



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA DEL AGUA Y NIVEL DE EUTROFIZACIÓN DE LA
LAGUNA EL COMENDADOR, UBICADA EN LOS MUNICIPIOS DE PASACO Y MOYUTA EN
EL DEPARTAMENTO DE JUTIAPA, GUATEMALA**

Ana Elisa Chew Aldana

Asesorado por el Ing. Dennis Salvador Argueta Mayorga

Guatemala, octubre de 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL AGUA Y NIVEL DE EUTROFIZACIÓN DE LA
LAGUNA EL COMENDADOR, UBICADA EN LOS MUNICIPIOS DE PASACO Y MOYUTA EN
EL DEPARTAMENTO DE JUTIAPA, GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ANA ELISA CHEW ALDANA

ASESORADO POR EL ING. DENNIS SALVADOR ARGUETA MAYORGA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA AMBIENTAL

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Carlos Salvador Wong Davi
EXAMINADOR	Ing. Erwin Manuel Ortiz Castillo
EXAMINADOR	Ing. Jorge Mario Estrada Asturias
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

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 FISCOQUÍMICA DEL AGUA Y NIVEL DE EUTROFIZACIÓN DE LA LAGUNA EL COMENDADOR, UBICADA EN LOS MUNICIPIOS DE PASACO Y MOYUTA EN EL DEPARTAMENTO DE JUTIAPA, GUATEMALA.

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha enero de 2018.

Ana Elisa Chew Aldana

Guatemala, 27 de enero de 2020

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
Director
Escuela de Ingeniería Química
Presente

Estimado Ingeniero Álvarez:

Le saludo cordialmente, deseándole éxitos en sus actividades. Por medio de la presente hago constar que he revisado y aprobado el Informe Final del trabajo de graduación titulado: "**CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA DEL AGUA Y NIVEL DE EUTROFIZACIÓN DE LA LAGUNA EL COMENDADOR, UBICADA EN LOS MUNICIPIOS DE PASACO Y MOYUTA EN EL DEPARTAMENTO DE JUTIAPA, GUATEMALA**", elaborado por la estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiental, Ana Elisa Chew Aldana, quien se identifica con el registro académico 2012-13312 y con el CUI 22451 51044 0101.

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

Atentamente,

Dennis Salvador Argueta Mayorga
INGENIERO CIVIL
MAESTRO EN INGENIERIA VIAL
MAESTRO EN INGENIERIA SANITARIA
DOCTOR EN CAMBIO CLIMÁTICO Y SOSTENIBILIDAD
COLEGIADO 8297



Ing. Dennis Salvador Argueta Mayorga
ASESOR

Ingeniero Civil
Colegiado activo no. 8297



Guatemala, 13 de junio de 2020.
Ref. EIQ.TG-IF.020.2020.

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el registro de evaluación, correlativo **063-2017**, le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL

Solicitado por el estudiante universitario: **Ana Elisa Chew Aldana.**

Identificado con número de carné: **2451510440101.**

Identificado con registro académico: **201213312.**

Previo a optar al título de la carrera: **Ingeniería Ambiental.**

En la modalidad: **Informe Final, Seminario de Investigación.**

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA DEL AGUA Y NIVEL DE EUTROFIZACIÓN DE LA LAGUNA EL COMENDADOR, UBICADA EN LOS MUNICIPIOS DE PASACO Y MOYUTA EN EL DEPARTAMENTO DE JUTIAPA, GUATEMALA.

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por:

Dennis Salvador Argueta Mayorga, profesional de la Ingeniería Civil

Habiendo encontrado el referido trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



M.Sc. Ing. Walter Arnoldo Bardales Espinoza
Maestro en Recursos Hidráulicos Opción Hidrología
Ingeniero Agrónomo
Colegiado 4279

Walter Arnoldo Bardales Espinoza
profesional de la Ingeniería Agronómica
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación

C.c.: archivo



Guatemala, 3 de noviembre de 2020.

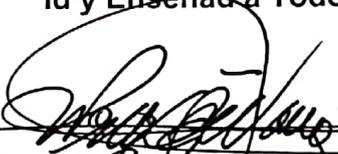
Ref. EIQ.286.2020

Aprobación del informe final del trabajo de graduación

Ingeniera
Aurelia Anabela Cordova Estrada
Decana
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Revisado el INFORME FINAL DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN (TESIS), DENOMINADO **CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA DEL AGUA Y NIVEL DE EUTROFIZACIÓN DE LA LAGUNA EL COMENDADOR, UBICADA EN LOS MUNICIPIOS DE PASACO Y MOYUTA EN EL DEPARTAMENTO DE JUTIAPA, GUATEMALA** del(la) estudiante Ana Elisa Chew Aldana, se conceptúa que el documento presentado, reúne todas las condiciones de calidad en materia administrativa y académica (rigor, pertinencia, secuencia y coherencia metodológica), por lo tanto, se procede a la autorización del mismo, para que el(la) estudiante pueda optar al título de Ingeniería Ambiental.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Williams G. Alvarez Mejia; M.I.
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química



Cc. Archivo
WGAM/mpea



Formando Ingenieros Químicos en Guatemala desde 1939



**NO SALGAS
QUÉDATE EN
CASA**

DTG. 386.2020.

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL AGUA Y NIVEL DE EUTROFIZACIÓN DE LA LAGUNA EL COMENDADOR, UBICADA EN LOS MUNICIPIOS DE PASACO Y MOYUTA EN EL DEPARTAMENTO DE JUTIAPA, GUATEMALA**, presentado por la estudiante universitaria: **Ana Elisa Chew Aldana**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana

Guatemala, noviembre de 2020

AACE/asga

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser la base y luz de mí camino en cada etapa de mi vida.
- Mis padres** Luz Rebeca Aldana Vásquez (q. e. p. d.) y Ricardo Adolfo Chew Minera (q. e. p. d.) por todo su esfuerzo, apoyo y guía para siempre ser una mejor persona y profesional.
- Mi hermana** Alejandra María Chew Aldana por ser el soporte y timonel indispensable en mi vida.
- Mi familia** Abuela, primos, tíos y sobrinos por ser apoyo incondicional en cada etapa de mi vida

.

.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser casa matriz de mis estudios y darme la oportunidad de lograr mis metas.
Ing. Dennis Argueta	Por su colaboración y aporte técnico para la elaboración de este estudio de investigación.
Ing. Walter Bardales	Por brindarme su apoyo y conocimiento profesional en la investigación.
Mis amigos	Por ser una importante influencia en mi carrera y por su apoyo brindado.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XIX
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Limnología.....	7
2.2. Laguna.....	7
2.3. Características de las lagunas.....	8
2.4. Tipos de lagos	9
2.5. Zonificación de lagos.....	9
2.6. Calidad del agua.....	10
2.7. Condiciones de las lagunas en las diferentes épocas del año.	12
2.8. Variables físicas y químicas	14
2.9. Muestreo.....	15
2.10. Ubicación de estaciones.....	16
2.11. Muestras y su número	17
2.11.1. El tipo de comunidad que se va a estudiar	17
2.12. Factores que afectan la calidad del agua	18
2.13. Potencial de hidrógeno (pH)	18

2.14.	Temperatura.....	18
2.15.	Conductividad eléctrica	19
2.16.	Oxígeno disuelto	19
2.17.	Turbidez	19
2.18.	Transparencia	20
2.19.	Dureza.....	21
2.20.	Control de nutrientes	21
2.21.	Nitrógeno, nitritos y nitratos.....	22
2.22.	Fósforo y fosfatos.....	23
2.23.	Demanda química de oxígeno (DQO)	23
2.24.	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).....	23
2.25.	Nivel trófico	24
2.26.	Eutrofización	25
2.27.	Causas de la eutrofización	25
2.28.	Índice del estado trófico (IET)	26
3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	27
3.1.	Definición de las variables.....	27
3.2.	Delimitación del campo de estudio.....	28
3.3.	Recursos humanos disponibles	28
3.4.	Recursos materiales disponibles.....	29
3.4.1.	Equipo de medición	29
3.4.2.	Equipo auxiliar	29
3.5.	Técnica cualitativa o cuantitativa.....	29
3.5.1.	Selección de puntos de muestreo.....	31
3.5.2.	Toma y transporte de muestras	32
3.5.3.	Determinación de parámetros fisicoquímicos	33
3.5.3.1.	Mediciones <i>in situ</i>	33
3.5.3.2.	Mediciones en laboratorio.....	33

3.6.	Recolección y ordenamiento de la información	33
3.7.	Análisis estadístico	36
3.7.1.	Cálculo de la media.....	37
3.7.2.	Plan de análisis de los resultados	37
3.7.3.	Programas para el análisis de datos	38
4.	RESULTADOS	39
4.1.	Parámetros <i>In situ</i>	39
4.1.1.	Temperatura	39
4.1.2.	Conductividad eléctrica	41
4.1.3.	Potencial de Hidrógeno (pH).....	42
4.1.4.	Profundidad.....	44
4.1.5.	Transparencia	46
4.2.	Análisis fisicoquímicos realizados en laboratorio.....	47
4.2.1.	Dureza	47
4.2.2.	Total de sólidos suspendidos (TSS).....	49
4.2.3.	Fósforo total	51
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	55
	CONCLUSIONES	63
	RECOMENDACIONES	65
	BIBLIOGRAFÍA.....	67
	APÉNDICES	71

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Zonificación de lagos.....	10
2.	Estratificación de las lagunas.....	13
3.	Características de lagos en las estaciones	14
4.	Laguna El Comendador	28
5.	Diagrama de proceso	30
6.	Puntos de muestreo en la laguna El Comendador	32
7.	Temperatura promedio superficial de la laguna	40
8.	Conductividad eléctrica promedio superficial de la laguna	42
9.	Potencial de Hidrógeno promedio superficial de la laguna.....	44
10.	Profundidad promedio superficial laguna El Comendador	45
11.	Transparencia promedio laguna El Comendador	46
12.	Dureza superficial media laguna El Comendador	48
13.	Dureza fondo media laguna El Comendador	49
14.	Total de sólidos suspendidos superficial media de la laguna	50
15.	Total de sólidos suspendidos fondo media de la laguna	51
16.	Fósforo total superficial media laguna El Comendador	52
17.	Fósforo total al fondo media laguna El Comendador	53
18.	Clasificación de estado trófico laguna El Comendador, según el contenido de Fósforo total (valores promedio septiembre, octubre y noviembre 2018)	54

TABLAS

I.	Rangos considerados para definir el estado trófico de un cuerpo de agua léntico a partir de la transparencia	20
II.	Clasificación del agua de acuerdo con la dureza.....	21
III.	Clasificación de cuerpos de agua basada en sus estados tróficos	24
IV.	Escala de valores del estado trófico en los cuerpos de agua	26
V.	Variables dependientes e independientes en el trabajo de campo	27
VI.	Localización de los puntos de muestreo de la laguna el Comendador	31
VII.	Modelo de toma de datos de parámetros fisicoquímicos <i>in situ</i> para muestra superficial.....	34
VIII.	Modelo de toma de datos de parámetros fisicoquímicos <i>in situ</i> para muestra de fondo	34
IX.	Modelo de toma de datos de determinación de la dureza de muestras superficiales y fondo	35
X.	Modelo de toma de datos de determinación de total de sólidos suspendidos en las muestras superficiales y fondo	35
XI.	Modelo de toma de datos de determinación del fósforo total en las muestras superficiales y fondo	36
XII.	Temperatura superficial de la laguna en los diferentes puntos de muestreo y su promedio	39
XIII.	Temperatura al fondo de la laguna en los diferentes puntos de muestreo y su promedio	40
XIV.	Conductividad eléctrica superficial de la laguna en los diferentes puntos de muestreo y su promedio.....	41
XV.	Conductividad eléctrica al fondo de la laguna en los diferentes puntos de muestreo y su promedio.....	41

XVI.	Potencial de Hidrógeno superficial de la laguna en los diferentes puntos de muestreo y su promedio	43
XVII.	Potencial de Hidrógeno superficial de la laguna en los diferentes puntos de muestreo y su promedio	43
XVIII.	Profundidad de la laguna en los diferentes puntos de muestreo y su promedio	45
XIX.	Transparencia de la laguna en los diferentes puntos de muestreo y su promedio	46
XX.	Dureza de la laguna en los diferentes puntos de muestreo y su promedio	47
XXI.	Total de sólidos suspendidos de la laguna en los diferentes puntos de muestreo y su media	50
XXII.	Fósforo total de la laguna en los diferentes puntos de muestreo y su media.....	52

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cm	Centímetro
DBO	Demanda bioquímica de oxígeno
DQO	Demanda Química de oxígeno
°C	Grados Celsius
°; ', "	Grados, minutos y segundos
IET	Índice de Estado Trófico
L	Litro
m	Metro
m³	Metro cúbico
µS	Microsiemens
mg	Miligramo
pH	Potencial de hidrógeno
mg/L	Total de sólidos suspendidos

GLOSARIO

Actividades antropogénicas	Efectos, procesos o materiales que son el resultado de actividades humanas a diferencia de los que tienen causas naturales sin influencia humana.
CIDTA	Centro de investigación y desarrollo tecnológico del agua.
Cuenca hidrográfica	Es una cavidad natural en la que se acumula el agua de lluvia. Esta circula hacia una corriente principal y finalmente llega a un punto común de salida. Una región hidrológica está conformada por una o varias cuencas hidrológicas.
Cuerpo léntico	Son cuerpos de agua cerrados que permanecen en un mismo lugar sin correr ni fluir. Comprenden todas las aguas interiores que no presentan corrientes continuas; es decir, aguas estancadas sin ningún flujo de corriente, como los lagos, las lagunas, los esteros y los pantanos.
Disco Secchi	Es un instrumento de medición de la penetración luminosa y por ello de la transparencia en masas de agua como ríos, lagos y mares.

Ecología	Es una rama de la biología dedicada al estudio de las interacciones entre los seres vivos y su entorno.
Ecosistema	Es el conjunto de especies de un área determinada que interactúan entre ellas y con su ambiente abiótico.
Hábitat	Ambiente o espacio que se encuentra ocupado por una determinada población biológica, la cual, reside, se reproduce y perpetúa su existencia allí porque el mismo ofrece todas las condiciones para su supervivencia.
<i>in situ</i>	Indica en el sitio o en su lugar y suele utilizarse para designar un fenómeno observado en el lugar o una manipulación realizada en el lugar.
Limnología	Es la rama de la ecología que estudia todo lo referente a ecosistemas acuáticos continentales, lo que involucra a lagos, lagunas, ríos, charcas y estuarios.
Nivel trófico	Nivel de enriquecimiento de las aguas con nutrientes, especialmente en nitrógeno y fósforo, a un ritmo tal que no puede ser compensado por eliminación o mineralización total.

**Parámetros
fisicoquímicos**

Son los que definen las características del agua que responden a los sentidos de la vista, del tacto, gusto y olfato como pueden ser los sólidos suspendidos, turbiedad, color, sabor, olor y temperatura.

Pesticidas

Sustancia o mezcla de sustancias dirigidas a destruir, prevenir, repeler o mitigar alguna plaga.

Sedimento

Materia sólida que después de haber estado en suspensión en un líquido, termina en el fondo de un cuerpo de agua por gravedad.

RESUMEN

Este estudio se desarrolló en la laguna El Comendador ubicada entre los municipios de Pasaco y Moyuta en el departamento de Jutiapa, Guatemala, con el fin de evaluar el nivel trófico de la laguna por medio de una caracterización fisicoquímica.

Para este estudio, se tomaron 10 puntos de muestreo en la laguna, ubicados en lugares de interés para la investigación, como áreas de descarga de contaminantes industriales, aguas residuales o cualquier tipo de contaminación que pueda afectar al cuerpo hídrico. También se tomaron en cuenta puntos en las laderas y centro de la laguna para obtener una mejor caracterización de todo el cuerpo hídrico. Estos puntos, se basaron en el estudio “Línea Base Laguna El Comendador”¹, para dar seguimiento a la calidad del agua del cuerpo hídrico.

En cada punto, se tomó una muestra de agua superficial y en el fondo para la determinación de parámetros fisicoquímicos por medio de equipo *in situ*, como temperatura, pH, conductividad eléctrica y transparencia. De estos 10 puntos, se seleccionaron 5 puntos de interés en los cuales se tomaron muestras para la medición de fósforo total, dureza y sólidos suspendidos totales. Luego se analizaron en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria Dra. Alba Tabarini, ubicado en la Universidad San Carlos de Guatemala.

¹ MARTÍNEZ, Pedro. *Línea base Laguna El Comendador*. https://www.marn.gob.gt/noticias/noticia/Ministerio_de_Ambiente_y_Recursos_Naturales_presenta_nuevo_sitio_web_.

A partir de los resultados obtenidos en la investigación, se determinaron las características fisicoquímicas principales las cuales, comparadas con el estudio “Línea Base Laguna El Comendador”,² se han mantenido dentro de los mismos rangos, sin embargo, parámetros, como fósforo total, dureza y transparencia han aumentado causando así la alteración de la calidad del agua de la laguna.

Por medio del índice de estado trófico (IET), basado principalmente en los parámetros de fósforo total y transparencia, se determinó que la laguna se encuentra sobre los límites establecidos para el estado eutrófico, se encuentra en estado hipereutrófico; a diferencia del estudio línea base en el cual se categorizaba en proceso de eutrofización. Esto demuestra que el crecimiento poblacional y agricultor cercano a la laguna ha afectado directamente su deterioro.

² MARTÍNEZ, Pedro. *Línea base Laguna El Comendador*.
https://www.marn.gob.gt/noticias/noticia/Ministerio_de_Ambiente_y_Recursos_Naturales_presenta_nuevo_sitio_web_.

OBJETIVOS

General

Caracterizar el cuerpo de agua de la laguna El Comendador, analizando los parámetros fisicoquímicos y su nivel trófico.

Específicos

1. Analizar los parámetros fisicoquímicos de la calidad del agua de la laguna El Comendador en función de 10 puntos de muestreo tomados en los meses de septiembre, octubre y noviembre del año 2018.
2. Evaluar la calidad fisicoquímica del agua de la laguna El Comendador con base a los parámetros realizados en laboratorio de fósforo total, dureza y sólidos suspendidos totales.
3. Comparar los parámetros *in situ* de temperatura, pH, conductividad eléctrica y transparencia en función de la profundidad de la laguna.
4. Determinar el nivel trófico de la laguna El Comendador en función de los parámetros fisicoquímicos.

5. Determinar por medio de los parámetros fisicoquímicos analizados si la laguna El Comendador ha mejorado su calidad de agua en comparación del estudio “Línea Base Laguna El Comendador”³.

³ MARTÍNEZ, Pedro. *Línea base Laguna El Comendador*.
https://www.marn.gob.gt/noticias/noticia/Ministerio_de_Ambiente_y_Recursos_Naturales_presenta_nuevo_sitio_web_.

INTRODUCCIÓN

Los lagos y lagunas son cuerpos de agua dulce que cumplen con un rol importante para el equilibrio de los ecosistemas ya que estos representan fuentes de vida para microorganismos y son hábitats importantes para muchas especies de flora y fauna. Asimismo, estos se han convertido en cuerpos hídricos de gran valor para el desarrollo de actividades humanas ya que proporcionan diversas fuentes de desarrollo como el uso en la agricultura, actividades recreativas y turismo.

En Pasaco, Jutiapa, se encuentra la laguna El Comendador la cual ha sido, durante años, una fuente de ingresos económicos para las comunidades aledañas debido a su diversidad de usos en la producción para consumo humano, agrícola, pesca y recreación. Sin embargo, así como muchos lagos y lagunas de Guatemala, el aumento demográfico de zonas urbanas, la erosión del suelo por la escorrentía, la tala de la cobertura boscosa, la descarga de aguas domésticas sin tratamiento y los pesticidas utilizados en la agricultura han alterado los procesos naturales de purificación de la laguna y han provocado la concentración de nutrientes que aceleran la eutrofización de esta.

Dado que la información y estudios realizados acerca de la calidad del agua en la laguna El Comendador son escasos, este estudio se propuso desarrollar los factores necesarios y determinantes para caracterizar el cuerpo lacustre por medio de la evaluación de 10 puntos de muestreo establecidos y evaluados en los meses de septiembre, octubre y noviembre del año 2018. Esta caracterización se realiza por medio de parámetros fisicoquímicos *in situ*, como la temperatura, conductividad, pH, transparencia y profundidad, además de

parámetros evaluados en laboratorio, como fósforo total, dureza y total de sólidos suspendidos.

Los resultados de este estudio fueron comparados con los obtenidos en el estudio “Línea Base Laguna El Comendador”⁴ realizado en el 2010, con el propósito de generar un patrón del comportamiento de la laguna en el transcurso del tiempo e identificar los potenciales problemas del cuerpo de agua que han afectado durante el tiempo estudiado, para que en un futuro se puedan generar planes integrales y solucionar la problemática por parte de las autoridades competentes.

⁴ MARTÍNEZ, Pedro. *Línea base Laguna El Comendador*.
https://www.marn.gob.gt/noticias/noticia/Ministerio_de_Ambiente_y_Recursos_Naturales_presenta_nuevo_sitio_web_.

1. ANTECEDENTES

Actualmente, los estudios relacionados con caracterización fisicoquímica del agua de las lagunas y su nivel de eutrofización en Guatemala son escasos. Estos se limitan a los lagos y lagunas categorizados como áreas protegidas por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Entre estos se encuentran los lagos Atitlán, Amatitlán, Izabal, Peten Itzá y Güija.

En el año 2010 un grupo multidisciplinario realizó el estudio “Línea base Laguna El Comendador”⁵ para Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). El objetivo fue realizar una caracterización biofísica con base en un muestreo de 10 puntos; análisis de la cuenca en cuanto a zonas de vida, geomorfología, suelos, afluentes y caracterización socioeconómica de la cuenca.

Esa investigación aportó información general actualizada de la laguna, como que la población del área de influencia de la laguna ha crecido moderadamente en la última década, predomina la etnia ladina, evidencia elevados niveles de pobreza y bajos niveles educativos, de ahí que se incremente la presión sobre los recursos naturales. En la laguna practican la pesca entre 50 - 60 personas, quienes consumen parte de las capturas y comercializan el excedente en los mercados locales.⁶

Los análisis de calidad de agua, diversidad y abundancia de plantas acuáticas, peces, especies planctónicas, insectos y crustáceos indican un deterioro ambiental moderado característico de un cuerpo de agua en proceso de eutrofización o mesotrófico. La abundancia de plantas acuáticas flotantes constituye una de las amenazas principales tanto para el ecosistema lacustre como para las actividades económicas que soporta. La ausencia de industrias y centros de población importantes ha permitido, hasta la fecha, que la laguna

⁵ MARTÍNEZ, Pedro. *Línea base Laguna El Comendador*. https://www.marn.gob.gt/noticias/noticia/Ministerio_de_Ambiente_y_Recursos_Naturales_presenta_nuevo_sitio_web_.

⁶ *Ibíd.*

conservar su viabilidad biológica, lo cual sugiere que aún existe oportunidad de manejar el recurso de forma sustentable.⁷

En los 10 puntos seleccionados en el estudio se realizaron análisis fisicoquímicos *in situ* de temperatura, oxígeno disuelto, porcentaje de saturación de oxígeno, conductividad, turbidez y pH. De los 10 puntos de análisis se seleccionaron los puntos 1, 3, 5, 6 y 9 en los cuales se muestreó la superficie y en el fondo coliformes totales, coliformes fecales, *Escherichia coli*, DBO5, DQO, fosfatos, fósforo total, nitrógeno total, nitratos, amonio, alcalinidad, sólidos suspendidos totales y dureza total.

El estudio estableció que la laguna respecto a los parámetros de transparencia y fósforo total se encontraba en proceso de eutrofización con una profundidad máxima de 0,69. Los puntos en los que obtuvieron valores más altos de temperatura, pH, conductividad, turbidez y coliformes fecales fueron los puntos 7 y 9 ya que estos eran los más cercanos al poblado y por ende tienden a tener fuentes más directas de contaminación antropogénica.

Prensa Libre, en el año 2015, publicó un informe del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales y la Universidad de San Carlos de Guatemala respecto de la contaminación de lagos y lagunas del país, expresando “Los espejos de agua del país están en riesgo de acabar contaminados, a raíz del acelerado proceso de contaminación del Lago de Atitlán, debido a que son usados como vertederos y sin tratamientos depositan las aguas servidas”⁸. El más contaminado, después del lago de Amatitlán y el de Atitlán es el de Izabal. Una investigación del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales da cuenta

⁷ MARTÍNEZ, Pedro. *Línea base Laguna El Comendador*.
https://www.marn.gob.gt/noticias/noticia/Ministerio_de_Ambiente_y_Recursos_Naturales_presenta_nuevo_sitio_web_.

⁸ HERMEROTECA, Prensa Libre. *Lagos contaminados*.
<http://www.prensalibre.com/hemeroteca/lagos-contaminado>.

de los desechos y aguas servidas de 16 de los 19 municipios ubicados en su cuenca, los cuales van a parar a las aguas del país.

“No hay tratamiento alguno para la basura y la población ha cambiado el uso del suelo de cultivos perennes a cultivos limpios, con uso indiscriminado de agroquímicos”,⁹ denuncia el informe. A esto se suma la indiscriminada explotación de recursos naturales y pesqueros, en especial en áreas protegidas, la crianza de ganado, no amigable con el ambiente; la falta de certeza jurídica en la tierra y la débil aplicación de la legislación ambiental.

Muestras tomadas en el lago de Atitlán revelan una alta presencia de nutrientes, macroalgas y cobalto, cromo y zinc en exceso, lo cual supone un peligro para los habitantes que viven y se nutren de los peces que hay en el lugar. El expediente de Prensa Libre señala la presencia de hydrilla verticilata, un alga que afecta la oxigenación de las aguas del lago, la navegación y la profundidad.

El informe redactado por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales y publicado por Prensa Libre en el 2015, menciona que un 20 % de la laguna El Comendador está cubierta de ninfa. A ello, se agrega la contaminación con desechos sólidos y descargas directas de los drenajes de las poblaciones aledañas. Los desperdicios y agua sucia del caserío La Laguna, Casillas, Santa Rosa, ocasionan daños ambientales a la Laguna de Ayarza. El estudio revela también que los desechos industriales y fertilizantes con componentes nitrogenados y fosfatados intensifican el proceso de contaminación, a lo que se agrega la deforestación, entre otros.¹⁰

En el año 2015, la División de Control, calidad ambiental y manejo de lagos, en su investigación, “Calidad de agua de la Cuenca y Lago de

⁹ HERMEROTECA, Prensa Libre. *Lagos contaminados.*
[http://www.prensalibre.com/hemeroteca/lagos-contaminado.](http://www.prensalibre.com/hemeroteca/lagos-contaminado)

¹⁰ *Ibíd.*

Amatitlán”¹¹; indica que uno de los factores más influyentes en los lagos y lagunas son las descargas de los ríos tributarios los cuales, junto con la lluvia, son los principales abastecedores de agua para dichos cuerpos de agua. Asimismo, el azolvamiento, el cual es la pérdida o capacidad de retención del agua en el lago provocado por la extracción de arenas y la deforestación masiva realizada en las riberas y partes altas de la cuenca, provocan que grandes cantidades de sedimentos y tierra sean arrastrados hacia el lago y que estos aumenten su nivel de sedimentos y que su profundidad mengüe constantemente.

En 2015 el MSc. en Ingeniería Sanitaria José Miguel Duarte a través de la revista electrónica de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS), menciona que:

Entre las principales causas del deterioro de los recursos naturales en Guatemala están las actividades económicas, tanto en el área urbana como rural, que se realizan sin tomar en cuenta su impacto en los sistemas ecológicos. La deforestación en las cuencas de los lagos provoca erosión y arrastre de sedimentos que se depositan en ellos, ocasionando cambios en las relaciones de sus componentes. La eliminación de aguas servidas en centros urbanos a través de ríos que abastecen los lagos, así como desechos industriales que contienen compuestos nitrogenados, fosfatos, entre otros también intensifica el proceso de deterioro. En Guatemala, la mayoría de los poblados o industrias localizados en cuencas de lagos, eliminan sus desechos sin ningún tratamiento a pequeños ríos, originándose así su contaminación.¹²

En año 2014, en la Facultad de Ingeniería en la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS) de la Universidad San Carlos de Guatemala, se realizó una caracterización fisicoquímica del agua de la Laguna el Pino por medio de una evaluación previa para determinar los

¹¹ JIMÉNEZ, Susan; JUÁREZ, Julio; TRUJILLO, Luis; DUBÓN, Silvia, VALENZUELA, Oscar; CASTRO, Alfa. *Calidad de agua de la Cuenca y lago de Amatitlán, división de control, calidad ambiental y manejo de lagos*. p. 7.

¹² DUARTE, José. *Variación de los parámetros fisicoquímicos de la laguna el Pino que degradan el agua a través del tiempo*. <http://eris.ingenieria.usac.edu.gt/revistaERIS/index.php/2016/04/22/variacion-de-los-parametros-fisicoquimicos-de-la-laguna-el-pino-que-degradan-el-agua-a-traves-del-tiempo/>.

puntos representativos para un muestreo. Se realizaron mediciones *in situ* y recolección de muestras a cada metro de profundidad para verificar el impacto del ingreso de nutrientes al cuerpo lacustre y así tomar medidas para mejorar su calidad y cumplir con los criterios establecidos de calidad del agua.

Con el estudio realizado por el MSc. en Ingeniería Sanitaria José Miguel Duarte, se determinó que:

La laguna El Pino disminuyó la calidad del agua respecto a los parámetros fisicoquímicos de amoníaco, nitratos, nitritos, fosfatos, turbiedad y sólidos suspendidos totales, esto aumentó su enriquecimiento en nutrientes. Los valores obtenidos en el estudio fueron comparados con los criterios de calidad de agua para diferentes usos, demostrando así que la misma se sugiera utilizarla para fines recreativos, riego de hortalizas y frutas, crianza de animales, abastecimiento industrial o generación de energía, ya que para el consumo humano representa un riesgo.¹³

¹³ DUARTE, José. *Variación de los parámetros fisicoquímicos de la laguna el Pino que degradan el agua a través del tiempo*. <http://eris.ingenieria.usac.edu.gt/revistaERIS/index.php/2016/04/22/variacion-de-los-parametros-fisicoquimicos-de-la-laguna-el-pino-que-degradan-el-agua-a-traves-del-tiempo/>.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Limnología

“Es una ciencia, rama de la ecología que estudia todo lo relacionado con los ecosistemas acuáticos ubicados en los continentes como ríos, lagos y lagunas dejando fuera a los no continentales como los mares y océano”.¹⁴

Actualmente, la limnología abarca también el estudio de las características físicas, químicas y biológicas ya que luego de la publicación El origen de las especies de Charles Darwin se tomaron en cuenta las interacciones entre los organismos acuáticos y el ambiente que determinan la abundancia de las especies en los ecosistemas.

2.2. Laguna

“Guatemala es un país que cuenta con aproximadamente 23 lagos y lagunas y 119 lagunas con una superficie menor”.¹⁵

Una laguna es un depósito geográfico natural de agua que se encuentra separado del mar y con profundidades menores a las que puede tener un lago. Las lagunas pueden ser de agua dulce y aguas salobres.

La diferencia entre un lago y una laguna radica en el tipo y proveniencia del agua que contiene cada uno. Los lagos generalmente son de agua dulce y se abastecen de ríos que desembocan en ellos, en cambio las lagunas es agua

¹⁴ MIHELIC, James; ZIMMERMAN, Julie Beth. *Ingeniería Ambiental, fundamentos, sustentabilidad, diseño*. p. 85.

¹⁵ INSIVUMEH. *Lagos y lagunas de la república de Guatemala*. <http://www.insivumeh.gob.gt/hidrologia/lagos.htm#INDICE%20DE%20LAGOS%C2%A0>.

estancada que se alimenta de arroyos o ríos y su medio para desagotarse es su evaporación o por filtración en el suelo.¹⁶

Los orígenes de los lagos o lagunas pueden ser de la siguiente manera:

- Por efecto de erosión de los suelos que forman ciertas profundidades que luego son rellenadas con lluvia.
- Movimientos geológicos que provocan la separación y aparición de depresiones que, luego, son llenadas naturalmente con agua de lluvia.
- En cráteres volcánicos que no se encuentran activos.
- Estos también pueden ser creados por los hombres para usos determinados para beneficio propio o crecimiento de biodiversidad.¹⁷

2.3. Características de las lagunas

Las lagunas suelen ser una fuente de producción elemental tanto para las comunidades aledañas como para los ecosistemas que habitan en ellas por sus múltiples usos para el desarrollo humano, como en la producción de alimento, abastecimiento de agua potable y para riego de actividades agrícolas.

Debido su baja profundidad, los lagos, permiten que los rayos del sol penetren en el cuerpo hídrico y que los organismos vivos se puedan desarrollar ya que esto impide que se formen estratos térmicos.

Los lagos y lagunas presentan características comunes, como:

- La cantidad de luz que penetra en el agua se limita en la superficie en función de la profundidad del cuerpo de agua.
- La temperatura se encuentra en constante cambio dependiendo de la época estacional y la profundidad de la laguna o lago.

¹⁶ ROLDÁN, Gabriel; RAMÍREZ, John. *Fundamentos de limnología neotropical*. p. 63.

¹⁷ *Ibíd.*

- La cantidad de oxígeno es limitada ya que su extensión no es tan amplia y solamente una porción está en contacto con el aire.

2.4. Tipos de lagos

Los lagos y lagunas se caracterizan según la abundancia de nutrientes que contengan. Entre ellos se distingue entre eutróficos y oligotróficos.

Los eutróficos se caracterizan por tener agua rica en nutrientes lo cual facilita la proliferación de algas; las cuales, al morir se descomponen por medio de procesos aeróbicos. Estos restos orgánicos se depositan en el fondo donde sufren procesos anaeróbicos cuyos gases originan olores desagradables y apariencia turbia. La flora y fauna en este tipo de lagos o lagunas es muy pobre debido a la poca luz que penetra en el agua.¹⁸

Al contrario, los oligotróficos, son lagos o lagunas con aguas pobres en nutrientes por lo cual evita que las algas proliferen; son aguas en las cuales la luz penetra con facilidad oxigenando el agua para permitir el crecimiento de flora y fauna.

2.5. Zonificación de lagos

“Guatemala cuenta con variedad de lagos y lagunas de diversa profundidad y extensión por lo cual se dificulta generalizar la zonificación, sin embargo, se pueden distinguir tres principales zonas en los lagos y lagunas”.¹⁹

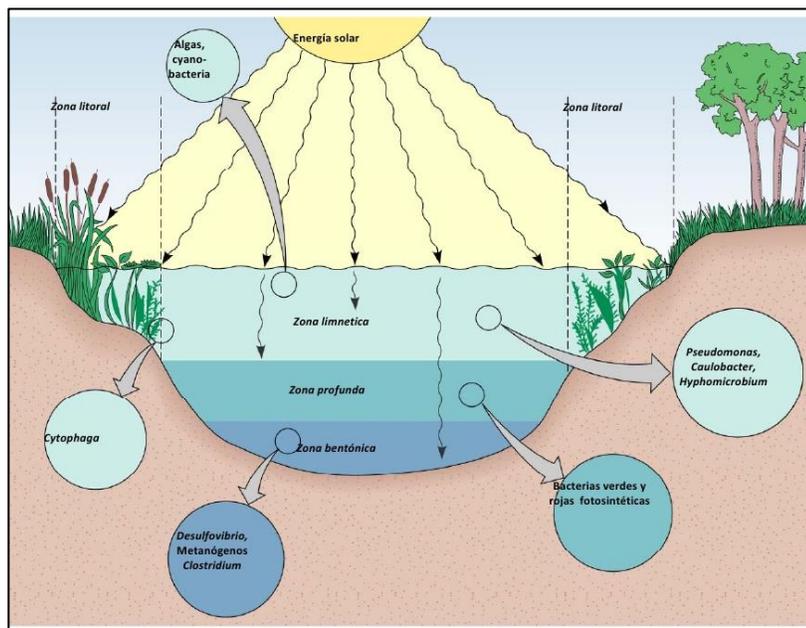
- La zona litoral se caracteriza por tener una alta penetración de la luz, así mismo puede tener vegetación enraizada a lo largo de las orillas.

¹⁸ RAMÍREZ, Alberto; VIÑA Gerardo. *Limnología Colombiana, aportes a su conocimiento y estadísticas de análisis*. p. 43.

¹⁹ ROLDAN, Gabriel. *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: propuesta para el uso del método BMWP/Col*. p. 11.

- La zona limnética se delimita hasta donde penetra la luz, en esta zona prolifera el fitoplancton.
- La zona profunda se encuentra más allá del límite de penetración de la luz solar; se encuentran los organismos heterótrofos debido a la falta de luz para realizar la fotosíntesis.

Figura 1. **Zonificación de lagos**



Fuente: ROLDAN, Gabriel. *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: propuesta para el uso del método BMWP/Col.* p. 11.

2.6. Calidad del agua

La calidad del agua de las lagunas es un factor que incide directamente en la salud de los ecosistemas aledaños a la laguna, de ella depende la biodiversidad, actividades económicas, entre otros. Por tanto, la calidad del

agua es también un factor influyente en la determinación de la pobreza o riqueza de un país.

La calidad del agua se define por el uso final que se le dará, entre estos se encuentran:

- Actividades domésticas: comprende el consumo de agua utilizado para actividades diarias como la alimentación, limpieza higiene y aseo persona, entre otros.
- Actividades de agricultura y ganadería: el agua es utilizada para el riego de campos agrícolas y parte de la alimentación de los animales.
- Actividades industriales: el agua es utilizada en los diferentes procesos de fabricación de un producto, en talleres o en construcciones.
- Fuente de energía: el agua es utilizada por las hidroeléctricas para la producción de energía eléctrica.
- Actividades recreativas: el agua es utilizada en diferentes medios en actividades recreativas del ser humano como en parques, fuentes, entre otros.

2.7. Condiciones de las lagunas en las diferentes épocas del año

Según un artículo web publicado por CIDTA (2003)²⁰. Las poblaciones de organismos que habitan en lagos y lagunas experimentan cambios estacionales.

En los climas templados, a finales de primavera y principios de verano, el incremento de la radiación solar y la mayor temperatura del aire hacen que las aguas superficiales se calienten más que las profundas y permanecen en esta zona debido a su menor densidad.

La capa de agua más caliente y ligera, el epilimnion se sitúa por encima de una capa de aguas más frías y densas, el metalimnion, cuya temperatura desciende aproximadamente 1 °C por cada metro de profundidad, constituyendo un gradiente denominado termoclina. Cuando el agua alcanza la temperatura de 4 °C permanece como una capa de agua fría sobre el fondo, el hipolimnion.

Mientras que el oxígeno mantiene la capa superficial bien aireada en las capas profundas además de un déficit de oxígeno, se acumulan los nutrientes por descomposición de los sedimentos, por lo que estos son inaccesibles para fitoplancton del epilimnion.

Al llegar el otoño, la temperatura del agua y la radiación solar disminuyen, la situación se invierte y la superficie del agua empieza a enfriarse. El agua se vuelve más densa, se hunde y desplaza el agua profunda, más caliente hacia la

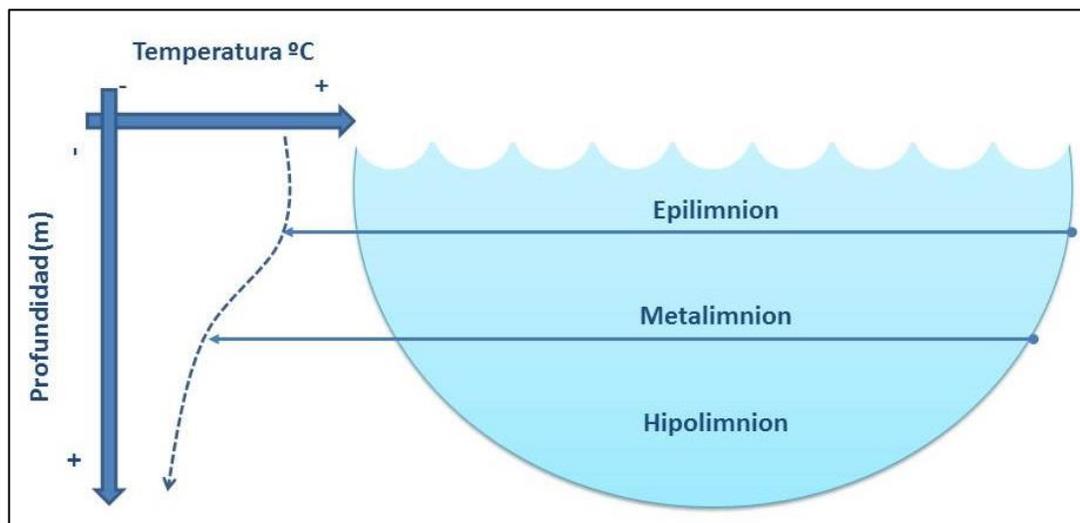
²⁰ CIDTA. *Calidad, cantidad y contaminación del agua*. http://www.cidta.usal.es/cursos/agua/modulos/conceptos/uni_03/u4c1s1.htm.

superficie donde se enfría. Se produce una mezcla vertical, recargando la masa de agua de oxígeno y nutrientes.

Cuando llega el invierno y como consecuencia del frío puede producirse una ligera inversión térmica, quedando en la parte superficial el agua más fría incluso helada, aumentando con la profundidad hasta los 4 °C.

Con el deshielo primaveral y el calentamiento de superficie hasta los 4 °C tiene lugar una nueva mezcla, con la consiguiente recarga del oxígeno y nutrientes. Las aguas superficiales son de nuevo ricas en nutrientes y oxígeno, listas para el crecimiento primaveral del fitoplancton. A medida que avanza la estación, aparecen de nuevo las tres capas antes mencionadas.

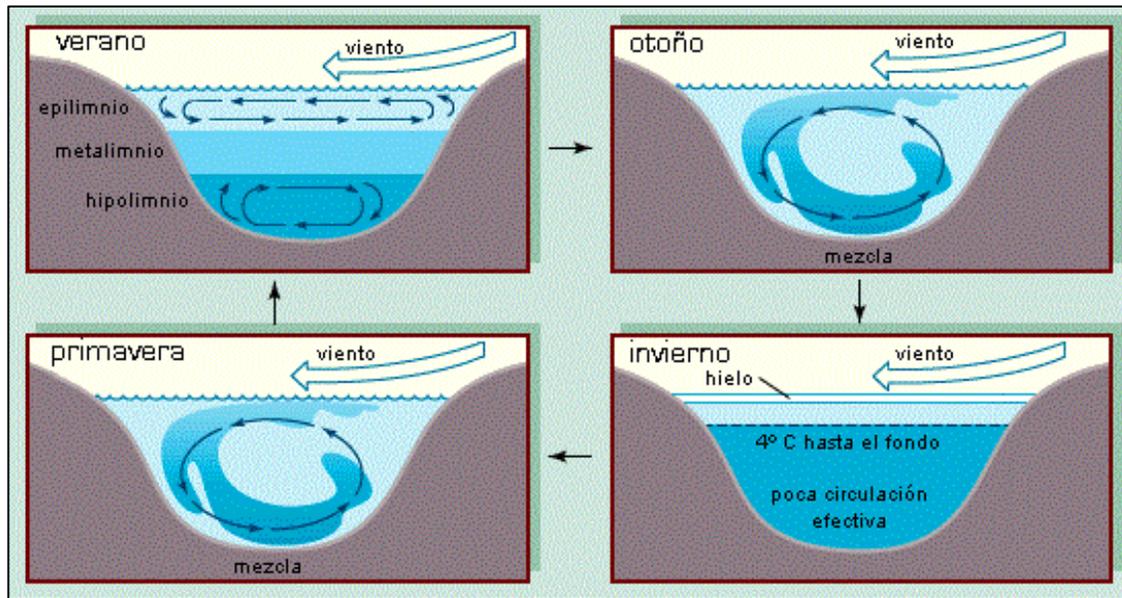
Figura 2. **Estratificación de las lagunas**



Fuente: CIDTA. *Calidad, cantidad y contaminación del agua.*

http://www.cidta.usal.es/cursos/agua/modulos/conceptos/uni_03/u4c1s1.htm. Consulta: 10 de enero de 2018.

Figura 3. Características de lagos en las estaciones



Fuente: MARCANO. *Estratificación de las lagunas*.

<http://www.jmarcano.com/nociones/fresh3>. Consulta: 10 de enero de 2018.

2.8. 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 eléctrica, 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; es importante conocer también la altitud y variación altitudinal aguas arriba y debajo de una determinada estación. Otras variables importantes pero medidas con menor frecuencia son calcio, magnesio, sodio, potasio, cloruros y sulfatos.²¹

Los cuerpos de agua sufren procesos de alteración debido a cuatro fuentes de contaminación principales: aguas residuales domésticas, aguas residuales industriales, escorrentía superficial de terrenos agrícolas y contaminación natural.

²¹ HINCAPIE, Margarita; CHAVERRA, Gloria. *Diagnóstico de aguas, Manual de laboratorio*. p. 47.

En consecuencia, la elección de las variables ambientales que se habrán de incluir en el desarrollo de la investigación contempla los siguientes criterios:²²

- Variables que la literatura o la experiencia refieran como más importantes para el tipo de comunidad elegida, estos pueden ser materia orgánica, oxígeno y temperatura, nutrientes, turbiedad y velocidad.
- Variables cuyos gradientes ambientales expongan un amplio rango relativo de variación en el área de estudio.
- Variables influenciadas o determinadas por actividades humanas. Incluye variables propias del ecosistema que fueron o pueden verse modificadas.

2.9. Muestreo

“Los muestreos de lagos y lagunas deben realizarse mediante un número de muestras representativas para obtener información suficiente, determinar el estado del cuerpo de agua y si este necesitaría de una evaluación total respecto a los resultados obtenidos”.²³

En la toma de muestras se debe tener en cuenta:

- El muestreo muy laborioso puede significar sobremuestreo o poca ganancia de precisión frente a un menor número de muestras, mientras que un muestreo muy ligero puede aportar información poco precisa o distorsionada de la realidad.

²² HINCAPIE, Margarita; CHAVERRA, Gloria. *Diagnóstico de aguas, Manual de laboratorio*. p. 47.

²³ ROLDAN, Gabriel. *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: propuesta para el uso del método BMWP/Col*. p. 53.

- Los muestreos en el tiempo deben incluir diferentes ciclos ambientales, es decir, niveles altos y bajos en las aguas.

2.10. Ubicación de estaciones

“La estación corresponde a un punto geográfico predeterminado, la cual considera el investigador de interés por la incidencia única o conjunta que allí supone de variables ambientales, cuyas magnitudes se espera reflejen una condición particular en la estructura biótica”.²⁴

Las estaciones se deben elegir de acuerdo con los objetivos de la investigación. Esta elección se puede realizar por medio de procedimientos sistemáticos fijando estaciones a cada 5 km o cada 500 m dependiendo del tamaño de la laguna. De igual manera este método puede no garantizar la inclusión de puntos de interés particular. La ubicación sistemática puede tomarse como un punto se inició y guía para localizar otras estaciones de interés bajo el criterio y objetivos de la investigación con el propósito de lograr una adecuada y suficiente caracterización del cuerpo de agua.

Si se realizará bajo el método de inclusión deben tomarse en cuenta los siguientes parámetros para otros posibles puntos de interés.²⁵

- Si existen zonas muy extensas con condiciones o características ambientales semejantes conviene eliminar algunas estaciones para evitar un sobre muestreo. Por otro lado, si el lago o laguna es muy pequeña y con zonas de alta contaminación, conviene adicionar estaciones para los puntos de muestreo.
- Si el cuerpo de agua recibe afluentes de interés que puedan afectar de una manera positiva o negativa en él como vertederos o ríos tributarios, se recomienda evaluar dichos puntos.

²⁴ ROLDAN, Gabriel. *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: propuesta para el uso del método BMWP/Col.* p. 53.

²⁵ *Ibíd.*

- Los muestreos fisicoquímicos deben corresponder con las estaciones biológicas del cuerpo de agua de tal modo que permitan el entrecruzamiento de información.

2.11. Muestras y su número

La cantidad de muestras se orientan y evalúan según los objetivos de la investigación; pero también deben tomarse en cuenta los siguientes temas: infraestructura, costos, tiempo y personal disponible.

Cuando se determina cantidad de muestras por estación también debe considerar que se cuente con estaciones suficientes para obtener una muestra representativa del cuerpo de agua. Esto debe concordar con los costos por muestra, por lo que el investigador indicará si es mejor tomar diez estaciones con cuatro muestras por estación, o siete estaciones con seis muestras.

2.11.1. El tipo de comunidad que se va a estudiar

El muestreo de algunas comunidades permite una rápida identificación y cuantificación de sus organismos, posibilitando coleccionar un mayor número de muestras, o en su defecto, cubrir un mayor número de estaciones. La cobertura de macrófitas en cuadrantes pequeños requiere la identificación in situ de las diferentes especies, pero a la vez, posibilita la evaluación de un amplio número de muestras, las cuales quedan ya cuantificadas al finalizar el muestreo. En otras comunidades como el plancton, se toma una muestra por estación y la misma posteriormente es llevada al laboratorio para su cualificación y cuantificación.²⁶

²⁶ ROLDAN, Gabriel. *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: propuesta para el uso del método BMWP/Col.* p. 64.

2.12. Factores que afectan la calidad del agua

El crecimiento poblacional, la urbanización descontrolada, la desembocadura de aguas negras sin previo tratamiento y productos químicos procedentes de industrias o la agricultura afectan los cuerpos de agua.

Asimismo, los cambios drásticos en las temperaturas, las sequías e inundaciones son parámetros que afectan directamente los parámetros fisicoquímicos del agua.

2.13. Potencial de hidrógeno (pH)

El pH es la medida de acidez presente en el agua, esta se expresa mediante una escala entre 1 y 14, siendo el valor 1 condiciones de máxima acidez y 14 de alcalinidad extrema.

El potencial de hidrógeno del agua de una laguna debe de encontrarse en un estado neutro para que pueda existir biodiversidad, ya que los cambios constantes del pH pueden alterar la toxicidad de algunas sustancias y así mismo puede acabar con la vida de los organismos.

2.14. Temperatura

Su influencia en la calidad del agua radica en la cantidad de radiación solar que penetra en el agua ya que esta afecta la temperatura. Las temperaturas altas pueden producir un aumento en el crecimiento de bacterias causando daños a la flora y fauna.

Asimismo, la temperatura afecta la solubilidad de las sales ya que a mayor temperatura mayor solubilidad de iones y esto disminuye la capacidad de disolución de oxígeno.

2.15. Conductividad eléctrica

Es la propiedad que poseen las soluciones acuosas para conducir la corriente eléctrica. La variación de la conductividad eléctrica en el agua de una laguna proporciona información acerca de la descomposición de materia orgánica o posibles fuentes o puntos de contaminación.

2.16. Oxígeno disuelto

“El oxígeno disuelto es uno de los indicadores más importantes de la calidad del agua. Los valores normales varían entre los 7,0 y 8,0 mg/L. La fuente principal del oxígeno es el aire, el cual se difunde rápidamente en el agua por la turbulencia en los ríos y por el viento en los lagos”.²⁷

El oxígeno se considera un compuesto ligeramente soluble en el agua y su presencia en solución está determinada por la solubilidad del gas, la presión, la temperatura y la pureza del agua. Se conoce además que la concentración del oxígeno disuelto es dependiente de factores como: reoxigenación atmosférica, respiración animal y vegetal y demanda bioquímica.

2.17. Turbidez

Es una expresión de la propiedad óptica que origina que la luz se disperse y absorba en vez de transmitirse en línea recta a través de la muestra. Es producida

²⁷ ROLDAN, Gabriel. *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: propuesta para el uso del método BMWP/Col.* p. 60.

por materiales en suspensión como arcilla, limo, materia orgánica e inorgánica, organismos planctónicos y demás microorganismos. Incide directamente en la productividad y el flujo de energía dentro del ecosistema, La turbiedad define el grado de opacidad producido en el agua por la materia particulado en suspensión. Debido a que los materiales que provocan la turbiedad son los responsables del color, la concentración de las sustancias determina la transparencia del agua puesto que limita el paso de luz a través de ella.²⁸

2.18. Transparencia

La transparencia del agua en un cuerpo hídrico es de suma importancia. Se define como la luz necesaria para el crecimiento de los organismos vivos. Para medirla se usa un Disco Secchi el cual mide el grado de penetración de luz en el agua indicando la profundidad a la cual todavía se puede ver el reflejo del disco. Este parámetro se ve afectado dependiendo de la época climática en la que se realizará la investigación ya que, si se realiza en época de invierno, la lluvia puede aumentar la suspensión de sólidos en el agua pareciendo con menos transparencia.

Tabla I. **Rangos considerados para definir el estado trófico de un cuerpo de agua léntico a partir de la transparencia**

Transparencia (m)	Estado trófico
≥ 1,60	Oligotrófico
Entre 0,81 y 1,59	Mesotrófico
≤ 0,8	Eutrófico

Fuente: ROLDÁN, Gabriel; RAMÍREZ, John. *Fundamentos de limnología neotropical*. p. 155.

²⁸ ROLDAN, Gabriel. *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: propuesta para el uso del método BMWP/Col*. p. 60.

2.19. Dureza

La dureza del agua está definida por la cantidad de iones de calcio y magnesio presentes en ella, evaluados como carbonato de calcio y magnesio. Las aguas con bajas durezas se denominan blandas y biológicamente son poco productivas, por lo contrario, las aguas con dureza elevada duras son muy productivas, la productividad esta generalmente dada por unas pocas especies que se han adaptado a estas condiciones, aguas con durezas intermedias pueden poseer fauna y flora más variada, pero son menos productivas en términos de biomasa.²⁹

Tabla II. **Clasificación del agua de acuerdo con la dureza**

Mg CaCO₃/L	Grado de dureza
0 – 75	Blanda
75 – 150	Moderadamente Dura
150 – 300	Dura
> 300	Muy dura

Fuente: ROLDAN, Gabriel. *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: propuesta para el uso del método BMWP/Col.* p. 20.

2.20. Control de nutrientes

Para evaluar la calidad del agua de un cuerpo hídrico, es necesario evaluar su nivel de nutrientes ya que estos son los principales factores que determinarán el nivel trófico en el que se encuentra el cuerpo de agua.

En control de nutrientes, el fósforo y el nitrógeno son los principales parámetros para ser evaluados ya que estos dos son un indicador de un aumento de materia orgánica en el agua que puede ser transmitido por vertederos de aguas residuales, desechos de fertilizantes y actividades agrícolas. El exceso de nutrientes en los cuerpos de agua puede acelerar los procesos de eutrofización estimulando el crecimiento de algas o plantas

²⁹ ROLDAN, Gabriel. *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: propuesta para el uso del método BMWP/Col.* p. 60.

acuáticas que interfieran con el proceso natural de purificación de la laguna. Así mismo, el crecimiento de algas produce pérdida de diversidad biológica en el cuerpo hídrico debido a que las algas acaparan el oxígeno y no permiten que la luz del sol penetre para que los demás organismos puedan tener sus procesos naturales y se alimenten.

El crecimiento de algas produce olor desagradable en el cuerpo de agua y puede reducir los usos para el abastecimiento de agua, uso recreativo y uso como una fuente económica.

2.21. Nitrógeno, nitritos y nitratos

El nitrógeno es un elemento esencial para el crecimiento de algas y causa un aumento en la demanda de oxígeno al ser oxidado por bacterias reduciendo por ende los niveles de este. Las diferentes formas del nitrógeno son importantes en determinar para establecer el tiempo transcurrido desde la polución de un cuerpo de agua. En el tratamiento biológico de aguas residuales, los datos de nitrógeno amoniacal y orgánico son importantes para determinar si el residuo contiene suficiente nitrógeno para nutrir a los organismos. El nitrógeno se produce y descompone de la siguiente manera:³⁰

- Nitrógeno: el nitrógeno en las aguas residuales se encuentra en forma de urea y compuestos proteínicos debido a las descargas de las actividades antropogénicas.
- Nitritos y nitratos: estos se producen por medio de la oxidación bacteriana que se produce en el cuerpo hídrico por medio de un proceso aerobio. El nitrato es un indicador que el agua residual se ha estabilizado con respecto a la demanda de oxígeno presente.

³⁰ ROLDAN, Gabriel. *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: propuesta para el uso del método BMWP/Col.* p. 60.

2.22. Fósforo y fosfatos

El fósforo en un cuerpo de agua permite la formación de biomasa, la cual requiere un aumento de la demanda biológica de oxígeno para su oxidación aerobia, además de los procesos de eutrofización y consecuentemente crecimiento de fitoplancton. El fósforo en forma de ortofosfato es nutriente de organismos fotosintetizadores y por tanto un componente limitante para el desarrollo de las comunidades.³¹

2.23. Demanda química de oxígeno (DQO)

La demanda química de oxígeno es un parámetro que mide el material orgánico contenido en una muestra de agua mediante oxidación química; de igual forma mide la cantidad de oxígeno consumida por la porción de materia orgánica existente en la muestra y oxidable por un agente químico.

Para muestras de origen específico, la DQO se puede relacionar empíricamente con la DBO, el carbono o la materia orgánicos; la prueba se usa para controlar y monitorear un cuerpo de agua después que se ha establecido la correlación.

La demanda química de oxígeno DQO es la cantidad de equivalentes-gramo de agente oxidante gastados en la oxidación de los compuestos presentes en el agua, expresada en mg de oxígeno por litro de solución (mg/L).³²

2.24. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

El análisis de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es un procedimiento experimental, tipo bioensayo, que mide el oxígeno requerido por los organismos en sus procesos metabólicos al consumir la materia orgánica presente en las aguas residuales o naturales. Su aplicación permite calcular los efectos de las descargas de los efluentes domésticos e industriales sobre la calidad de aguas de los cuerpos receptores. Normalmente se mide transcurridos 5 días y se expresa en dióxígeno/litro.³³

³¹ ROLDAN, Gabriel. *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: propuesta para el uso del método BMWP/Col.* p. 60.

³² HINCAPIE, Margarita; CHAVERRA, Gloria. *Diagnóstico de aguas, Manual de laboratorio.* p. 85.

³³ *Ibíd.*

2.25. Nivel trófico

Para determinar la calidad del agua, es necesario evaluar su nivel trófico. Este se define como el rango en el que la materia orgánica provee a los lagos desde la cuenca y a través de la producción interna. En el crecimiento de algas y micrófitos en los lagos influyen las condiciones de luz y temperatura y la provisión de nutrientes limitantes del crecimiento. Debido a que los niveles de luz y temperatura son más o menos constantes en la región, lo trófico se determina principalmente por la disponibilidad de nutrientes limitantes de crecimiento. El fósforo se considera como el nutriente limitante del crecimiento de plantas en los ambientes de aguas frescas. Esto se debe a que los minerales de fósforo naturalmente ocurrientes son escasamente solubles, las entradas antropogénicas pueden afectar en forma dramática la velocidad de crecimiento de algas y macrófitos y la producción de materia orgánica.

Según su estado trófico, los cuerpos de agua se pueden clasificar: oligotrófico, eutrófico y mesotrófico.³⁴

Tabla III. **Clasificación de cuerpos de agua basada en sus estados tróficos**

Clasificación	
Oligotrófico	Pobres de nutrientes; bajos niveles de algas, macrófitos y materia orgánica; buena transparencia; oxígeno abundante.
Eutrófico	Rico en nutrientes; altos niveles de algas, macrófitos y materia orgánica; pobre transparencia; con frecuencia con agotamiento de oxígeno en el hipolimnion.
Mesotrófico	Zona intermedia; con frecuencia con abundante vida de peces debido a sus elevados niveles de producción de materia orgánica y provisión adecuada de oxígeno.

Fuente: MIHELIC, James; ZIMMERMAN, Julie Beth. *Ingeniería Ambiental fundamentos, sustentabilidad, diseño*; p. 322.

³⁴ HINCAPIE, Margarita; CHAVERRA, Gloria. *Diagnóstico de aguas, Manual de laboratorio*. p. 87.

2.26. Eutrofización

La eutrofización es un proceso natural que pueden sufrir los cuerpos lénticos en un tiempo determinado, sin embargo, este proceso se ve acelerado por un exceso de nutrientes que se derivan de diferentes actividades, especialmente antropogénicas.

Aunque tanto el nitrógeno como el fosforo contribuyen a la eutrofización, la clasificación del estado trófico normalmente se basa en el nutriente que representa una limitación. En la mayoría de los casos, el factor de limitante es el fósforo. Si bien los efectos de la eutrofización, como los florecimientos de algas, son fácilmente visibles, el proceso de eutrofización es complejo y ofrece dificultades de cuantificación.³⁵

2.27. Causas de la eutrofización

Las principales causas antropogénicas de procesos de eutrofización pueden ser:

- Una de las más antiguas causas es la descarga de aguas residuales, las cuales son ricas en nutrientes, contribuyendo al cambio trófico del cuerpo de agua receptor.
- El uso excesivo de fertilizantes, que genera una contaminación del agua fundamentalmente mediante el aporte de nitrógeno (en forma de sales de nitrato y amonio) y fósforo (como fosfato).
- La deforestación y la erosión en suelos agrícolas influyen en la carga de nutrientes, ya que los escurrimientos al pasar por una tierra que no tiene protección, lavan la capa fértil, llevándose consigo los nutrientes de esta.
- La presencia de gases ambientales tales como óxidos de nitrógeno y óxidos de azufre, al entrar en contacto con el agua atmosférica forman ion nitrato e ion sulfato, que forman sales solubles al alcanzar el suelo con los cationes del mismo, generando un empobrecimiento de dichos iones. Dichas sales son volcadas fácilmente en los cuerpos de agua, dando lugar a un proceso de eutrofización.³⁶

³⁵ MORENO, Daniela; QUINTERO, Jacqueline; LÓPEZ Armando. *Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia*. <http://www2.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n78ne/eutrofia2.pdf>.

³⁶ *Ibíd.*

2.28. Índice del estado trófico (IET)

El IET de un cuerpo léntico se obtiene por medio de la transparencia del agua determinada con el disco de Secchi. Los valores de 0 corresponden a una profundidad del disco secchi de 64 m y cada incremento de 10 m en el IET representa una reducción del 50 %. De igual manera, este índice puede determinarse a partir de otros parámetros como la concentración de clorofila y fósforo total.

Tabla IV. Escala de valores del estado trófico en los cuerpos de agua

Estado de eutrofia	IET	Disco Secchi (m)	Fósforo total (mg/m ³)	Clorofila(mg/m ³)
Oligotrófico (IET < 30)	0	64	0,75	0,04
	10	32	1,5	0,12
	20	16	3	0,34
	30	8	6	0,94
Mesotrófico (30 < IET < 60)	40	4	12	2,6
	50	2	24	6,4
	60	1	48	20
Eutrófico (60 < IET < 90)	70	0,5	96	56
	80	0,25	192	154
	90	0,12	384	427
Hipereutrófico (90 < IET < 100)	100	0,06	768	1 183

Fuente: MORENO, Daniela; QUINTERO, Jackeline; CUEVAS, Armando. *Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia*. p. 29.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Definición de las variables

En este estudio, se tomaron como variables dependientes los parámetros fisicoquímicos porque describen las características generales de la calidad del agua como lo es la temperatura, pH, conductividad eléctrica, transparencia, total de sólidos suspendidos, dureza y fósforo total. Las variables independientes son aquellas tomadas debido a criterios de contaminación o de posible variabilidad, derivados de actividades antropogénicas como lo es los puntos de muestreo, la profundidad de medición y la época estacional.

Tabla V. **Variables dependientes e independientes en el trabajo de campo**

Núm.	Variable	Unidades
Variables dependientes		
1	Temperatura	°C
2	pH	pH
3	Conductividad eléctrica	µs/m
4	Transparencia	metro
5	Total de sólidos suspendidos	mg/L
6	Dureza	mg/L
7	Fósforo Total	mg/L
Variables independientes		
1	Puntos de muestreo	Grados, minutos, segundos
2	Profundidad	Metro
3	Época estacional	Mes

Fuente: elaboración propia.

3.2. Delimitación del campo de estudio

- Área: laguna El Comendador
- Proceso: toma de muestras in situ.
- Ubicación: laguna El Comendador, entre los municipios de Pasaco y Moyuta, departamento de Jutiapa, Guatemala.

Figura 4. **Laguna El Comendador**



Fuente: elaboración propia.

3.3. Recursos humanos disponibles

- Investigador: Br. Ana Elisa Chew Aldana
- Asesor: Ing. Civil Dennis Salvador Argueta Mayorga
- Colaboradores: Br. José Rodolfo Portillo Samayoa

3.4. Recursos materiales disponibles

Se contó con instrumentación de captación de muestras en los diferentes puntos con capacidad de 1 L. Asimismo, con un equipo *in situ* para realizar mediciones de temperatura, pH, conductividad eléctrica y al mismo tiempo tomar parámetros físicos como la transparencia. El equipo fue facilitado por el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria Dra. Alba Tabarini, ubicado en la Universidad San Carlos de Guatemala.

3.4.1. Equipo de medición

- Potenciómetro
- Conductivímetro
- Disco Secchi
- Envase metálico para la toma de muestras a profundidad

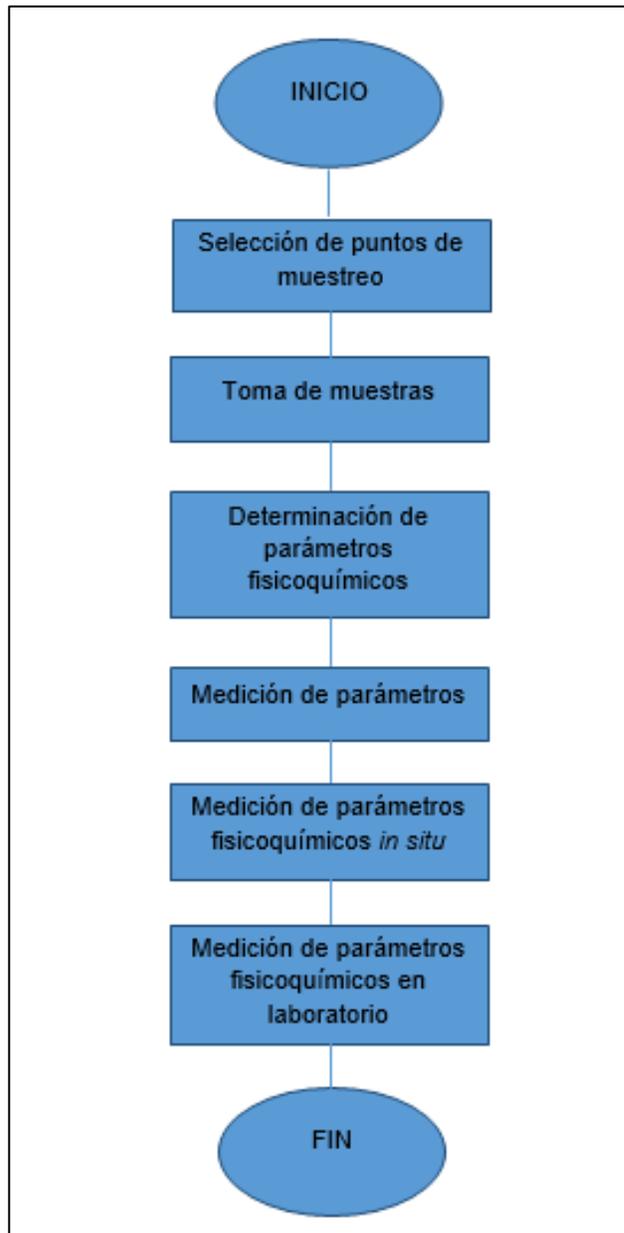
3.4.2. Equipo auxiliar

- Recipientes de 1 L.
- Hielera
- Metro

3.5. Técnica cualitativa o cuantitativa

La determinación de los parámetros fisicoquímicos del agua de la laguna, se realizaron en los meses de septiembre, octubre y noviembre del año 2018, tomando dos muestras en cada punto, una superficial y otra en el fondo una vez al mes para, determinar el nivel eutrófico de la laguna. Por tal razón, para este estudio se utilizó una técnica cuantitativa.

Figura 5. Diagrama de proceso



Fuente: elaboración propia.

3.5.1. Selección de puntos de muestreo

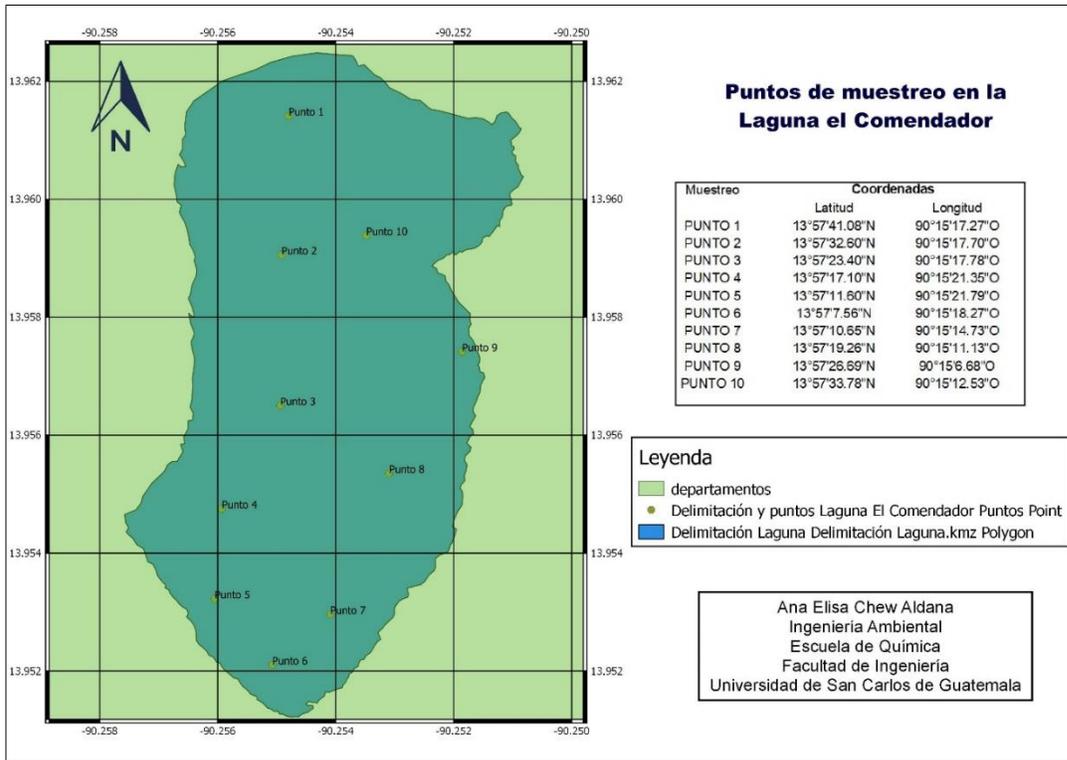
Se seleccionaron 10 puntos de muestreo tomando como base de interés las principales fuentes de contaminación de la laguna El Comendador, principalmente, áreas con actividades agrícolas cercanas y descarga de aguas residuales. Así también, sitios de interés por su ubicación como el centro y riberas de la laguna. Los puntos de muestreo fueron localizados por un Posicionador Geográfico Satelital (GPS). Los puntos son los siguientes:

Tabla VI. **Localización de los puntos de muestreo de la laguna el Comendador**

Muestreo	Coordenadas	
	Latitud	Longitud
PUNTO 1	13°57'41,08"N	90°15'17,27"O
PUNTO 2	13°57'32,60"N	90°15'17,70"O
PUNTO 3	13°57'23,40"N	90°15'17,78"O
PUNTO 4	13°57'17,10"N	90°15'21,35"O
PUNTO 5	13°57'11,60"N	90°15'21,79"O
PUNTO 6	13°57'7,56"N	90°15'18,27"O
PUNTO 7	13°57'10,65"N	90°15'14,73"O
PUNTO 8	13°57'19,26"N	90°15'11,13"O
PUNTO 9	13°57'26,69"N	90°15'6,68"O
PUNTO 10	13°57'33,78"N	90°15'12,53"O

Fuente: elaboración propia.

Figura 6. Puntos de muestreo en la laguna El Comendador



Fuente: elaboración propia.

3.5.2. Toma y transporte de muestras

Las muestras superficiales se tomaron en 10 puntos. En ellos, *in situ* se midieron los parámetros de temperatura, conductividad eléctrica y pH. Se seleccionaron 5 puntos de los determinados con anterioridad, por la importancia que revisten para la investigación en la toma de muestra superficial con parámetros *in situ* y fondo de la laguna. Estos fueron los puntos identificados como puntos 1, 3, 5, 7 y 9. En ellos, se tomaron muestras en recipientes con capacidad de un litro y se transportaron en una hielera fría para los análisis de los parámetros de fósforo total, dureza y total de sólidos suspendidos en el

Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria Dra. Alba Tabarini, ubicado en la Universidad San Carlos de Guatemala.

3.5.3. Determinación de parámetros fisicoquímicos

A continuación, se presenta la determinación de los parámetros físicoquímicos.

3.5.3.1. Mediciones *in situ*

En el trabajo de campo se midieron los siguientes parámetros en cada punto establecido, tanto con muestras de agua superficial como muestras de fondo: pH, temperatura, conductividad eléctrica, transparencia y profundidad. Estos fueron tomados utilizando un potenciómetro, para la medición de temperatura, pH y conductividad eléctrica y la transparencia se midió utilizando un disco de Secchi.

3.5.3.2. Mediciones en laboratorio

Del muestreo realizado en campo, se analizaron en laboratorio las muestras superficiales y de fondo de los puntos 1, 3, 5, 7 y 9. Se examinaron los parámetros sólidos suspendidos totales, dureza y fósforo total en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria Dra. Alba Tabarini, ubicado en la Universidad San Carlos de Guatemala.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

La caracterización fisicoquímica se realizó con muestras de agua de la laguna El Comendador tomadas *in situ* una vez al mes, en septiembre, octubre

y noviembre de 2018 y, al mismo tiempo, fueron tomadas muestras para ser analizadas en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria Dra. Alba Tabarini, ubicado en la Universidad San Carlos de Guatemala.

Tabla VII. **Modelo de toma de datos de parámetros fisicoquímicos *in situ* para muestra superficial**

Punto	Muestra	Temperatura °C	pH	Conductividad eléctrica mS/cm	Transparencia (m)	Profundidad (m)
1	Superficial					
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Modelo de toma de datos de parámetros fisicoquímicos *in situ* para muestra de fondo**

Punto	Muestra	Temperatura °C	pH	Conductividad eléctrica ms/cm	Transparencia (m)	Profundidad (m)
1	Fondo					
3						
5						
7						
9						

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. **Modelo de toma de datos de determinación de la dureza de muestras superficiales y fondo**

Punto	Muestra	Volumen desplazado (mL)	Dureza mg/L
1	Superficial		
	Fondo		
3	Superficial		
	Fondo		
5	Superficial		
	Fondo		
7	Superficial		
	Fondo		
9	Superficial		
	Fondo		

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Modelo de toma de datos de determinación de total de solidos suspendidos en las muestras superficiales y fondo**

Punto	Muestra	Filtro seco (g)	Volumen de la muestra (mL)	Filtro y materia (g)	TSS (g/mL)
1	Superficial				
	Fondo				
3	Superficial				
	Fondo				
5	Superficial				
	Fondo				
7	Superficial				
	Fondo				
9	Superficial				
	Fondo				

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. **Modelo de toma de datos de determinación del fósforo total en las muestras superficiales y fondo**

Punto	Muestra	Fósforo total (g/mL)
1	Superficial	
	Fondo	
3	Superficial	
	Fondo	
5	Superficial	
	Fondo	
7	Superficial	
	Fondo	
9	Superficial	
	Fondo	

Fuente: elaboración propia.

3.7. Análisis estadístico

La toma de muestras de agua se realizó en septiembre, octubre y noviembre del año 2018 tomando como intervalo para la toma de muestras una vez al mes.

En la toma de muestras *in situ* fueron analizadas un total de 60 muestras por los tres meses de estudio, dos muestras por cada punto; 30 fueron del agua superficial y las otras 30 fueron del agua de fondo de la laguna. A las anteriores muestras se le tomaron los parámetros de temperatura, pH, conductividad eléctrica, transparencia y profundidad.

Para el análisis de fósforo total, dureza y total de sólidos suspendidos se tomó una muestra superficial y una muestra de fondo en los puntos 1, 3, 5, 7 y 9

para un total de 10 muestras para analizar en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria Dra. Alba Tabarini.

Los datos se analizaron e interpretaron por medio de la media y los resultados en campo de los datos obtenidos. Asimismo, se realizaron gráficos para visualizar los parámetros evaluados en los diferentes meses de toma de muestras en cada punto de la laguna.

La ecuación por utilizar es la siguiente:

3.7.1. Cálculo de la media

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

\bar{X} : medida de los datos

$\sum \bar{X}$: sumatoria de las muestras

N : número de toma de muestras

3.7.2. Plan de análisis de los resultados

Los datos obtenidos de los parámetros fisicoquímicos de las muestras *in situ* y las muestras de laboratorio fueron analizados estadísticamente correlacionando las variables independientes con las variables dependientes. De igual manera se utilizaron gráficos para visualizar las tendencias de los parámetros y así mismo se compararon los niveles de contaminación del agua con la Norma Guatemalteca para calidad del agua y con normas internacionales para establecer su nivel de eutrofización.

3.7.3. Programas para el análisis de datos

- Google earth Pro: posicionador geográfico el cual se utilizará para la localización de los puntos de muestreo.
- Microsoft Excel 2013: hoja de cálculo para facilitar los cálculos requeridos por el estudio y los gráficos que lo integran.
- QGIS 2.18.11: graficador de Sistemas de Información Geográfica el cual se utilizará para obtener de una manera gráfica los resultados de los parámetros fisicoquímicos en cada punto de muestreo.

4. RESULTADOS

4.1. Parámetros *In situ*

Los resultados a continuación presentados son obtenidos a partir de las muestras *in situ* tomadas en cada punto de la laguna.

4.1.1. Temperatura

A continuación, se muestran los resultados de la temperatura superficial y fondo de la laguna medida en campo.

Tabla XII. **Temperatura superficial de la laguna en los diferentes puntos de muestreo y su promedio**

Punto	Temperatura °C			
	septiembre	octubre	noviembre	Promedio
1	32,00	31,00	30,10	31,03
2	31,30	30,00	31,00	30,77
3	30,50	31,00	31,20	30,90
4	31,00	30,80	31,10	30,97
5	30,80	29,30	31,00	30,37
6	31,40	28,90	30,60	30,30
7	32,30	29,60	31,00	30,97
8	32,00	28,70	30,90	30,53
9	32,00	29,40	30,60	30,67
10	31,60	29,30	30,70	30,53
Promedio	31,49	29,80	30,82	-

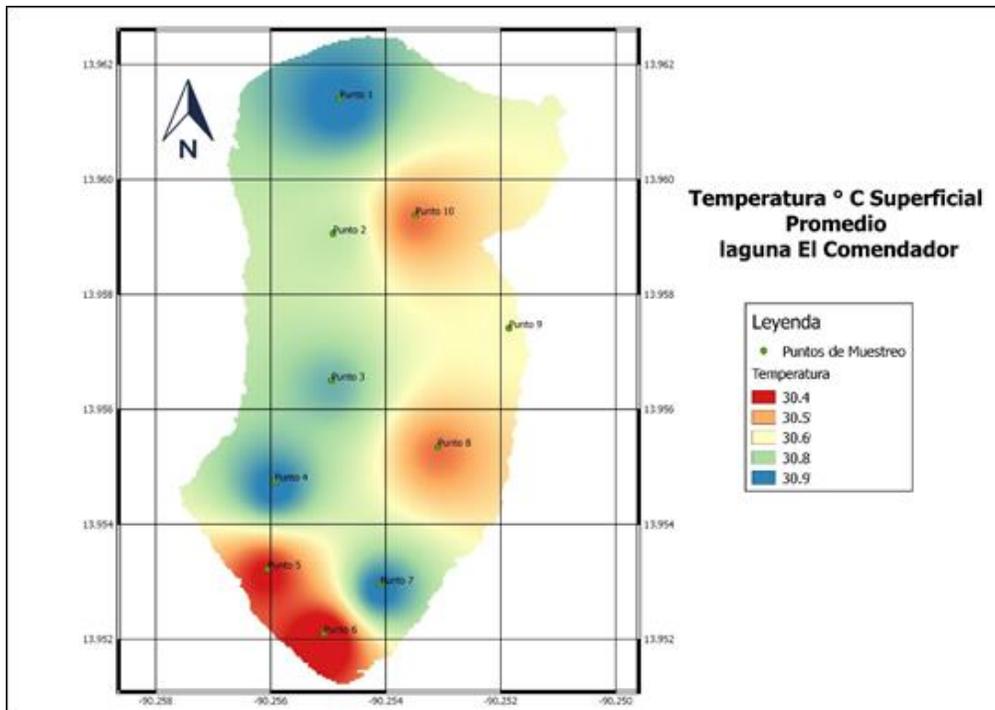
Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Temperatura al fondo de la laguna en los diferentes puntos de muestreo y su promedio**

Punto	Temperatura °C			
	septiembre	octubre	noviembre	Promedio
1	32,00	29,50	30,00	30,50
3	30,20	27,70	30,80	29,57
5	30,00	27,80	30,80	29,53
7	30,70	28,10	30,70	29,83
9	30,90	27,80	30,00	29,57
Promedio	30,76	28,18	30,46	-

Fuente: elaboración propia.

Figura 7. **Temperatura promedio superficial de la laguna**



Fuente: elaboración propia.

4.1.2. Conductividad eléctrica

A continuación, se muestran los resultados de la conductividad eléctrica superficial y fondo de la laguna medida en campo.

Tabla XIV. **Conductividad eléctrica superficial de la laguna en los diferentes puntos de muestreo y su promedio**

Punto	Conductividad eléctrica $\mu\text{S}/\text{cm}$			
	septiembre	octubre	noviembre	Promedio
1	206,00	107,40	152,40	155,27
2	178,40	105,90	150,70	145,00
3	178,80	105,00	151,60	145,13
4	177,70	104,80	151,80	144,77
5	178,60	105,80	152,20	145,53
6	178,30	105,50	152,80	145,53
7	177,70	103,90	153,80	145,13
8	178,70	104,00	152,50	145,07
9	178,90	103,80	152,40	145,03
10	176,50	105,00	153,80	145,10
Promedio	180,96	105,11	152,40	-

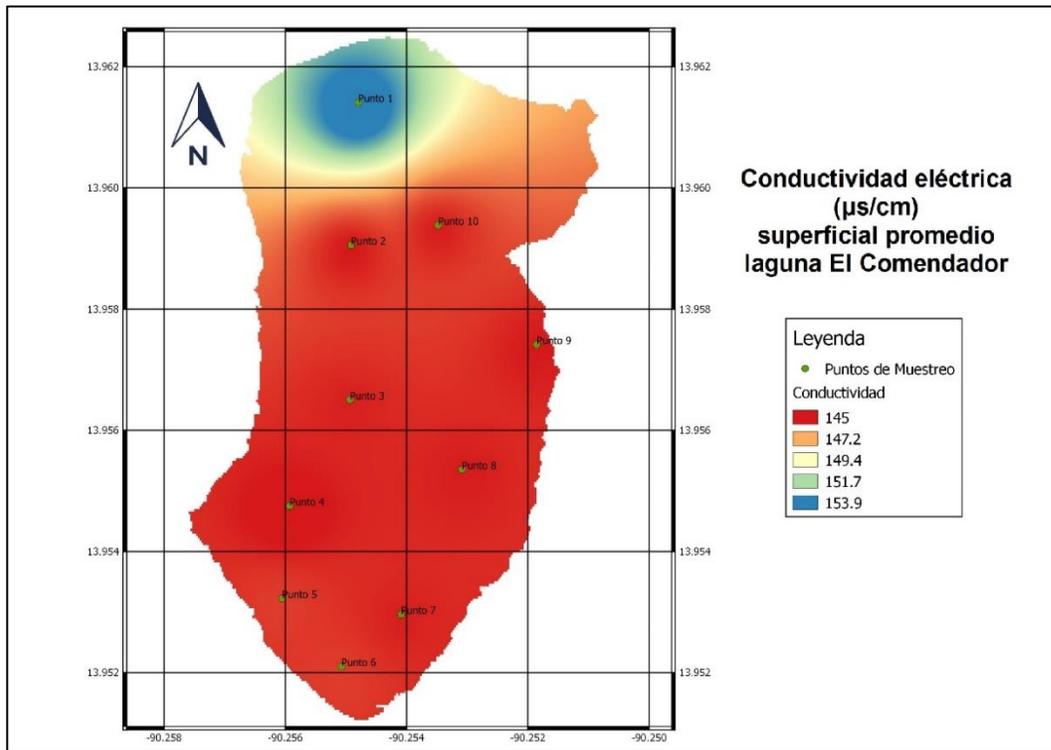
Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. **Conductividad eléctrica al fondo de la laguna en los diferentes puntos de muestreo y su promedio**

Punto	Conductividad eléctrica $\mu\text{S}/\text{cm}$				
	septiembre	octubre	noviembre	Promedio	Desviación Estándar
1	360,00	109,50	154,30	207,93	133,59
3	178,00	125,60	150,90	151,50	26,21
5	185,00	113,30	152,90	150,40	35,92
7	179,60	120,70	152,40	150,90	29,48
9	178,60	135,80	152,10	155,50	21,60
Promedio	216,24	120,98	152,52	-	-

Fuente: elaboración propia.

Figura 8. Conductividad eléctrica promedio superficial de la laguna



Fuente: elaboración propia.

4.1.3. Potencial de Hidrógeno (pH)

A continuación, se muestran los resultados del potencial de hidrógeno superficial y fondo de la laguna medido en campo.

Tabla XVI. **Potencial de Hidrógeno superficial de la laguna en los diferentes puntos de muestreo y su promedio**

Punto	pH			
	septiembre	octubre	noviembre	Promedio
1	7,70	8,00	6,80	7,50
2	7,30	6,80	7,00	7,03
3	7,20	6,80	6,90	6,97
4	7,20	5,70	6,80	6,57
5	7,10	5,90	6,10	6,37
6	7,00	5,70	6,30	6,33
7	7,10	5,70	6,30	6,37
8	6,70	5,70	6,60	6,33
9	6,70	6,10	6,80	6,53
10	6,30	6,70	6,60	6,53
Promedio	7,03	6,31	6,62	-

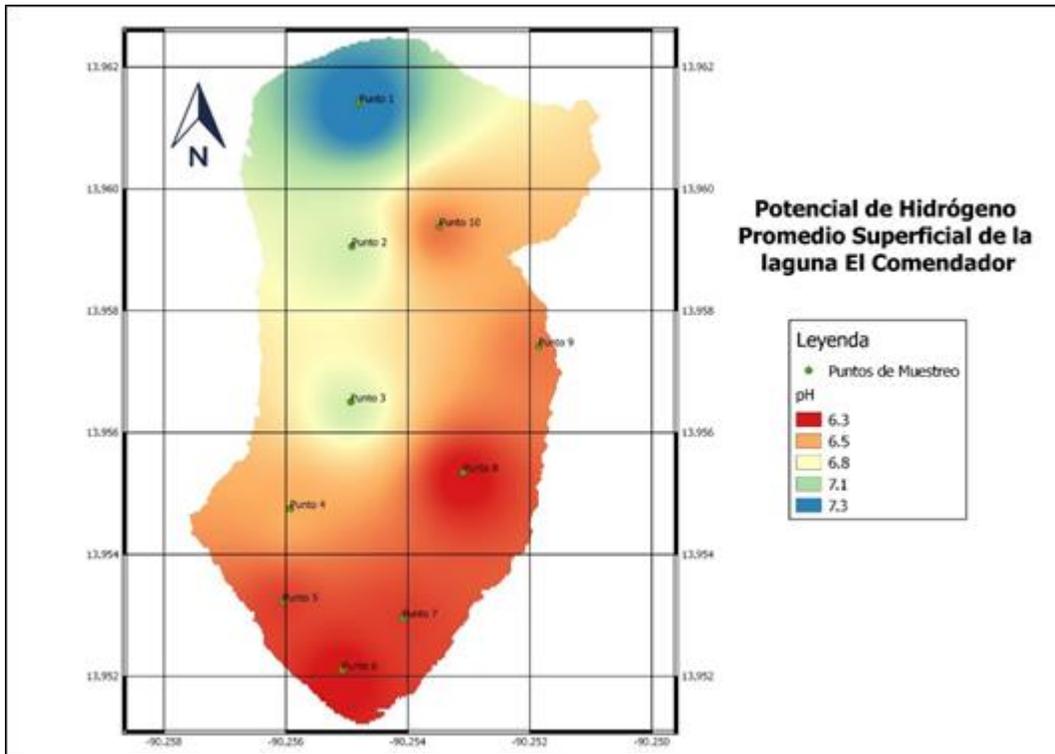
Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Potencial de Hidrógeno superficial de la laguna en los diferentes puntos de muestreo y su promedio**

Punto	pH			
	septiembre	octubre	noviembre	Promedio
1	6,40	6,30	6,90	6,53
3	6,30	5,80	6,40	6,17
5	6,10	5,80	6,50	6,13
7	5,60	5,60	6,00	5,73
9	6,00	5,50	6,50	6,00
Promedio	6,08	5,80	6,46	-

Fuente: elaboración propia.

Figura 9. **Potencial de Hidrógeno promedio superficial de la laguna**



Fuente: elaboración propia.

4.1.4. **Profundidad**

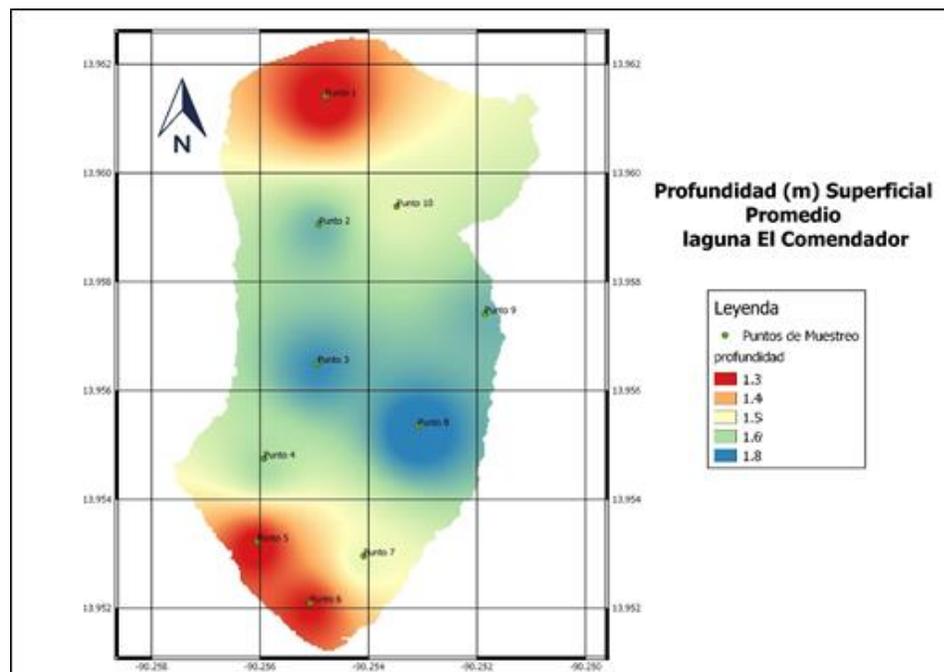
A continuación, se muestran los resultados de la profundidad de la laguna medida en campo.

Tabla XVIII. **Profundidad de la laguna en los diferentes puntos de muestreo y su promedio**

Punto	Profundidad m			Promedio
	septiembre	octubre	noviembre	
1	1,23	1,74	1,00	1,32
2	1,68	2,14	1,43	1,75
3	1,75	2,18	1,48	1,80
4	1,66	1,95	1,48	1,70
5	1,30	1,56	1,12	1,33
6	1,10	1,95	1,00	1,35
7	1,52	1,95	1,37	1,61
8	1,75	2,23	1,60	1,86
9	1,68	2,17	1,41	1,75
10	1,47	2,07	1,31	1,62
Promedio	1,51	1,99	1,32	-

Fuente: elaboración propia.

Figura 10. **Profundidad promedio superficial laguna El Comendador**



Fuente: elaboración propia.

4.1.5. Transparencia

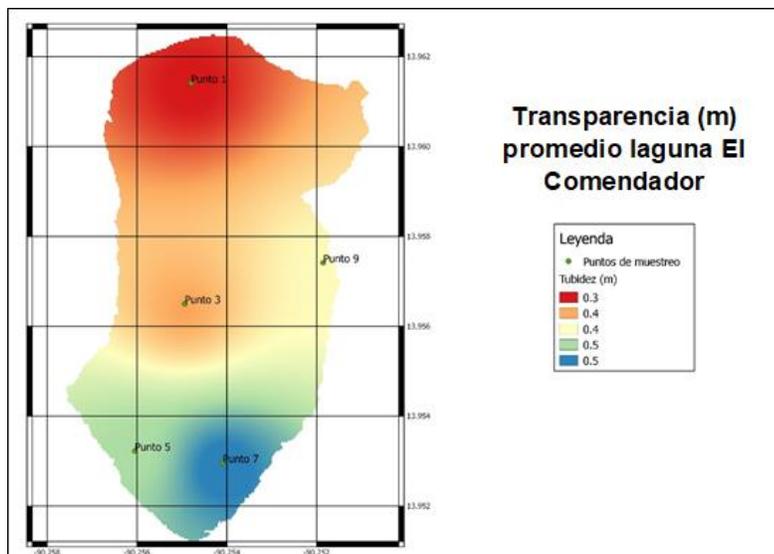
A continuación, se muestran los resultados de la transparencia de la laguna medida en campo.

Tabla XIX. **Transparencia de la laguna en los diferentes puntos de muestreo y su promedio**

Punto	Transparencia (m)			Promedio
	septiembre	octubre	noviembre	
1	0,40	0,40	0,34	0,38
3	0,42	0,45	0,43	0,43
5	0,42	0,60	0,56	0,53
7	0,56	0,64	0,56	0,59
9	0,55	0,48	0,41	0,48
Promedio	0,47	0,51	0,46	-

Fuente: elaboración propia.

Figura 11. **Transparencia promedio laguna El Comendador**



Fuente: elaboración propia.

4.2. Análisis fisicoquímicos realizados en laboratorio

Los resultados a continuación presentados son obtenidos a partir de las muestras tomadas en cada punto de la laguna y analizados en laboratorio.

4.2.1. Dureza

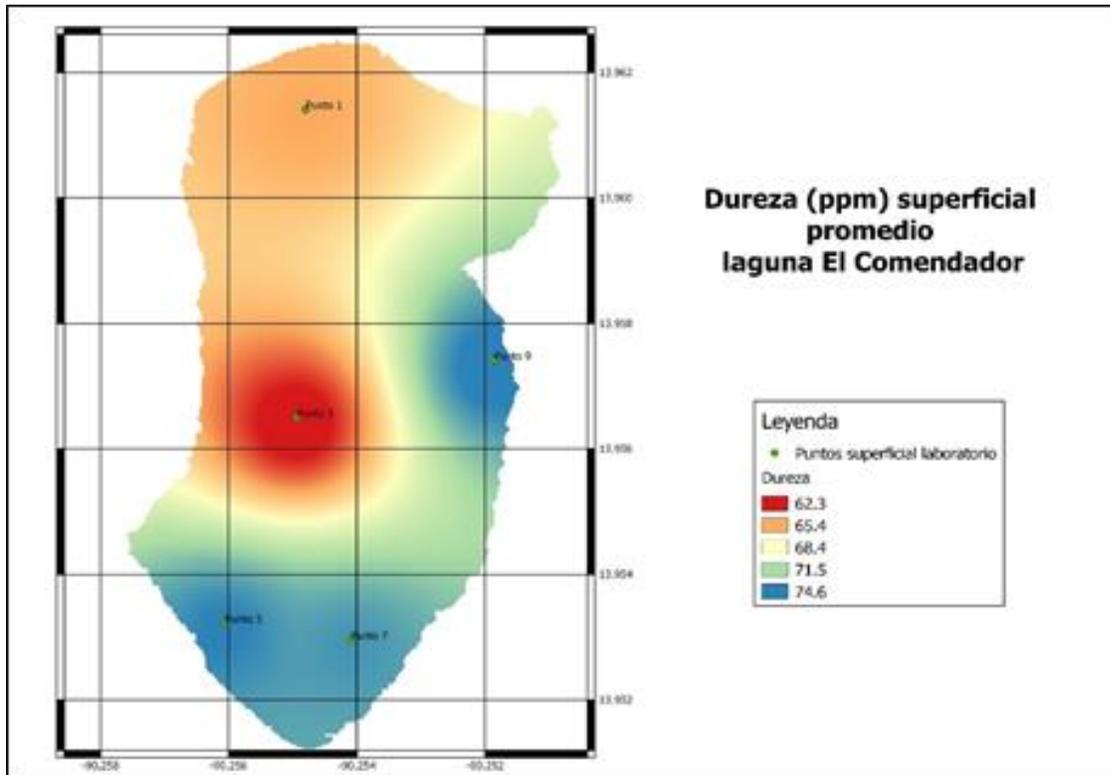
A continuación, se muestran los resultados de la dureza del agua de la laguna analizada en laboratorio.

Tabla XX. **Dureza de la laguna en los diferentes puntos de muestreo y su promedio**

Punto	Dureza ppm				Promedio
		septiembre	octubre	noviembre	
1	Superficial	74,00	48,00	74,00	65,33
	Fondo	86,00	86,00	78,00	83,33
3	Superficial	62,00	42,00	80,00	61,33
	Fondo	100,00	82,00	68,00	83,33
5	Superficial	100,00	42,00	82,00	74,67
	Fondo	96,00	64,00	64,00	74,67
7	Superficial	104,00	36,00	82,00	74,00
	Fondo	84,00	84,00	68,00	78,67
9	Superficial	106,00	36,00	84,00	75,33
	Fondo	78,00	62,00	72,00	70,67
Promedio superficial		89.20	40,80	80,40	70,13
Promedio fondo		88.80	75,60	70,00	78,13

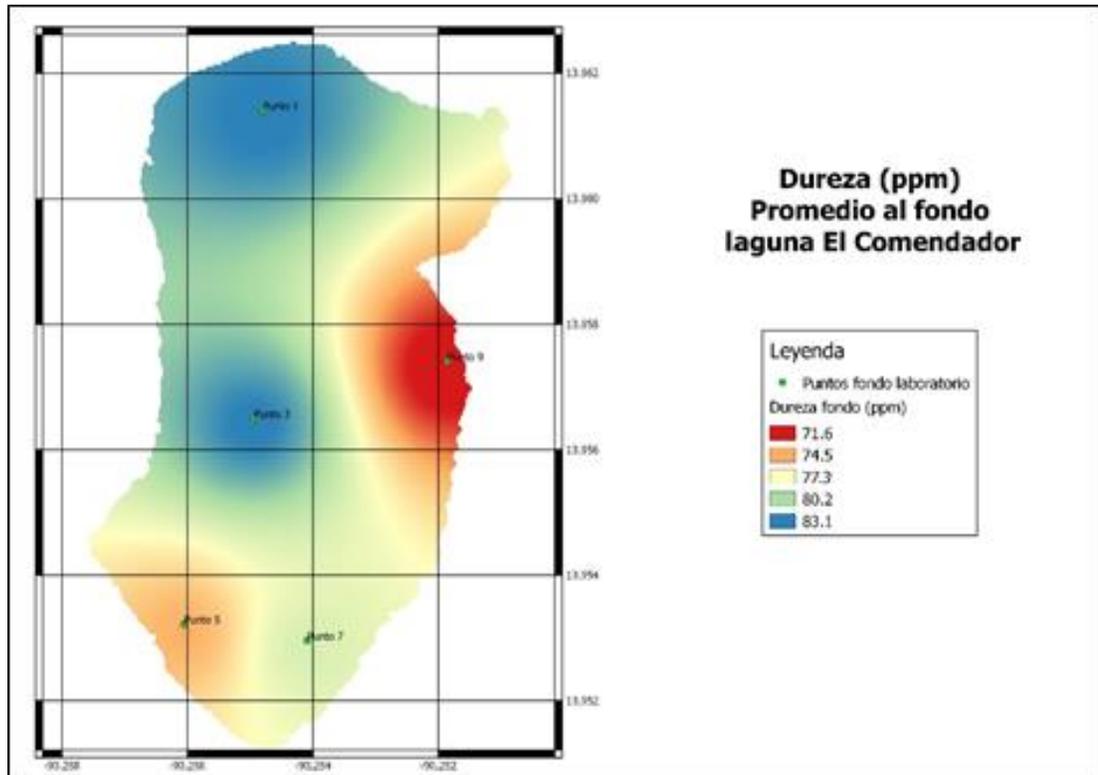
Fuente: elaboración propia.

Figura 12. Dureza superficial media laguna El Comendador



Fuente: elaboración propia.

Figura 13. Dureza fondo media laguna El Comendador



Fuente: elaboración propia.

4.2.2. Total de sólidos suspendidos (TSS)

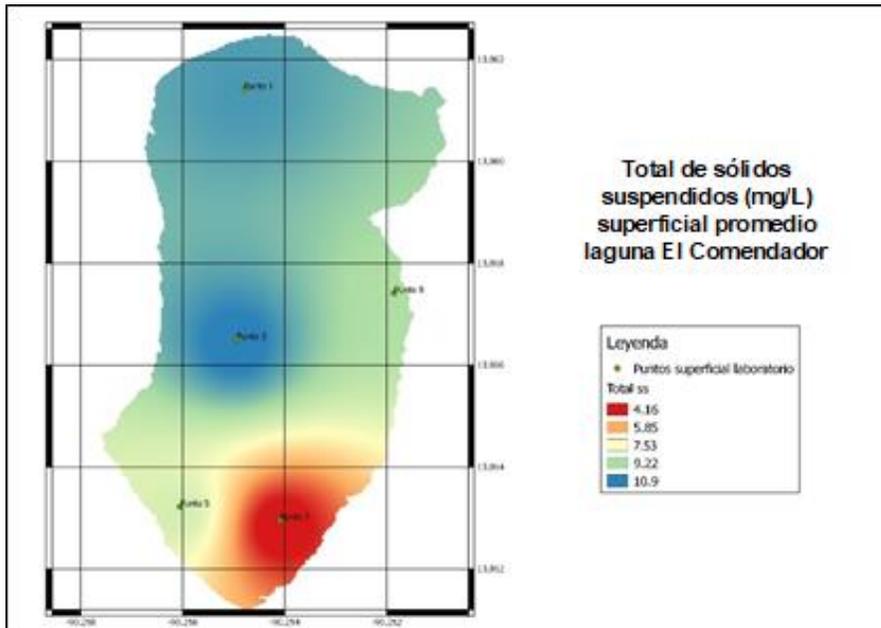
A continuación, se muestran los resultados del total de sólidos suspendidos del agua de la laguna analizada en laboratorio.

Tabla XXI. **Total de sólidos suspendidos de la laguna en los diferentes puntos de muestreo y su media**

Punto	Total de sólidos suspendidos mg/L				Promedio
		septiembre	octubre	noviembre	
1	Superficial	11,43	16,00	4,00	10,48
	Fondo	52,50	260,00	12,00	108,17
3	Superficial	25,71	4,00	4,00	11,24
	Fondo	22,80	32,00	4,00	19,60
5	Superficial	17,14	4,00	4,00	8,38
	Fondo	44,00	4,00	12,00	20,00
7	Superficial	2,86	4,00	4,00	3,62
	Fondo	47,70	24,00	4,00	25,23
9	Superficial	11,43	4,00	12,00	9,14
	Fondo	47,00	20,00	4,00	23,67
Promedio superficial		13,71	6,40	5,60	8,57
Promedio Fondo		42,80	68,00	7,20	39,33

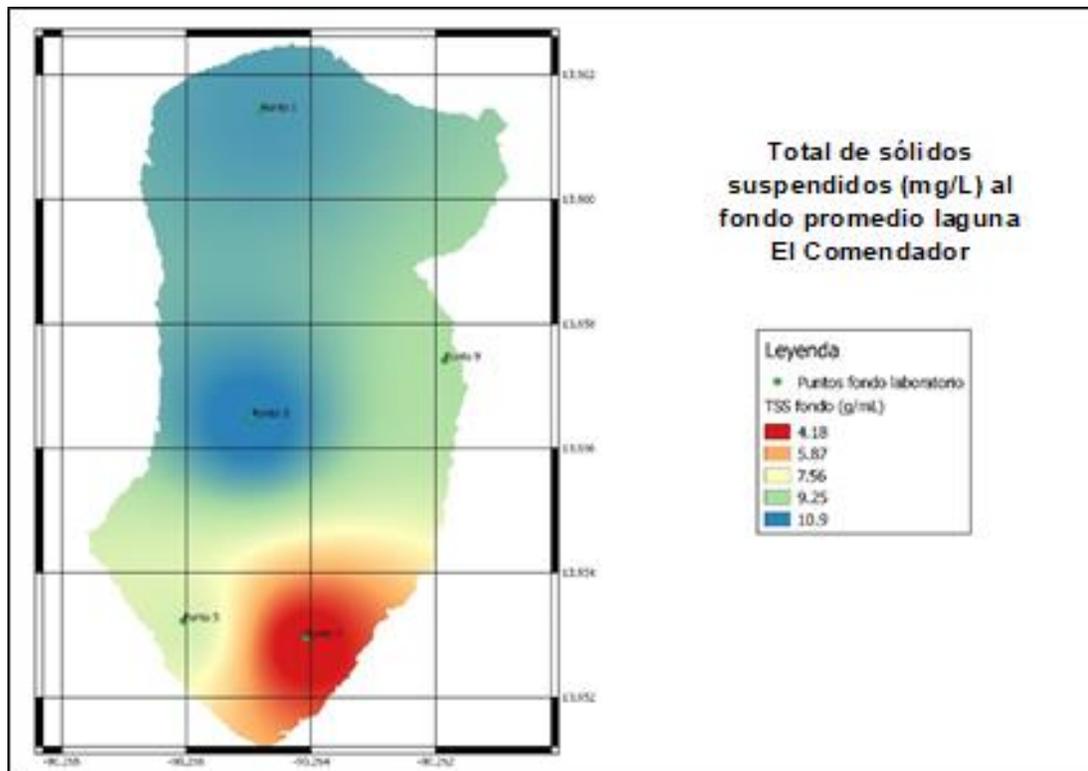
Fuente: elaboración propia.

Figura 14. **Total de sólidos suspendidos superficial media de la laguna**



Fuente: elaboración propia.

Figura 15. **Total de sólidos suspendidos fondo media de la laguna**



Fuente: elaboración propia.

4.2.3. **Fósforo total**

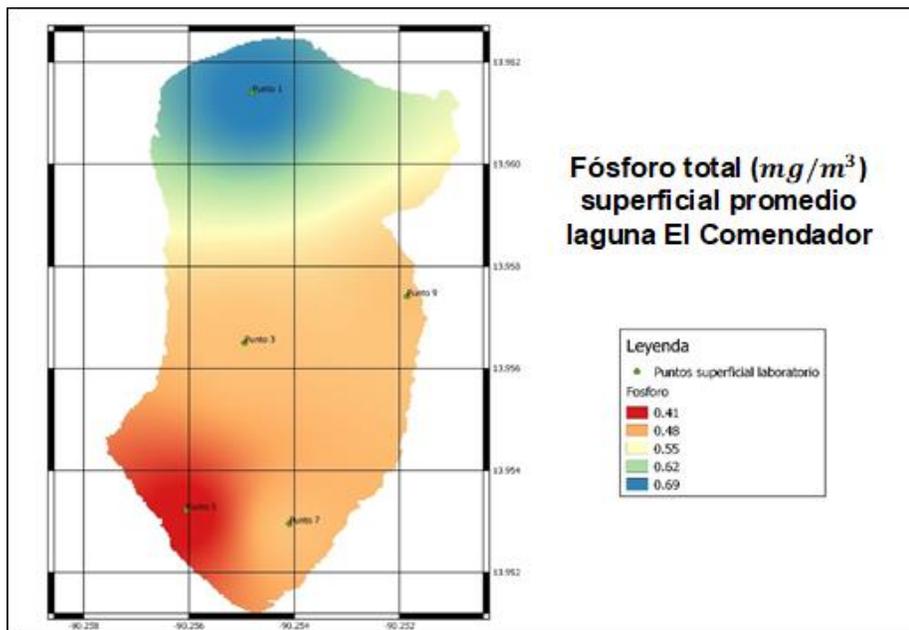
A continuación, se muestran los resultados de fósforo total del agua de la laguna analizada en laboratorio.

Tabla XXII. **Fósforo total de la laguna en los diferentes puntos de muestreo y su media**

Punto	Fósforo total mg/m^3				Promedio
		septiembre	octubre	noviembre	
1	Superficial	600,00	690,00	720,00	670,00
	Fondo	400,00	1140,00	610,00	716,67
3	Superficial	580,00	320,00	640,00	513,33
	Fondo	490,00	650,00	570,00	570,00
5	Superficial	240,00	470,00	600,00	436,67
	Fondo	350,00	1260,00	560,00	723,33
7	Superficial	560,00	320,00	520,00	466,67
	Fondo	2560,00	670,00	790,00	1340,00
9	Superficial	560,00	350,00	730,00	546,67
	Fondo	210,00	0,74	610,00	273,58
Promedio superficial		508,00	430,00	642,00	526,67
Promedio Fondo		802,00	744,15	628,00	724,72

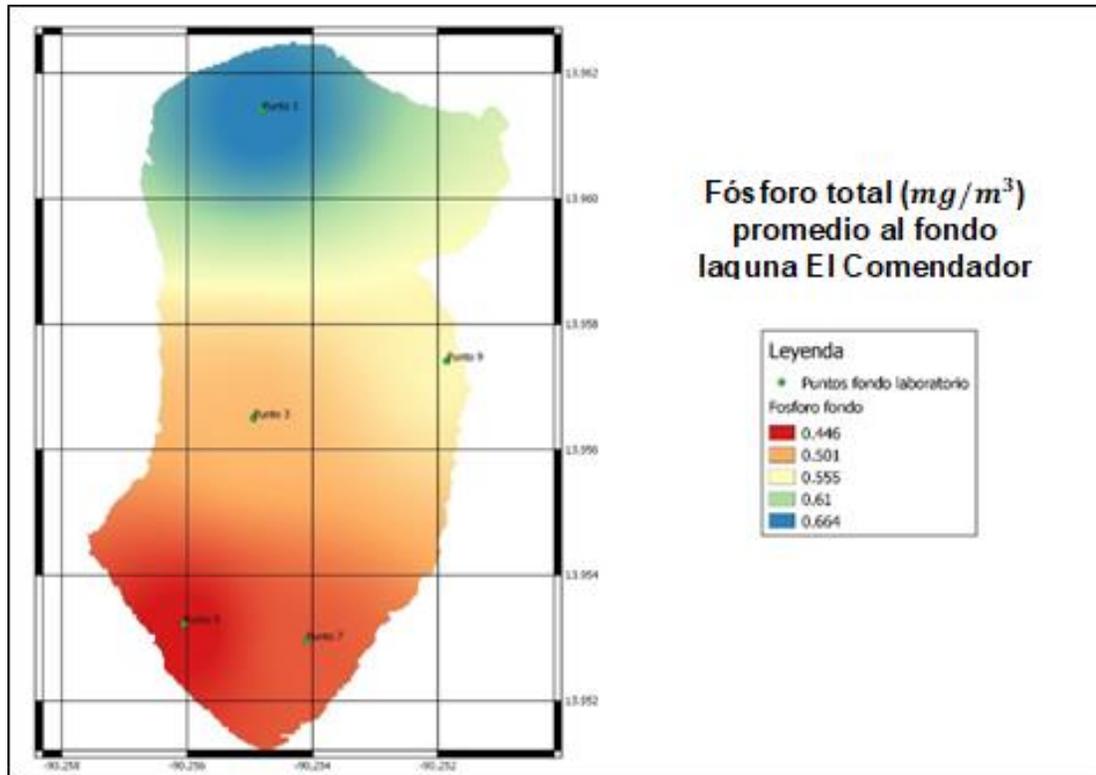
Fuente: elaboración propia.

Figura 16. **Fósforo total superficial media laguna El Comendador**



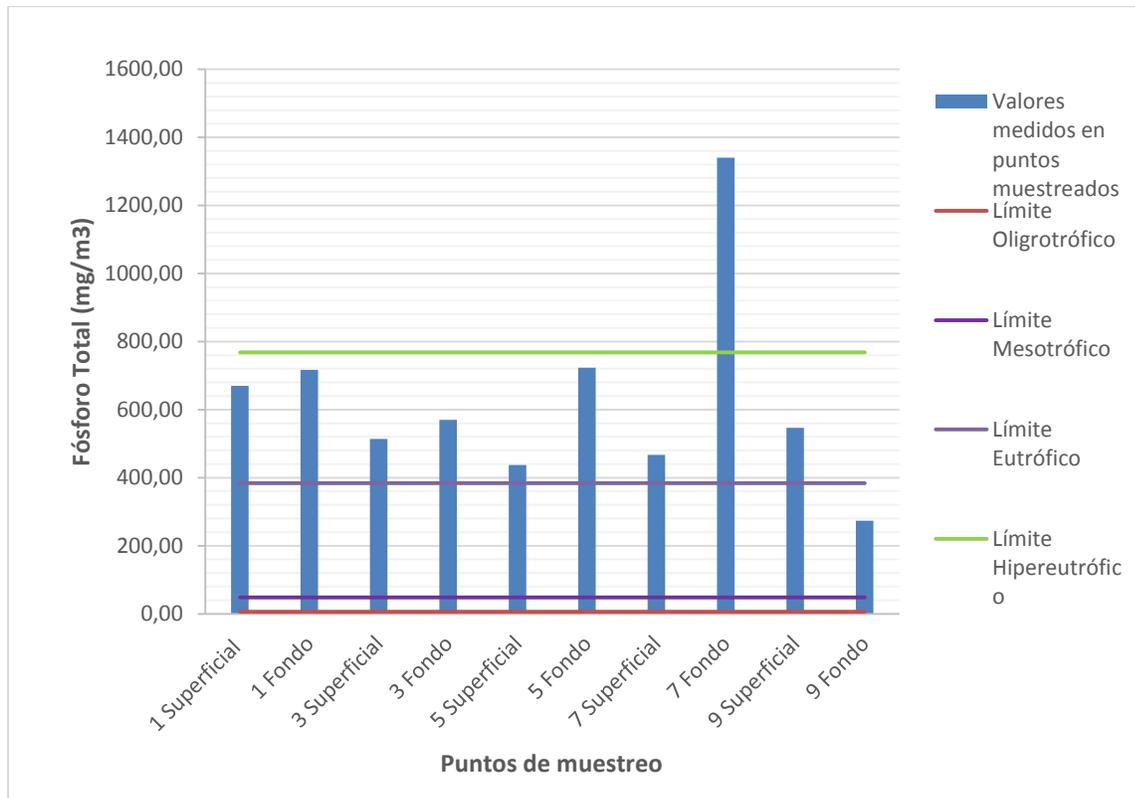
Fuente: elaboración propia.

Figura 17. Fósforo total al fondo media laguna El Comendador



Fuente: elaboración propia.

Figura 18. **Clasificación de estado trófico laguna El Comendador, según el contenido de Fósforo total (valores promedio septiembre, octubre y noviembre 2018)**



Fuente: elaboración propia.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El objetivo principal del estudio fue realizar una caracterización fisicoquímica de la laguna El Comendador, para determinar su nivel trófico por medio de la evaluación de la calidad del agua, tanto superficial como en el fondo, en 10 puntos de muestreo en los meses de septiembre, octubre y noviembre del año 2018. Estos resultados se compararon con los obtenidos en el estudio de “Línea base Laguna El Comendador, 2010”³⁷, para analizar el comportamiento de la calidad del agua luego de que transcurrieron ocho años desde que se realizó el estudio.

Los parámetros *in situ* considerados en el estudio fueron la temperatura, conductividad eléctrica, pH, transparencia y profundidad. La temperatura es un parámetro importante que se debe tomar en cuenta porque determina la solubilidad que pueden tener algunos gases y compuestos químicos provenientes de pesticidas. Asimismo, este factor es clave para los procesos metabólicos de los seres vivos en la laguna. Como se puede observar en el estudio realizado, la temperatura superficial media durante los tres meses de estudio fue de 30,7 °C. La más alta fue de 31,5 °C durante el mes de septiembre, cuando se observó el crecimiento de la ninfa en la laguna, como se muestra en el anexo 1. Cabe resaltar que los puntos que presentaron mayor temperatura fueron el 1, 4 y 7, donde había mayor cantidad de ninfa. La temperatura más baja, pero aun así, dentro de los rangos de la temperatura del área se registró en el mes de octubre con 29,8 °C.

³⁷ MARTÍNEZ, Pedro. *Línea base Laguna El Comendador*. https://www.marn.gob.gt/noticias/noticia/Ministerio_de_Ambiente_y_Recursos_Naturales_presenta_nuevo_sitio_web_.

Las temperaturas tomadas en el fondo evidencian una diferencia mínima con las obtenidas en la superficie. El cambio promedio fue de 0,5 °C durante los tres meses de medición. El punto 7 presentó un cambio de temperatura evidente de 1,6 °C en el mes de septiembre; sin embargo, los cambios de temperatura promedio son mínimos debido a que la profundidad promedio de la laguna es de 2 metros. Estos picos de temperatura pueden favorecer al crecimiento de ninfa en el área reduciendo así la cantidad de oxígeno.

Los resultados obtenidos en la Línea base del año 2010, muestran que la laguna se mantenía en rangos de temperatura de 29 a 32 °C, tanto en la superficie como en el fondo, sin embargo, resaltan que el punto 9 presentaba mayor temperatura. Esto evidencia que la temperatura de la laguna en el año 2018 continua entre los mismos rangos, pero los puntos de mayor concentración de calor cambiaron del punto 9 al punto 1 en el año 2018.

“La conductividad eléctrica es la medida de iones presentes en el agua y sirve como indicador de la presencia de fertilizantes inorgánicos provenientes de actividades antropogénicas”.³⁸ Para la medición de la conductividad eléctrica, la temperatura afecta en gran medida la disolución de los iones; por tal razón, según el Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos, se debe tomar una temperatura de referencia y calibración del equipo a 25 °C para la toma de muestras.

“Cuando los valores habituales de conductividad eléctrica son menores de 50 μ S/cm indican aguas de bajo contenido iónico y las concentraciones de

³⁸ ROLDÁN, Gabriel; RAMÍREZ, John. *Fundamentos de limnología neotropical*. p. 225.

500 hasta 2 000 $\mu\text{S/cm}$ se relacionan con las aguas fuertemente mineralizadas”.³⁹

Durante los muestreos se puede observar que la conductividad eléctrica promedio más alta se obtuvo en el mes de setiembre con 181 $\mu\text{S/cm}$ y con 1 55,3 $\mu\text{S/cm}$ en el punto 1, mientras que la más baja fue en octubre con 105,1 $\mu\text{S/cm}$.

Cabe resaltar que, entre los meses de septiembre y noviembre los resultados son similares, sin embargo, en octubre hubo una disminución media de 76 $\mu\text{S/cm}$. La causa podría ser que, en octubre, según los datos de precipitación de la estación Montufar del INSIVUMEH año 2018, hubo mayor precipitación lo cual contribuye a la dilución de los iones relacionados con fertilizantes como cloro, sulfato y potasio.

Tomando en cuenta los resultados promedio durante los meses del estudio, se puede determinar que la laguna se encuentra en un punto medio de concentración de minerales entre 50 a 500 $\mu\text{S/cm}$, lo cual indica una aceleración en el proceso de eutrofización. Los valores promedio obtenidos en la Línea Base 2010, se encuentran entre 154 a 176 $\mu\text{S/cm}$, por lo cual se evidencia un aumento de este parámetro durante los años. El crecimiento poblacional y agricultor en las laderas de la laguna pudo causar el aumento porque se genera mayor contaminación por el uso de fertilizantes, pesticidas y aguas residuales.

“El potencial de hidrógeno (pH) es una variable que determina la acidez o la basicidad de una solución. La composición de los terrenos que conforman la cuenca de la laguna puede afectar este factor ya que por medio de escorrentía estos se descomponen alterando este parámetro; también los pesticidas y

³⁹ ROLDÁN, Gabriel; RAMÍREZ, John. *Fundamentos de limnología neotropical*. p. 225.

actividades antropogénicas contribuyen a su variación. En los ecosistemas neotropicales el pH varía en valores entre 6 a 9".⁴⁰

Al compararlo con los resultados obtenidos en las muestras superficiales, el pH se encuentra en un rango de 6,3 a 7,0, es decir que el agua se encuentra neutra y es apta para los sistemas biológicos; sin embargo, las muestras tomadas en el fondo tienen una tendencia ácida con un rango de 5,7 a 6,5. Los valores menores a 5,8 pueden causar complicaciones para el desarrollo de la vida acuática.⁴¹

Octubre presentó los rangos de pH más altos y bajos con 5,7 en los puntos 6, 7 y 8. Esto podría deberse al aumento de ninfa o afluentes que alteren el pH. En la Línea Base 2010, los valores de pH se encontraban de 6,5 a 7,5, por lo cual la variación promedio se mantiene en los mismos rangos.

“La transparencia del agua es la capacidad que tiene o puede perder un cuerpo de agua por partículas en suspensión, coloidales o insolubles en el agua proveniente de sedimentos de la erosión, crecimiento de algas, presencia de fitoplancton o descarga de efluentes”.⁴² Una laguna con una transparencia alta limita el paso de la luz solar afectando la fotosíntesis de las plantas y además reduce la concentración de oxígeno lo cual dificulta la vida acuática. En los resultados obtenidos, se puede observar que la transparencia del agua es más baja en los meses de septiembre y noviembre ya que esta fue de 0,47 y 0,46 metros respectivamente. Cuando su profundidad promedio en esos meses fue de 1,5 y 1,3 metros, lo cual representa una altura del 36 % de la laguna en la cual el disco secchi ya no era visible. Sin embargo, los valores en esos dos meses presentaron mejores resultados debido a que la precipitación disminuyó y favoreció la sedimentación de las partículas coloides que se atribuye a la transparencia. En octubre la transparencia disminuyó un poco respecto a los otros dos meses con 0,51 metros de transparencia y con una profundidad promedio de 2,0 metros, esto representa el 25,5 % de la altura de la laguna. La

⁴⁰ ROLDÁN, Gabriel; RAMÍREZ, John. *Fundamentos de limnología neotropical*. p. 207.

⁴¹ *Ibíd.*

⁴² *Ibíd.* p. 318.

causa puede atribuirse al aumento en la precipitación durante este mes que provocó un mayor movimiento de partículas en la laguna aumentando así la transparencia del agua.

Durante el estudio de la Línea Base 2010, se comprobó que casi toda la laguna tenía la misma transparencia. El punto 7 presentó mayor transparencia con 0,7 metros. En el año 2018 se evidenció que la laguna mantiene una transparencia promedio de 0,38 a 0,59 metros en los puntos medidos y, el punto 7, es el que presenta una mayor transparencia con 0,59 metros. Por tal razón, se puede determinar que el cambio en la transparencia de la laguna es mínimo tomando en cuenta que han transcurrido ocho años del estudio.

“La dureza indica la cantidad de iones de carbonato de calcio y magnesio presentes en el agua los cuales pueden llegar a limitar la productividad biológica de las mismas”.⁴³ Los resultados obtenidos determinan una dureza promedio superficial en los rangos de 65 a 75 ppm durante los 3 meses y las muestras tomadas en el fondo se observa un leve aumento con una dureza de 70,7 a 83,3. “Sin embargo, no es significativa y se puede clasificar como una dureza de suave a media ya que no sobrepasa los 150 ppm tanto superficial como fondo”.⁴⁴ “Las durezas intermedias permiten conservar una flora y fauna variada pero disminuye la cantidad de materia orgánica formada de los desechos orgánicos que puede ser aprovechada por las plantas por medio de la fotosíntesis”.⁴⁵ Los aumentos de la dureza durante los meses de septiembre y noviembre se pueden deber a la precipitación, ya que por medio de la escorrentía, esta puede atravesar áreas con suelos calizos aumentando así la cantidad de carbonatos de calcio presentes en la laguna.

⁴³ HINCAPIE, Margarita; CHAVERRA, Gloria. *Diagnóstico de aguas, Manual de laboratorio*. p. 42.

⁴⁴ ROLDAN, Gabriel. *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: propuesta para el uso del método BMWP/Col*. p. 135.

⁴⁵ *Ibíd.*

En el estudio Línea Base 2010, la dureza superficial se encontraba en rangos de 45 a 75 ppm y en el año 2018 estos rangos aumentaron de 65 a 75 ppm. Respecto a la dureza de fondo, en el año 2010 los rangos variaban de 45 a 95 ppm y en el año 2018 de 70 a 83 ppm. En ambas mediciones, superficiales y fondo, se puede evidenciar un aumento significativo de la dureza.

El total de sólidos suspendidos se relaciona a la cantidad de materia insoluble que se encuentra suspendida o disuelta en el agua. Este factor afecta directamente a la flora y fauna de la laguna causando algún tipo de congestión en las branquias de los peses y también limitando la fotosíntesis al bloquear la penetración de la luz solar.⁴⁶

Resultados obtenidos demuestran una mayor cantidad de sólidos suspendidos al fondo de la laguna en el mes de setiembre y octubre con 42,8 y 68 mg/L respectivamente, mientras que en las muestras superficiales estas fueron de 13,7 y 6,4 mg/L, este aumento respecto del mes de noviembre con 5,6 mg/L en las muestras superficial y 7,2 mg/L al fondo, se podría deber al aumento de ninfa en esos meses ya que se observó un aumento significativo de esta sobre toda la laguna. En noviembre, los pobladores aledaños que se dedican a la pesca realizaron una limpieza de la ninfa presente (anexo 1), disminuyendo así, la cantidad de materia no soluble en el agua. También cabe resaltar la diferencia de valores con las muestras de fondo a las superficiales, una de las mayores causas de lo anterior es que los sólidos suspendidos tienden a sedimentar debido al peso de las partículas coloidales por lo que su mayoría se encuentra al fondo de la laguna.

Los puntos con mayor total de sólidos suspendidos tanto en el año 2010 como en el 2018 fueron el No. 1 y 9 los cuales tienen relación con las orillas de

⁴⁶ JIMÉNEZ, Susan; JUÁREZ, Julio; TRUJILLO, Luis; DUBÓN, Silvia, VALENZUELA, Oscar; CASTRO, Alfa. *Calidad de agua de la Cuenca y lago de Amatitlán, división de control, calidad ambiental y manejo de lagos*. p. 15.

la laguna y tienden a ser más afectadas debido a las poblaciones cercanas a ellas.

El fósforo es un componente vital del ciclo biológico y, generalmente, es el agente limitante del crecimiento de algas y plantas acuáticas porque en la naturaleza este se encuentra en menor cantidad. Por lo tanto, un aumento repentino de algas en las lagunas, suele ser un indicador de contaminación por actividades antropogénicas como fertilizantes, pesticidas o descarga de aguas residuales. Las concentraciones de fósforo disuelto se encuentran, por lo general, en el rango de 0,01-0,1 mg/L, excediendo pocas veces a 0,2 mg/L.⁴⁷

Los valores de fósforo total obtenidos durante las mediciones del agua superficial sobrepasan los valores promedio con un rango de 0,4 a 0,5 mg/L lo cual indica una alta contaminación por agentes externos. En las mediciones de agua en el fondo, estos valores incrementan aún más que en el agua superficial, se encuentran en rangos de 0,6 a 0,9 mg/L. Estos valores tienden a ser mayores debido a la sedimentación de las partículas en el fondo de la laguna.

Como se mencionó, las concentraciones de fósforo son mayores en el fondo que en la superficie de la laguna, esto se evidencia en los puntos 1 y 7 que mantienen las concentraciones más altas con un máximo de 1,34 mg/L. Sin embargo, en el año 2010, los valores de fósforo al fondo de la laguna se encontraban en un máximo de 0,3 mg/L, por lo cual indica un aumento significativo en este parámetro. Los aumentos en las concentraciones de fósforo provocados por el crecimiento poblacional en las laderas de la laguna y las actividades agrícolas cercanas han acelerado la eutrofización de la laguna ya que en 2010 el estudio Línea base clasificó el cuerpo de agua en proceso de eutrofización y en el año 2018, estos valores se encuentran sobre los límites máximos de estos.

⁴⁷ ROLDÁN, Gabriel; RAMÍREZ, John. *Fundamentos de limnología neotropical*. p. 250.

La eutrofización es el enriquecimiento de nutrientes presentes en el agua, principalmente, de fósforo y nitrógeno los cuales pueden desencadenar el crecimiento desmedido de plantas acuáticas. Aunque tanto el nitrógeno como el fósforo contribuyen a la eutrofización, sugiere que la clasificación del estado trófico normalmente se basa en el nutriente que representa una limitación que, en la mayoría de los casos, es el fósforo. También se indica que otro parámetro a tomar en cuenta para esta clasificación es la transparencia del agua, ya que representa la cantidad de luz que penetra por columna de agua.

Como se observa en la figura 17 basada en la escala de valores del estado trófico en los cuerpos de agua, la laguna El Comendador se encuentra sobre los valores del estado eutrófico de 384 mg/m³. Se clasifica como hipereutrófico porque sus valores de fósforo se encuentran con valores entre 400 a 900 mg/m³ y su profundidad medida con el disco secchi de 0,4 m y 0,6 el valor más alto, el cual se presentó en el punto 7. Estos valores y clasificación pueden variar y verse afectada por la época climática evaluada provocando así que esta cambie en la clasificación.

CONCLUSIONES

1. Se determinó que, de los tres meses de muestreo, octubre presentó mejores resultados respecto de los meses de septiembre y noviembre en los cuales los resultados obtenidos de los parámetros son similares en sí. Esto pudo ser causado por el cambio de las condiciones meteorológicas sobre el mes de octubre que, según el INSIVUMEH, en la estación meteorológica Montufar ubicada en la región, la precipitación en ese mes tuvo un aumento del 6,65 %, provocando así una mejora en los parámetros obtenidos.
2. Los resultados de calidad de agua de la laguna El Comendador muestran que la dureza es blanda. De los sólidos suspendidos totales se evidencia un aumento significativo al fondo de la laguna respecto a los valores superficiales, sobre todo, en septiembre, asimismo el punto 1 muestra en promedio un valor superior a los demás puntos, esto debido a que este punto se encuentra más cercano a la orilla siendo más probable que las personas alteren el ecosistema.
3. Los resultados analizados muestran que, dada la poca profundidad de la laguna, la mayoría de sus características, al fondo y superficial, se encuentran homogéneas. El parámetro de temperatura *in situ* osciló entre 29 a 31 °C en una profundidad media máxima de 186 m, la conductividad presentó valores menores a 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Esto indica el bajo contenido iónico en el agua. Se considera una diferencia en el pH de 1 unidad entre el agua superficial y el fondo. El agua de fondo presenta un pH promedio fondo de 5,7, por lo cual se le considera más ácida. La

transparencia promedio de la laguna se mantiene en un rango de 0,4 a 0,6 metros de profundidad por punto, siendo el punto 7 la mayor transparencia con 0,60 en promedio. Octubre fue el mes que presentó mayor transparencia.

4. La laguna El Comendador se puede clasificar en estado hipereutrófico tomando en cuenta su concentración promedio de fósforo total superficial entre los valores de 500 y 700 mg/m^3 y su valor de transparencia entre los 0,4 y 0,6 metros.
5. Respecto al estudio Línea Base Laguna El Comendador realizado en 2010, se puede evidenciar que, en 2018, hubo aumento en los parámetros de dureza con un aumento de 70 ppm a 74,13 ppm promedio, fósforo total de 320 mg/L a 625 mg/L promedio y su disminución en la profundidad de 2 metros a 1,61 metros. El conjunto de estos parámetros provocó que la clasificación de la laguna pasara de límites eutróficos a hipereutróficos.

RECOMENDACIONES

1. Para una caracterización y análisis más completo de la laguna El Comendador, se debe realizar la toma de muestras en época de verano para tener una comparación entre los resultados de diferentes épocas y poder evaluar el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos en cada época. Asimismo, para una mejor evaluación de la laguna, se recomienda buscar otros puntos de muestreo de interés que no se hayan tomado en cuenta en este estudio.
2. Para un monitoreo más completo en los puntos seleccionados, se encarga tomar en cuenta los parámetros de DBO, DQO, nitrógeno total, alcalinidad y coliformes fecales para ser analizados en laboratorio, ya que esto dará una mejor idea de las principales fuentes de contaminación que afectan al cuerpo de agua.
3. Que la toma de muestras de los parámetros *in situ* de temperatura, pH, conductividad eléctrica y transparencia, se realice en la superficie, mitad y fondo de la laguna para obtener mapas donde se puedan evaluar los cambios según las diferentes profundidades y ver como estos se ven concentrados en ciertas áreas de la laguna.
4. Para la determinación del nivel trófico de la laguna El Comendador, se debe tomar en cuenta los parámetros de clorofila y nitrógeno total ya que estos también son tomados en cuenta por el índice propuesto por Carlson y dará una mejor idea del estado trófico de la Laguna.

5. Para futuro seguimiento al estudio, se aconseja buscar estudios técnicos realizados respecto a la caracterización del agua en la laguna El Comendador para facilitar el seguimiento a los parámetros y puntos evaluados y así poder establecer un monitoreo continuo que permita generar datos confiables para predecir el comportamiento futuro.

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*. Trabajo de graduación de Ing. Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS). Facultad de Ingeniería, Universidad San Carlos de Guatemala, 2011. 196 p.
2. CIDTA. *Calidad, cantidad y contaminación del agua*. [en línea]. <http://cidta.usal.es/cursos/agua/modulos/conceptos/uni_03/u4c1s1.htm>. [Consulta: diciembre de 2019].
3. DUARTE, José. *Variación de los parámetros fisicoquímicos de la laguna el Pino que degradan el agua a través del tiempo*. [en línea]. <<http://eris.ingenieria.usac.edu.gt/revistaERIS/index.php/2016/04/22/variacion-de-los-parametros-fisicoquimicos-de-la-laguna-el-pino-que-degradan-el-agua-a-traves-del-tiempo/>>. [Consulta: 10 de enero de 2018].
4. _____. *Caracterización fisicoquímica del agua de la laguna El Pino, ubicada entre los municipios de Barberena y Santa Cruz Naranjo del departamento de Santa Rosa de la república de Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS). Facultad de Ingeniería, Universidad San Carlos de Guatemala, 2014. 175 p.

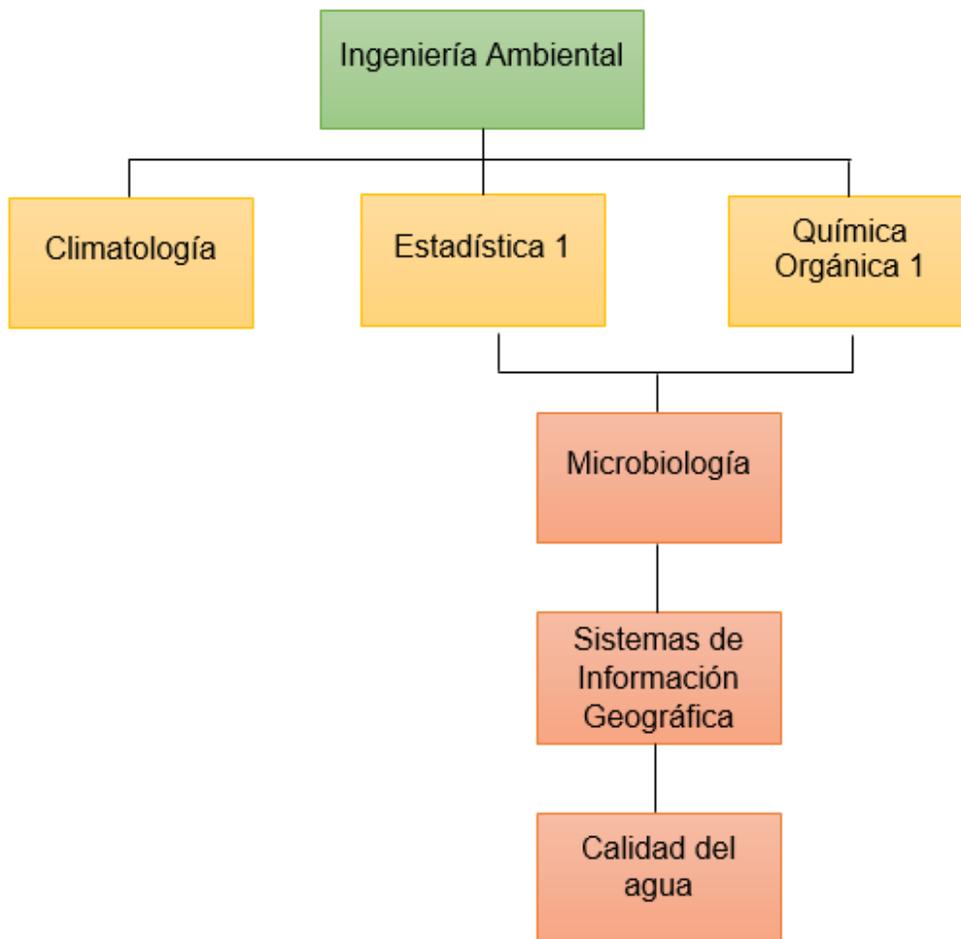
5. GARCÍA Ronaldo. *Laguna El Comendador, Jutiapa*. [en línea]. <<http://www.deguate.com/artman/publish/geolagosrios/laguna-el-comendador-jutiapa.shtml>>. [Consulta: 20 de octubre de 2017].
6. HERMEROTECA, Prensa Libre. *Lagos contaminados*. [en línea]. <<http://www.prensalibre.com/hemeroteca/lagos-contaminado>>. [Consulta: 23 de octubre de 2017].
7. HINCAPIE, Margarita; CHAVERRA, Gloria. *Diagnóstico de aguas, Manual de laboratorio*. Colombia: Universidad de Medellín, 2015. 85 p.
8. INSIVUMEH. *Lagos y lagunas de la república de Guatemala*. [en línea]. <<http://www.insivumeh.gob.gt/hidrologia/lagos.htm#INDICE%20E%20LAGOS%C2%A0>>. [Consulta: 30 de septiembre de 2017].
9. JIMÉNEZ, Susan; JUÁREZ, Julio; TRUJILLO, Luis; DUBÓN, Silvia, VALENZUELA, Oscar; CASTRO, Alfa. *Calidad de agua de la Cuenca y lago de Amatitlán, división de control, calidad ambiental y manejo de lagos*. Guatemala: AMSAGUATE, 2015. 32 p.
10. MIHELICIC, James; ZIMMERMAN, Julie Beth. *Ingeniería Ambiental Fundamentos, Sustentabilidad, Diseño*. México: Alfaomega Grupo Editor, 2011. 322 p.
11. MARTÍNEZ Pedro. *Línea base Laguna El Comendador*. [en línea]. <https://www.marn.gob.gt/noticias/noticia/Ministerio_de_Ambiente_y_Recursos_Naturales_presenta_nuevo_sitio_web_>. [Consulta: diciembre de 2019].

12. MORENO Daniela; QUINTERO, Jacqueline; LÓPEZ, Armando. *Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia*. [en línea]. <<http://www2.izt.uam.mx/newpage/contactos/anterior/n78ne/eutrofia2.pdf>>. [Consulta: 10 de enero de 2018].
13. OLIVA, Bessie. *Estudio de contaminantes ecotóxicos en agua y organismos acuáticos del Lago de Atitlán*. [en línea]. <https://www.academia.edu/9001497/Estudio_de_contaminantes_ecot%C3%B3xicos_en_agua_y_organismos_acu%C3%A1ticos_d_el_Lago_de_Atitt%C3%A1n>. [Consulta: 10 de enero de 2018].
14. ONGLEY Ed. *Lucha Contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos*. 1a ed. Burlington, Canadá: FAO, 1997. 154 p.
15. PÉREZ, Ana; RODRÍGUEZ, Alexis. *Índice fisicoquímico de la calidad de agua para el manejo de lagunas tropicales de inundación*. [en línea]. <https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442008000400026>. [Consulta: 10 de enero de 2018].
16. RAMÍREZ, Alberto; VIÑA, Gerardo. *Limnología Colombiana, aportes a su conocimiento y estadísticas de análisis*. Colombia: Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, 1998. 293 p.
17. ROLDAN, Gabriel. *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: propuesta para el uso del método BMWP/Col*. Colombia: Universidad de Antioquia, 2003. 170 p.

18. ROLDÁN, Gabriel; RAMÍREZ, John. *Fundamentos de limnología neotropical*. 2a ed. Antioquia, Colombia: Universidad de Antioquia, 2008. 421 p.

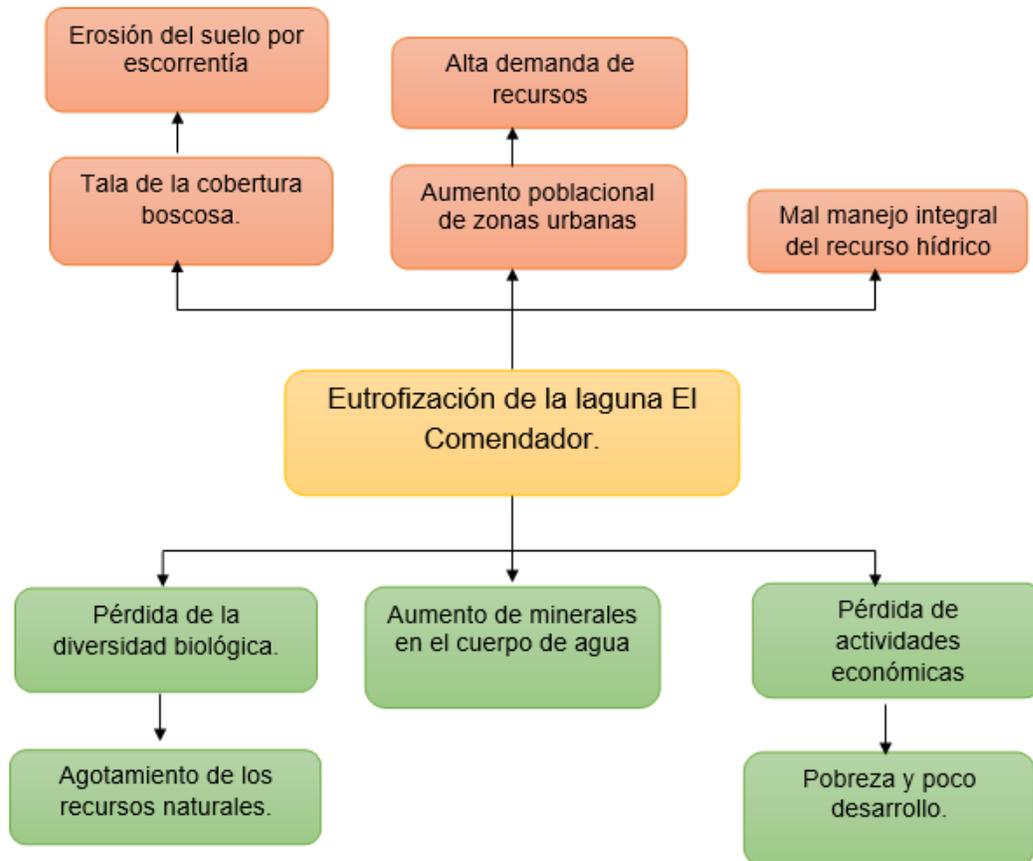
APÉNDICES

Apéndice 1. **Tabla de requisitos académicos**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Árbol de problemas**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Ninfa presente en el mes de septiembre 2018 laguna El Comendador**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. Cultivo de papaya y mango en las laderas de la laguna El Comendador



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. Análisis del parámetro. Total de sólidos suspendidos



Fuente: elaboración propia.