,797
Varianza de la muestra	0,634
Curtosis	0,232
Coficiente de asimetría	0,767
Rango	2,8
Mínimo	0,2
Máximo	3
Suma	35,8
Cuenta	30

Fuente: elaboración propia.

Figura 29. **Histograma de sólidos suspendidos totales**



Fuente: elaboración propia.

5.3. Análisis de correlación de datos

El análisis de correlación de datos se efectuó para para ver la correspondencia o bien la relación recíproca que podrían tener cada uno de los parámetros analizados para el estado trófico de la laguna.

5.3.1. Correlación entre temperatura y oxígeno disuelto

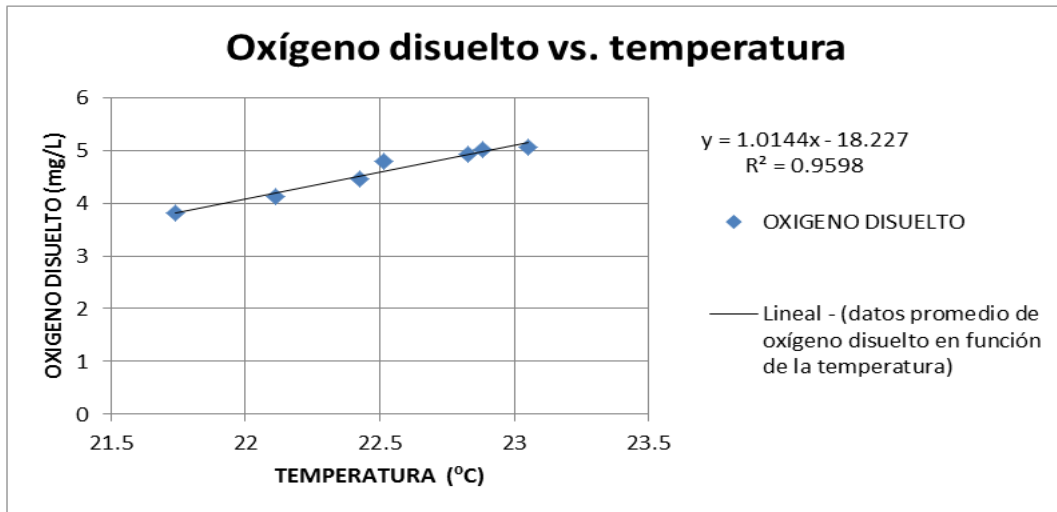
A continuación se presenta una tabla que describe las estadísticas de regresión al analizar el oxígeno disuelto en función de la temperatura. Como se puede observar, el valor de R^2 es alto, lo cual indica que existe correlación directa entre estos dos parámetros.

Tabla LXVII. **Estadísticas de regresión entre los parámetros de temperatura (°C) y oxígeno disuelto (mg/L)**

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,97968816
Coefficiente de determinación R^2	0,95978889
R^2 ajustado	0,95174667
Error típico	0,10570325
Observaciones	7

Fuente: elaboración propia.

Figura 30. **Gráfico de regresión de oxígeno disuelto en función de la temperatura**



Fuente: elaboración propia.

5.3.2. **Correlación entre transparencia y nitrógeno total**

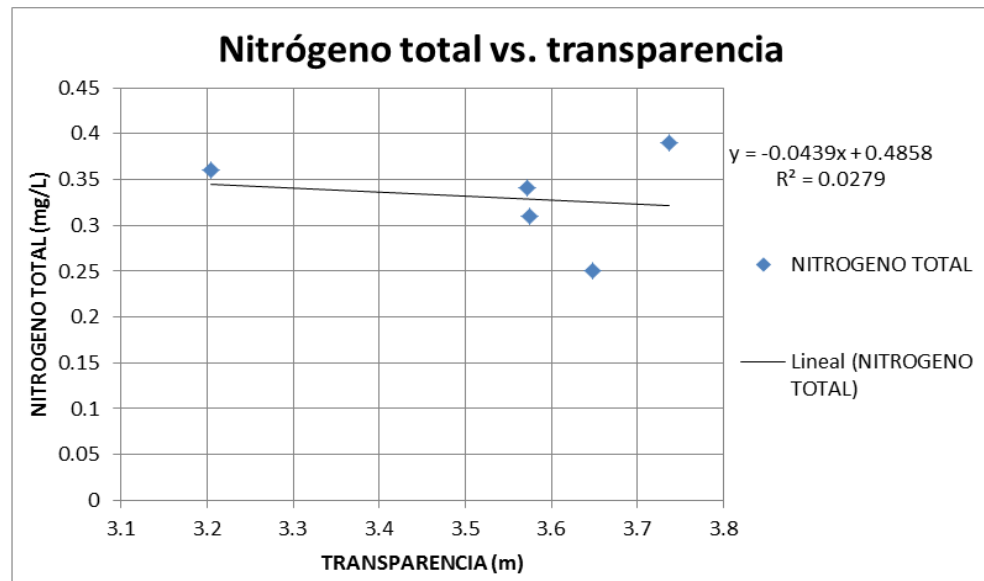
Se observa la siguiente tabla, el coeficiente R^2 tiene un valor muy bajo, lo cual indica que no existe correlación entre los parámetros de transparencia y nitrógeno total.

Tabla LXVIII. **Estadísticas de regresión entre los parámetros de nitrógeno total (mg/L) y transparencia (m)**

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0,1671179
Coeficiente de determinación R ²	0,02792839
R ² ajustado	-0,29609548
Error típico	0,06077723
Observaciones	5

Fuente: elaboración propia.

Figura 31. **Gráfico de regresión de nitrógeno total en función de la transparencia**



Fuente: elaboración propia.

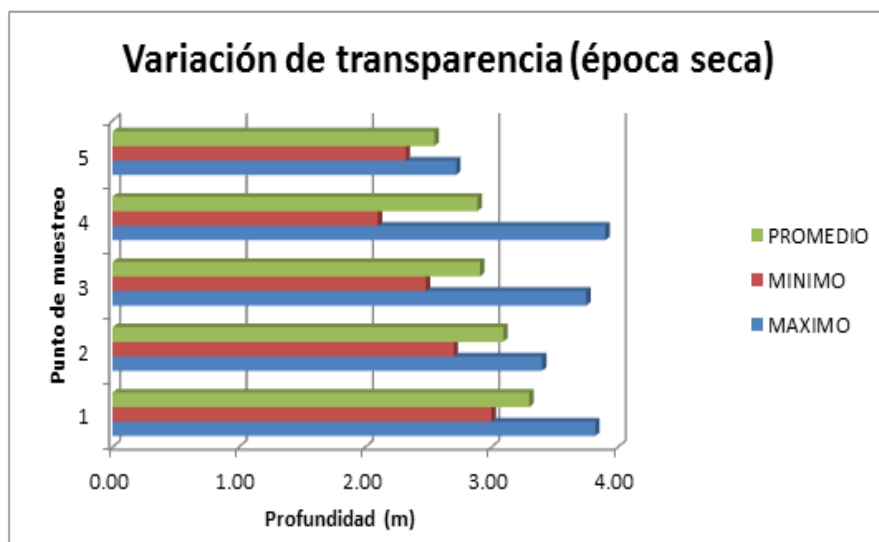
5.4. Análisis comparativo de época seca con época lluviosa

La comparación entre ambas épocas surge por los diferentes factores que intervienen en cada una conforme a las condiciones climáticas, y la fluctuación que puede haber entre los resultados debido a dichas condiciones.

5.4.1 Análisis de transparencia

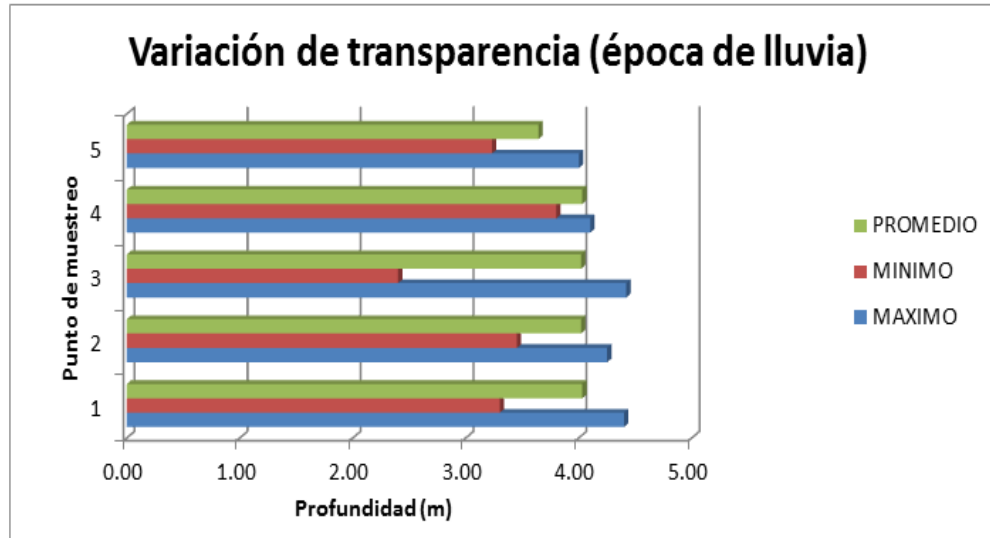
A continuación se presentan las figuras 32 y 33 en las cuales se puede observar que en época seca la transparencia es menor, esta oscila entre 2,5 a 3,5 metros, mientras que para la época lluviosa la misma oscila entre 3,5 a 4 metros. Se puede observar que para la época de lluvia la transparencia aumenta, esto debido a la cantidad de lluvia que ingresa a la laguna provocada únicamente por la precipitación.

Figura 32. Transparencia en época seca



Fuente: elaboración propia.

Figura 33. **Transparencia en época de lluvia**



Fuente: elaboración propia.

5.4.2. **Análisis de fósforo total**

A continuación, se presentan las tablas LXIX y LXX en las cuales se puede observar que el valor del fósforo para ambas épocas no varía de forma extrema; sin embargo, en las épocas se puede catalogar la Laguna de Calderas en un estado hipereutrófico, anteriormente se indicó para valores muy bajos de fósforo total, que es necesario un equipo y reactivos más precisos.

Tabla LXIX. **Estadísticas del parámetro de fósforo total (mg/L) en época seca**

*Estadística descriptiva parámetro
fósforo total época seca*

Media	0,225
Error típico	0,02161262
Mediana	0,2
Moda	0,2
Desviación estándar	0,09665457
Varianza de la muestra	0,00934211
Curtosis	-0,81678472
Coefficiente de asimetría	0,21858006
Rango	0,3
Mínimo	0,1
Máximo	0,4
Suma	4,5
Cuenta	20

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXX. **Estadísticas del parámetro de fósforo total (mg/L) en época de lluvia**

*Estadística descriptiva parámetro
fósforo total época de lluvia*

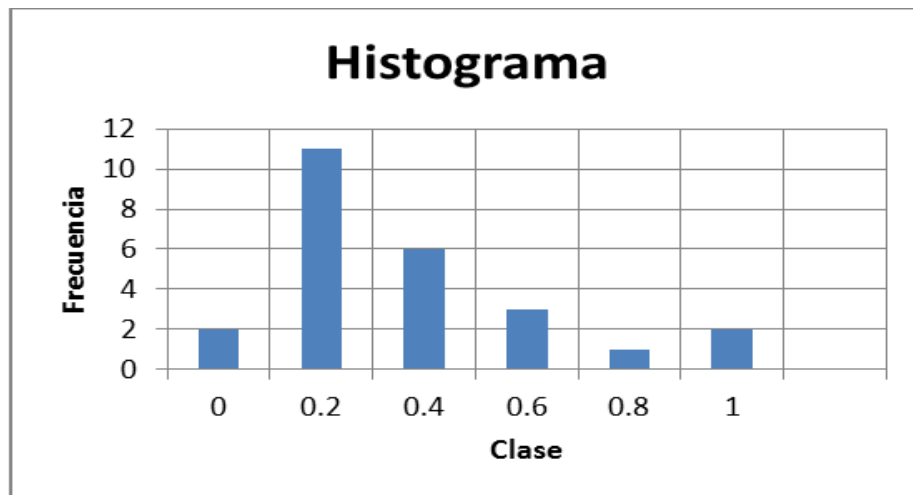
Media	0,2
Error típico	0,01516196
Mediana	0,2
Moda	0,2
Desviación estándar	0,08304548
Varianza de la muestra	0,00689655
Curtosis	0,58690476
Coefficiente de asimetría	0,77410251
Rango	0,3
Mínimo	0,1
Máximo	0,4
Suma	6
Cuenta	30

Fuente: elaboración propia.

5.4.3. Analisis de nitrógeno total

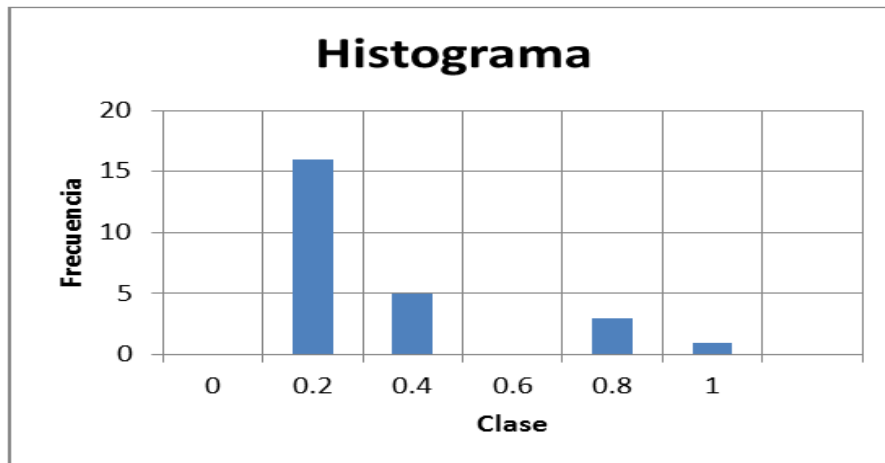
A continuación, se presentan las figuras 34 y 35 en las cuales se observa que el valor del nitrógeno total en época seca la frecuencia de las muestras está en 0,2 mg/L; mientras que en época lluviosa la frecuencia de las muestras está, tanto en 0,2 y en 0,4 mg/L.

Figura 34. Nitrógeno total en época seca



Fuente: elaboración propia.

Figura 35. **Nitrógeno total en época de lluvia**



Fuente: elaboración propia.

5.5. Análisis trófico conforme a la época

Tomando en cuenta que las condiciones climáticas en ambas épocas son distintas, se procedió a realizar un análisis trófico, dicho análisis es solamente para efectos de apreciación de las variaciones.

5.5.1. Análisis trófico en época seca

Conforme a los resultados obtenidos para la época seca, los cuales fueron presentados con anterioridad, se demuestra que la Laguna de Calderas está en estado oligotrófico, dado a que conforme a la tabla LXIV no supera en promedio los 0,35) mg/L para ambos criterios (Nümborg y Suecia); y que el promedio de la época seca es de 0,32 mg/L.

5.5.2. Análisis trófico en época de lluvia

Acorde a los resultados obtenidos para la época de lluvia, los cuales fueron presentados con anterioridad, se demuestra que la Laguna de Calderas está en estado oligotrófico, dado a que conforme a la tabla LXIV no supera en promedio los 0,35 mg/L para ambos criterios (Nümborg y Suecia); y que el promedio de la época de lluvia es de 0,34 mg/L. Pero es importante hacer notar que en época de lluvia la concentración de nitrógeno total en la laguna aumenta, esto es debido al arrastre de sedimentos que se tiene de los alrededores provocados por la lluvia.

CONCLUSIONES

1. El nivel trófico de la Laguna de Calderas se encuentra dentro del rango de estado oligotrófico según los criterios de la OCDE, Nürmberg y Suecia; por lo que la hipótesis se comprueba.
2. De acuerdo a los valores obtenidos *in situ*, la Laguna de Calderas se puede clasificar como un lago oligomíctico, según su temperatura media (22,95 °C), el valor medio de salinidad es de 0,17 %, por lo que se clasifica como un lago tipo salobre y su valor medio de pH es de 8,1, convirtiéndolo en un cuerpo de agua alcalino.
3. Los valores medios obtenidos de demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) 21,6 mg/L y demanda química de oxígeno (DQO) 8,921 mg/L son bajos, e indican que el agua de la Laguna de Calderas está levemente contaminada por sustancias de origen orgánico.
4. Según el valor de transparencia obtenido *in situ*, y el valor promedio de nitrógeno total 0,33 mg/L, los criterios de Nürmberg colocan a la laguna en un nivel oligotrófico.
5. El estado oligotrófico de la Laguna de Calderas y los valores de los parámetros físicos y químicos evaluados, permiten que el agua de la laguna puede ser utilizada con el tratamiento adecuado para cada uso.

RECOMENDACIONES

1. A la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS), se dé seguimiento y actualización a los datos generados en esta investigación, monitorear las variables por períodos largos y realizar estudios de fitoplancton, contaminación de las aguas subterráneas, evaluaciones de la contaminación por escorrentía, arrastre de partículas entre otros, de tal forma que se tenga una información actualizada, completa y confiable, que permita el manejo óptimo del recurso hídrico en nuestro país.
2. A las autoridades encargadas del manejo sostenible de la Laguna de Calderas, planificar y gestionar el uso del suelo de la microcuenca de la laguna, dado que por irrigación, erosión y disposición de aguas de drenaje se contamina con exceso de nutrientes (N y P) el agua contenida dentro de la laguna.
3. Para poder dar un dictamen oficial sobre el estado trófico de la laguna, realizar un análisis de clorofila, así como un análisis de fósforo total con métodos (instrumentación y reactivos) que logren detectar valores reales (valores bajos) del contenido de estos parámetros, debido a que no fue determinado en esta tesis.
4. La Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y de Recursos Hidráulicos (ERIS) de la Universidad de San Carlos de Guatemala debe promover la investigación multidisciplinaria en los sistemas lénticos en Guatemala, en los que se carece de información del estado de calidad del agua.

BIBLIOGRAFÍA

1. ARGUETA, Dennis. *Caracterización fisicoquímica de la Laguna de Ayarza, ubicada entre los municipios de Casillas y San Rafael Las Flores del departamento de Santa Rosa, de la República de Guatemala*. Tesis Magíster MSc. Ingeniería Sanitaria (ERIS) Universidad de San Carlos de Guatemala. 2011. 176 p.
2. CASTAÑEDA, César. *Sistemas lacustres de Guatemala*. Universidad de San Carlos de Guatemala. Editorial Universitaria, 1995. 196 p.
3. _____. *Deterioro y desaparición de lagos y lagunas en Guatemala*. Guatemala: Centro de Estudios Urbanos y Regionales, 1989. 15 p. Vol. Núm. 4.
4. Cátedra de Limnología. *Guía de trabajos prácticos*. Departamento de Ecología, Genética y Evolución, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires, Argentina 2006. 159 p.
5. Centro de Investigaciones de Ingeniería. *Análisis inventarial primario de las investigaciones limnológicas realizadas por la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1980. 15 p.

6. CHONAY, Carlos, et al. *Estudio limnológico de la Laguna de Ayarza, San Rafael Las Flores, Santa Rosa. Problema Especial I y II.* Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Centro de Estudios del Mar y Acuicultura, 2002. 72 p.
7. COLOMA, S. *Identificación del nivel trófico de la Laguna de Calderas y biodiversidad biológica de la misma, estudio 1997-1998. Problema especial I.* Centro de Estudios del Mar y Acuicultura, 1998. 97 p.
8. Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria. *Eutrofización el Lago de Amatitlán.* Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1981. 13 p.
9. LÓPEZ PAREDES, Luis Arturo. *Estudio limnológico del Lago de Guija, determinación de su estado de eutrofización.* Tesis de Maestría en Ciencia y Tecnología del Medio Ambiente. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2008. 87 p.
10. MARROQUÍN GUERRA, Estrella de Lourdes. *Determinación de variables físicas, químicas y biológicas del recurso hídrico de la Laguna de Calderas.* Tesis de Maestría en Ciencia y Tecnología del Medio Ambiente. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2008. 64 p.
11. MORENO FRANCO, Paola; QUINTERO, Jacqueline; LÓPEZ, Armando. *Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia.* Artículo científico, 2010. 12 p.

12. MUCH SANTOS, Zenón. *Manual del laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria*. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2009. 73 p.
13. ONGLEY, E. D. *Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos*. Canadá. Canada Centre for Inland Waters, FAO, 1997. 116 p.
14. ORTEGA, Irene. *Estimación de la carga contaminante y el volumen de sedimento en la Laguna de Ayarza*. Tesis Magíster MSc. Ingeniería Sanitaria (ERIS), 2010. 78 p.
15. POSADA, José; ROLDAN, Gabriel; RAMÍREZ, John. *Caracterización fisicoquímica y biológica de la calidad de aguas de la cuenca de la quebrada Piedras Blancas, Antioquía Colombia*. Rev. Biol. Trop. 2000, vol. 48, núm. 1, p. 59-70. 98 p.
16. Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS). *Reporte Laguna de Calderas*. Universidad de San Carlos de Guatemala, 2011. 27 p.
17. Centro de Investigaciones de Ingeniería. *Revista Científica*, 2005. 51 p.
18. SAMPIERI, R.; COLLADO, C. F.; LUCIO, P. B. *Metodología de la investigación*. 4ª ed. México, D. F: McGraw-Hill Interamericana, S. A. 839 p.
19. SARAIVIA, Pedro. *Contaminación de agua*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, 2007. 110 p.

20. VOLLENWEIDER, R. A. *Directrices para la gestión de lagos*.
International Lake Environment Committee Foundation (PNUMA).
425 p.

ANEXOS

Anexo A: marco legal relacionado con la protección del recurso hídrico en Guatemala

En este anexo se presenta el resumen del marco legal aplicable a la conservación y protección del recurso hídrico.

Se debe partir de la primicia que la laguna de Ayarza es un área de protección especial (Artículo 90 del Decreto número 4-89 “Ley de Áreas Protegidas”).

A continuación se presentan los artículos más relevantes, en cuanto al manejo de sistemas hídricos (y su entorno) se refiere, y sus respectivas leyes que los contienen:

Constitución Política de la República de Guatemala

Artículo 97.- Medio ambiente y equilibrio ecológico. El Estado, las municipalidades y los habitantes del territorio nacional están obligados a propiciar el desarrollo social, económico y tecnológico que prevenga la contaminación del ambiente y mantenga el equilibrio ecológico. Se dictarán todas las normas necesarias para garantizar que la utilización y el aprovechamiento de la fauna, de la flora, de la tierra y del agua, se realicen racionalmente, evitando su depredación.

Artículo 127.- Régimen de aguas. Todas las aguas son bienes de dominio público, inalienables e imprescriptibles. Su aprovechamiento, uso y goce, se otorgan en la forma establecida por la ley, de acuerdo con el interés social. Una ley específica regulará esta materia.

Artículo 128.- Aprovechamiento de aguas, lagos y ríos. El aprovechamiento de las aguas de los lagos y de los ríos, para fines agrícolas, agropecuarios, turísticos o de cualquier otra naturaleza, que contribuya al desarrollo de la economía nacional, está al servicios de la comunidad y no de persona particular alguna, pero los usuarios están obligados a reforestar las riberas y los cauces correspondientes, así como a facilitar las vías de acceso.

Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente

Artículo 1.- El Estado, las municipalidades y los habitantes del territorio Nacional, propiciarán el desarrollo social, económico y tecnológico que prevenga la contaminación del medio ambiente y mantenga el equilibrio ecológico. Por lo tanto, la utilización y el aprovechamiento de la fauna, de la flora, suelo, subsuelo y el agua, deberán realizarse racionalmente.

Artículo 12.- Son objetivos específicos de la ley, los siguientes: (incisos a, f, h)

a) La protección, conservación y mejoramiento de los recursos naturales del país, así como la prevención del deterioro y mal uso o destrucción de los mismos, y la restauración del medio ambiente en general.

f) El uso integral u manejo racional de las cuencas y sistemas hídricos.

h) Salvar y restaurar aquellos cuerpos de aguas que estén amenazados o en grave peligro de extinción.

Artículo 15.- El Gobierno velará por el mantenimiento de la cantidad del agua para el uso humano y otras actividades cuyo empleo sea indispensable, por lo que emitirá las disposiciones que sean necesarias y los reglamentos correspondientes para: (incisos a, b, e, f, g, i)

- a) Evaluar la calidad de las aguas y sus posibilidades de aprovechamiento, mediante análisis periódico sobre sus características físicas, químicas y biológicas.
- b) Ejercer control para que el aprovechamiento y uso de las aguas no cause deterioro ambiental.
- e) Promover y fomentar la investigación y el análisis permanente de las aguas interiores, litorales u oceánicas, que constituyan la zona económica receptora, de acuerdo a las normas de calidad del agua.
- f) Promover el uso integral y el manejo racional de cuencas hídricas, manantiales y fuentes de abastecimiento de aguas.
- g) Investigar y controlar cualquier causa o fuente de contaminación hídrica para asegurar la conservación de los ciclos biológicos y el normal desarrollo de las especies.
- i) Prevenir, controlar y determinar los niveles de contaminación de los ríos, lagos y mares de Guatemala.

Ley de Áreas Protegidas

Artículo 7.- Áreas protegidas. Son áreas protegidas, incluidas sus respectivas zonas de amortiguamiento, las que tienen por objeto la conservación, el manejo racional y la restauración de la flora y fauna silvestre, recursos conexos y sus interacciones naturales y culturales, que tengan alta significación por su función o sus valores gen éticos, históricos, escénicos, recreativos, arqueológicos y protectores, de tal manera de preservar el estado natural de las comunidades bióticas, de los fenómenos geomorfológicos únicos, de las fuentes y suministros de agua, de las cuencas críticas de los ríos de las zonas protectoras de los suelos agrícolas, de tal modo de mantener opciones de desarrollo sostenible.

Artículo 58.- Turismo. El Instituto Guatemalteco de Turismo (INGUAT), el Instituto de Antropología e Historia y el Consejo Nacional de Áreas Protegidas se coordinarán estrechamente a través de sus respectivas direcciones, para compatibilizar y optimizar el desarrollo de las áreas protegidas y la conservación del paisaje y los recursos naturales y culturales con el desarrollo de la actividad turística.

Artículo 90.- Áreas de Protección Especial: Se declaran áreas de protección especial las siguientes: (numeral 41)

Código Penal

Artículo 346.- Quien, sin estar debidamente autorizado, explotare comercialmente los recursos naturales contenidos en el mar territorial y la plataforma submarina, así como en los ríos y lagos nacionales, será sancionado con prisión de uno a tres años y multa de quinientos a cinco mil quetzales. Quedan exceptuados quienes pesquen o cacen, ocasionalmente, por deporte o para alimentar a su familia.

Artículo 347 “A”.- Será sancionado con prisión de uno a dos años, y multa de trescientos a cinco mil quetzales, el que contaminare el aire, el suelo o las aguas, mediante emanaciones tóxicas, ruidos excesivos vertiendo sustancias peligrosas o desechando productos que puedan perjudicar a las personas, a los animales, bosques o plantaciones.

Si la contaminación se produce en forma culposa, se impondrá multa de doscientos a mil quinientos quetzales.

Anexo B: caracterización fisicoquímica en cuerpos lénticos

Diseño de estudios limnológicos

Evaluación preliminar

El primer paso para iniciar un estudio limnológico, consiste en realizar una extensa documentación bibliográfica referente al lugar del estudio, valorando aspectos generales relativos a fotografías aéreas, cartografía, hidrografía, evaluaciones sociales o económicas, estudios ecológicos terrestres o acuáticos hechos con antelación.

Elección de variables físicas y químicas

Las variables físicas y químicas que describen las características generales de la calidad de las aguas y que suelen incluirse en estudios limnológicos son: conductividad, alcalinidad, dureza, oxígeno disuelto, coliformes totales y fecales, DBO, DQO, sólidos suspendidos y disueltos, fósforo, ortofosfatos, nitratos, nitritos, amonio, temperatura, pH y caudal, entre otras.

Otras variables importantes pero medidas con menor frecuencia son calcio, magnesio, sodio, potasio, cloruros y sulfatos. Variables específicas son aquellas que obedecen a un criterio de contaminación derivado de una actividad antropogénica particular: metales pesados, hidrocarburos, detergentes (tensoactivos), pesticidas, materia orgánica, u otras.

Para el presente estudio se tomaron las siguientes variables físicas y químicas:

- **Transparencia**

Al propagarse en un medio acuoso, la luz se extingue por fenómenos de absorción y dispersión. El agua pura interacciona con la luz y contribuye a su extinción, pero si se considera además las sustancias que se encuentren disueltas y las partículas en suspensión, es lógico afirmar que los sistemas acuáticos presentarán una zona iluminada en su superficie, tornándose cada vez más oscura en función del aumento de la profundidad, el color y turbidez del agua.

La luz del sol proporciona la energía para la fotosíntesis. La transparencia decrece a medida que el color, los sedimentos en suspensión o la abundancia de las algas aumentan. El agua toma el color por la presencia y la acción de algunas bacterias, fitoplancton y otros organismos, o por los químicos vertidos por el suelo o por la materia vegetal en descomposición. Por tanto, la cantidad de nutrientes vegetales que llegan a un cuerpo acuático desde fuentes como plantas de tratamiento de desechos, tanques sépticos, arrastre de fertilizantes y restos de plantas traídas por el viento y el agua, afectan a la transparencia.

Normalmente se utilizan dos métodos para medir la transparencia o el grado de penetración de la luz en el agua: el disco Secchi y el tubo de turbiedad.

- **Metodología para la determinación de la transparencia con disco Secchi**

La metodología más común involucra la utilización del disco de Secchi, un disco de 20 cm de diámetro, dividido en cuadrantes pintados alternadamente de negro y blanco, atado a una cuerda graduada (ver figura a).

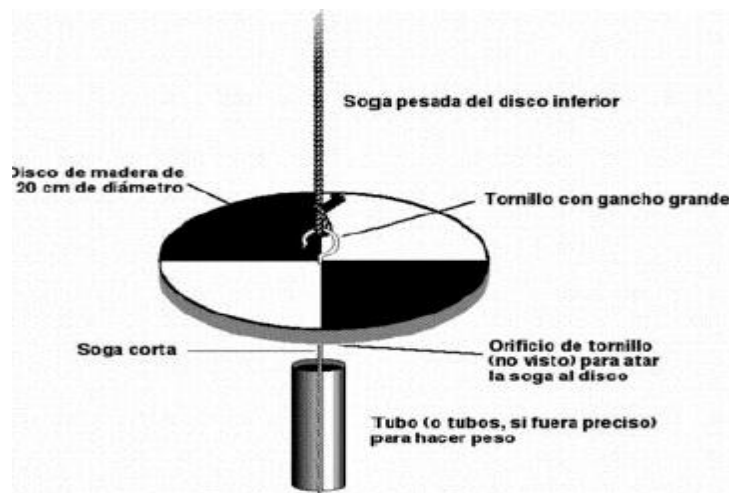
Figura a. **Disco Secchi utilizado para medir transparencia**



Fuente: elaboración propia

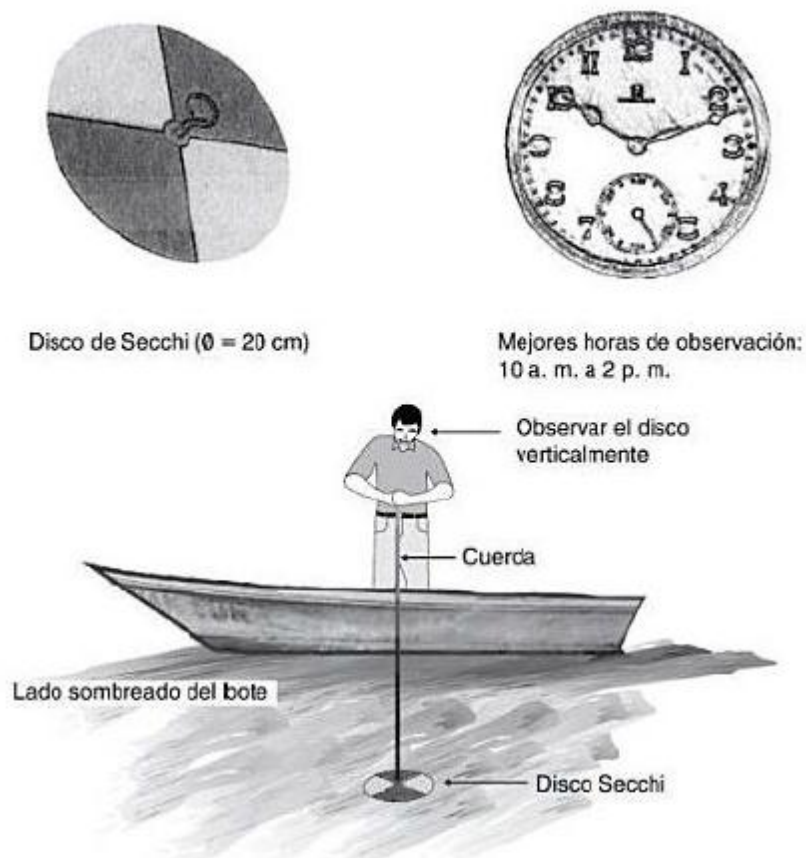
El disco se sumerge del lado sombreado de la embarcación hasta que deja de verse, se registra la profundidad y vuelve a subirse hasta que nuevamente se haga visible. Luego se promedian estas dos medidas (desaparición del disco descendiendo y aparición en ascenso) para obtener una medida dependiente de la transparencia del agua.

Figura b. **Fabricación del disco Secchi**



Fuente: ARGUETA MAYORGA, Dennis Salvador. *Caracterización fisicoquímica de la laguna de Ayarza, ubicada entre los municipios de Casillas y San Rafael las Flores del departamento de Santa Rosa, de la República de Guatemala.* p. 161.

Figura c. **Forma y tiempo de medir la transparencia del agua con el disco Secchi**



Fuente: ARGUETA MAYORGA, Dennis Salvador. *Caracterización fisicoquímica de la laguna de Ayarza, ubicada entre los municipios de Casillas y San Rafael las Flores del departamento de Santa Rosa, de la República de Guatemala.* p. 162.

- **Fósforo total**

El fósforo es importante en el crecimiento de algas y otros organismos biológicos. Su exceso en el agua provoca eutrofización.

El fósforo total incluye distintos compuestos como diversos ortofosfatos, polifosfatos y fósforo orgánico. La determinación se hace convirtiendo todos ellos en ortofosfatos que son los que se determinan por análisis químico.

- **Fosfatos**

El fósforo generalmente está presente en las aguas naturales en forma de fosfatos. Los fosfatos se encuentran en los fertilizantes y los detergentes y pueden llegar a un cuerpo de agua con el escurrimiento agrícola, los desechos industriales y las descargas de aguas negras. Los fosfatos, al igual que los nitratos, son nutrientes para las plantas. Cuando entra demasiado fosfato al agua, florece el crecimiento de las plantas.

Los fosfatos también estimulan el crecimiento de las algas lo que puede ocasionar un crecimiento rápido de las algas. Los crecimientos rápidos de algas se pueden reconocer con facilidad como capas de limo verde y pueden eventualmente cubrir la superficie del agua. Al crecer las plantas y las algas, ahogan a otros organismos.

- **Nitrógeno total**

Dado que el nitrógeno y el fósforo son esenciales para el crecimiento biológico, reciben el nombre de nutrientes o bioestimulantes. Debido a que el nitrógeno es esencial para la síntesis de proteínas, se necesitan conocer datos sobre la presencia de este nutriente a la hora de evaluar la calidad de un cuerpo de agua. El contenido total de nitrógeno está compuesto por nitrógeno amoniacal, nitritos, nitratos y nitrógeno orgánico.

- **Nitrato**

Es la forma más oxidada del nitrógeno que se puede encontrar en el agua. Esta sustancia puede deberse a los desechos de aguas negras y su presencia en el agua se considera como una evidencia de contaminación.

Debido a las normas que ha fijado la EPA, la concentración de nitratos en aguas para consumo no debe superar el valor límite de 45 mg/L como NO₃ dadas sus graves y, ocasionalmente, fatales consecuencias sobre la población infantil.

- **Nitrito**

El nitrógeno en forma de nitrito, determinado por métodos colorimétricos, es bastante inestable y fácilmente oxidado a la forma de nitrato. Es un indicador de contaminación previa al proceso de estabilización y rara vez su concentración excede 0.1 mg/L en agua superficial o subterránea. A pesar de estar presente en concentraciones tan bajas, los nitritos son de gran importancia en estudios de aguas contaminadas porque son altamente tóxicos para muchos peces y otras especies acuáticas.

- **Nitrógeno amoniacal**

Es uno de los compuestos del ciclo del nitrógeno, siendo también producto de procesos industriales, químicos, plantas productoras de gas, petroquímicos e instalaciones de frío industrial. El nitrógeno amoniacal existe en solución acuosa tanto en forma de ion amonio como en forma de amoniaco, dependiendo del pH de la solución.

Un exceso de esta sustancia puede afectar la salud humana, como problemas gástricos y su toxicidad está en función de pH, oxígeno disuelto y el nitrato.