

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

**CARRERA DE INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA
DE LOS RECURSOS NATURALES**

*Trabajo de titulación previo a la
obtención del título de Ingeniera en
Biotecnología de los Recursos Naturales*

TRABAJO EXPERIMENTAL:

**DETERMINACIÓN DEL ESTADO TRÓFICO ACTUAL DE LA LAGUNA BUSA
CANTÓN SAN FERNANDO MEDIANTE CUANTIFICACIÓN DE LA
CLOROFILA “A”**

AUTORA:

GLENDAMARIZOL AGUILAR MORA

TUTOR:

ING. VICENTE HERNÁN AVILÉS LANDÍVAR, MGT.

CUENCA - ECUADOR

2020

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Glenda Marizol Aguilar Mora con documento de identificación N° 0706629102, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autora del trabajo de titulación: **DETERMINACIÓN DEL ESTADO TRÓFICO ACTUAL DE LA LAGUNA BUSA CANTÓN SAN FERNANDO MEDIANTE CUANTIFICACIÓN DE LA CLOROFILA “A”**, mismo que se ha desarrollado para optar por el título de: *Ingeniera en Biotecnología de los Recursos Naturales*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado por la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autora, me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, julio del 2020



Glenda Marizol Aguilar Mora

C.I. 0706629102

CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **DETERMINACIÓN DEL ESTADO TRÓFICO ACTUAL DE LA LAGUNA BUSA CANTÓN SAN FERNANDO MEDIANTE CUANTIFICACIÓN DE LA CLOROFILA “A”**, realizado por Glenda Marizol Aguilar Mora, obteniendo el *Trabajo Experimental*, que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, julio del 2020

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Vicente Avilés Landívar', written over a horizontal line.

Ing. Vicente Hernán Avilés Landívar, Mgt.

C.I. 0101401040

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Yo, Glenda Marizol Aguilar Mora con documento de identificación N° 0706629102, autora del trabajo de titulación: **DETERMINACIÓN DEL ESTADO TRÓFICO ACTUAL DE LA LAGUNA BUSA CANTÓN SAN FERNANDO MEDIANTE CUANTIFICACIÓN DE LA CLOROFILA “A”**, certifico que el total contenido del *Trabajo Experimental*, es de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, julio del 2020



Glenda Marizol Aguilar Mora

C.I. 0706629102

DEDICATORIA

Dedico todo el esfuerzo y empeño puesto en este trabajo a Dios, quien siempre me levanta de mi continuo tropiezo y porque de alguna manera logró encaminarme para que pueda ser feliz nuevamente.

A mi hija, Alyssa, porque con su simple presencia logró convertir a la persona más triste en alguien que ama la vida.

Al amor de mi vida, Diego, porque supo enseñarme que, la mejor manera de honrar a quienes amamos y ya no están entre nosotros es siendo felices y saliendo adelante.

A mis hermanos, Paúl y Ana porque siempre confiaron en mí y me apoyaron a pesar de todo el dolor que llegamos a sentir.

A mis abuelitos, Luis y Ofelia por enseñarme que por más lejos que estemos la familia siempre va primero e inculcarme muchos de los valores que poseo, aunque ya no estén con nosotros siempre los llevaré en mi corazón.

Y por supuesto, a mis padres, José Antonio y Norma, a quienes dedico no solo esta tesis sino mi vida entera, las personas más importantes y valiosas para mí, porque me enseñaron lo bueno y lo malo, quienes con esfuerzo y dedicación hicieron de mí la persona que soy ahora, porque su amor fue sinónimo de sacrificio, especialmente a mi madre quien siempre ha estado presente en cada etapa de mi vida y me ha ayudado de incontables maneras, a ti todo mi respeto y admiración, solo deseo me alcance la vida para de alguna manera poder recompensar todo lo que me han dado y aunque sé que no podrá leer esto, deseo que donde quiera que esté mi padre, sonría al ver su sueño cumplido, esto es por ustedes y para ustedes, los amo.

Glenda

AGRADECIMIENTOS

Llegar a culminar mis estudios no ha sido nada fácil, empezar una nueva vida, en una ciudad extraña, completamente sola, ha sido una de las cosas más difíciles que he tenido que hacer, sin embargo, hubo ángeles, como les llamaba mi padre, que me apoyaron en muchos aspectos y sin los cuales nada de esto habría sido posible.

Liliana y Santiago, gracias por abrirme las puertas de su casa y de su corazón; y enseñarme que donde quiera que vayamos habrá personas buenas dispuestas a brindarnos su apoyo incondicional.

Mis amigas, Alejandra, Anabell, Marissa, Karen y Andrea de ustedes aprendí más de lo que se pueden imaginar, cada una dejó una huella imborrable en mi alma, gracias por siempre estar cuando las necesité.

David, no tengo palabras para agradecerte todo el apoyo y el cariño que supiste brindarme, a miles de kilómetros y sin saber cuándo, ni cómo volveremos a vernos te querré para toda la vida.

Paúl, mi querido amigo, gracias por compartir conmigo tus conocimientos en lo que más temía y odiaba, las matemáticas, tú me enseñaste a quererlas, estuviste a mi lado en momentos muy duros para mí; y al igual que un buen amigo sé que serás un gran profesional y un excelente padre.

Eddin, eres de las personas más nobles que conozco, aún en mis días más grises lograste sacarme una sonrisa, sin tu apoyo mi familia y yo no habríamos logrado salir adelante, gracias por estar para nosotros cuando más lo necesitamos.

Gabriela, eres de esas personas que uno conoce y se queda prendado de inmediato, tienes un corazón muy noble y me ayudaste demasiado en una de las etapas más solitarias de mi vida, gracias por todo mi querida amiga.

A mis tías, Noemí, María y Ximena gracias por apoyar a mis padres en su lucha para que me formara profesionalmente.

A los Docentes Universitarios que de una u otra manera me brindaron su ayuda, tanto en lo académico como en el ámbito personal, gracias por seguir el camino de los Salesianos e inculcar en nosotros la solidaridad y el amor por la ciencia.

A la Universidad Politécnica Salesiana, porque en sus instalaciones conocí a personas maravillosas quienes dejaron en mí enseñanzas que jamás olvidaré.

RESUMEN

Al realizar la presente investigación se busca evaluar la calidad del agua de la laguna Busa, ubicada en el cantón San Fernando, provincia del Azuay, mediante la cuantificación de la clorofila “A” para ello se empleó el Índice de Carlson (1977) modificado por Aisaki *et al* (1981), determinándose así su estado trófico actual según lo establecido en la normativa TULSMA para parámetros fisicoquímicos en aguas donde se realizan actividades recreativas existiendo por ende contacto de tipo secundario.

Las muestras se obtuvieron en dos salidas de campo en los meses de enero y febrero respectivamente, fueron analizadas en los laboratorios de Ciencias de la Vida de la Universidad Politécnica Salesiana, al comparar los resultados con lo que se establece en la normativa nombrada se puede concluir que la laguna de Busa cumple con algunos parámetros como pH, DBO₅, conductividad eléctrica y temperatura encontrándose dentro de los rangos permisibles, no obstante, el IET obtenido indica un estado trófico avanzado, concretamente se encuentra en estado eutrófico, el cual debe recibir un tratamiento pues podría generar problemas a futuro.

Palabras clave: calidad de agua, contacto secundario, TULSMA, índice de estado trófico (IET)

ABSTRACT

When carrying out this research, the objective is to evaluate the quality of the water in the Busa lagoon, located in the San Fernando canton, Azuay province, quantifying the chlorophyll "A" for this, the Carlson Index (1977) modified by Aisaki et to the. al (1981), thus determining its current trophic status in accordance with the provisions of the TULSMA regulation for physicochemical parameters in waters where recreational activities are carried out, for which there is secondary contact.

The samples were obtained in two field trips in the months of January and February respectively, they were analyzed in the Laboratorios de Ciencias de la vida of the Universidad Politécnica Salesiana, when comparing the results with the provisions of the aforementioned regulations, it can be concluded that The Busa lagoon complies with some parameters such as pH, DBO₅, electrical conductivity and temperature being within the permissible ranges, however, the EIT obtained indicates an advanced trophic state, specifically it is in a eutrophic state, which should receive treatment as it could cause problems in the future.

Keywords: water quality, secondary contact, TULSMA, trophic status index (IET)

Índice de Contenidos

RESUMEN.....	viii
ABSTRACT.....	ix
1. CAPÍTULO I.....	1
1.1 Introducción.....	2
1.2 Descripción del proyecto	2
1.3 Antecedentes.....	2
1.4 Problema de investigación.....	4
1.5 Formulación del problema o pregunta de investigación.....	5
1.6 Objetivos.....	5
1.6.1 Objetivo General	5
1.6.2 Objetivos Específicos	5
1.7 Hipótesis	5
1.8 Justificación	6
1.9 Limitaciones	6
CAPÍTULO 2.....	7
FUNDAMENTOS TEÓRICOS	7
2.1 Estado del Arte.....	8
2.2 Bases teóricas	9

2.2.1 El Agua.....	9
2.2.2 Importancia del agua	9
2.2.3 Calidad de agua	10
2.2.4 Definición de Limnología	11
2.2.5 Lagunas	11
2.2.6 Estados Tróficos del agua	12
2.2.7 Índice de estado trófico	14
2.2.8 Clorofilas.....	15
2.2.8.1 Clorofila “A”.....	16
CAPÍTULO 3	17
MARCO PROCEDIMENTAL	17
3.1 Nivel de investigación	18
3.2 Diseño de investigación.....	18
3.3 Variables.....	18
3.4 Población y muestra.....	18
3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	18
3.6 Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	19
3.7 Procedimiento.....	19
3.7.1 Definición de los puntos de muestreo	19
3.8 Recolección de muestras.....	20

3.9	Medición de parámetros fisicoquímicos.....	21
3.10	Medición de clorofila “a”.....	21
3.10.1	Determinación espectrofotométrica de la clorofila “a”.....	22
3.11	Evaluación del Índice de Estado Trófico (IET).....	24
3.12	Análisis Estadístico y Correlación.....	25
CAPÍTULO 4.....		26
RESULTADOS.....		26
4.1	Resultados de los parámetros fisicoquímicos.....	27
4.2	Resultados de la concentración de clorofila “a” mediante espectrofotometría.....	34
Capítulo 5.....		45
Conclusiones y Recomendaciones.....		45
5.1	Conclusiones.....	46
5.2	Recomendaciones.....	48
6.	Bibliografía.....	49
Anexos.....		53

Índice de tablas

Tabla 1 Georeferenciación de puntos de muestreo número 1	19
Tabla 2 Georeferenciación de puntos de muestreo número 2.....	20
Tabla 3 Escala del estado de trofia en los cuerpos de agua (Aizaki citado en Moreno et al.,2010:25-33).....	24
Tabla 4 Datos de los muestreos 1 y 2 para pH.....	27
Tabla 5 Datos de las mediciones realizadas para DBO	28
Tabla 6 Datos de los resultados de las mediciones de conductividad eléctrica	30
Tabla 7 Datos obtenidos del muestreo para temperatura	32
Tabla 8 Lecturas de absorbancia, sin adición de Ácido Clorhídrico	35
Tabla 9 Lectura de absorbancia con adición de Ácido Clorhídrico.....	37
Tabla 10 Concentración de clorofila “a” e IET de la Laguna Busa.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 11 Análisis de varianza para las concentraciones de clorofila A en los dos muestreos	40
Tabla 12 Análisis de varianza para el estado trófico	41
Tabla 13 Comparaciones en parejas de Tukey	42
Tabla 14 Medias calculadas para calcular los coeficientes de correlación de Pearson	43
Tabla 15 Detalles de la correlación de Pearson entre Índice de estado trófico vs parámetros físico químicos.....	44
Tabla 16 Límites permisibles de parámetros físico químicos para aguas naturales de uso recreacional.....	53
Tabla 17 Valores de P para la interpretación del coeficiente de correlación de Pearson	54

Índice de figuras

Figura 1 Imagen de la laguna de Busa tomada de Quizhpe, 2017	55
Figura 2 Lancha para tomar muestras en la laguna de Busa.....	56
Figura 3 Laguna de Busa, equipo necesario para la toma de muestras.....	56
Figura 4 Instrumento diseñado para la recolección de muestras de agua a distintas profundidades	57
Figura 5 Toma de muestras en sitios específicos.....	57
Figura 6 Frascos preparados para la toma de muestras.....	58
Figura 7 Toma de muestras desde el punto C de la laguna de Busa.	58
Figura 8 Medición de los parámetros físico químicos propuestos en el proyecto.	59
Figura 9 Toma de pH con ayuda de un potenciómetro.	60
Figura 10 Espectrofotómetro utilizado para medir la absorbancia de la clorofila A.	60
Figura 11 Centrifuga configurada para el proceso de análisis.	61
Figura 12 Equipo de filtración por membrana.	62

Índice de gráficas

Gráfica 1 Intervalos con el 95% de confianza para límites superior e inferior de los muestreos 1 y 2 para Ph	27
Gráfica 2 Normalidad con el 95% de intervalos de confianza para los datos de los muestreos 1 y 2 de Ph.....	28
Gráfica 3 Intervalos de confianza para los datos obtenidos para los muestreos 1 y 2 para DBO. 29	29
Gráfica 4 Normalidad con el 95% de intervalos de confianza para los datos de los muestreos 1 y 2 para DBO	29
Gráfica 5 Intervalos de confianza para los datos obtenidos para los muestreos 1 y 2 para conductividad eléctrica	31
Gráfica 6 Normalidad con el 95% de intervalos de confianza para los datos de los muestreos 1 y 2 para conductividad eléctrica	31
Gráfica 7 Gráfica 5 Intervalos de confianza para los datos obtenidos para los muestreos 1 y 2 para temperatura.....	33
Gráfica 8 Normalidad con el 95% de intervalos de confianza para los datos de los muestreos 1 y 2 para temperatura.....	34
Gráfica 9 Intervalos con el 95% de confianza para la absorbancia sin acidificar para el primer muestreo.....	35

Gráfica 10 Prueba de normalidad para los datos de la absorbancia sin acidificar del primer muestreo, los valores de P resultantes mostraron ser mayores al nivel de significancia.	36
Gáfica 11 Intervalos con el 95% de confianza para la absorbancia sin acidificar para el segundo muestreo.....	36
Gráfica 12 Prueba de normalidad para los datos de la absorbancia sin acidificar del segundo muestreo, los valores de P resultantes mostraron ser mayores al nivel de significancia.	37
Gráfica 13 Intervalos al 95% de confianza para los datos de la absorbancia para clorofila a luego de acidificar, muestreo 1.	38
Gráfica 14 Prueba de normalidad para los datos obtenidos de la absorbancia para clorofila a luego de acidificar en el muestreo 1	38
Gráfica 15 Intervalos al 95% de confianza para los datos de la absorbancia para clorofila a luego de acidificar, muestreo 2.	39
Gráfica 16 Gráfica 14 Prueba de normalidad para los datos obtenidos de la absorbancia para clorofila a luego de acidificar en el muestreo 2.	39
Gráfica 17 Intervalos al 95% de confianza, media y análisis de varianza para el muestreo 1 y 2 de concentración de clorofila A.....	41
Gráfica 18 Intervalos con el 95% de confianza para el índice de estado trófico para muestreo 1 y 2.....	42
Gráfica 19 Comparaciones en parejas de tukey para el índice de estado trófico.....	43
Gráfica 20 Dispersión de datos para Índice de estado trófico vs parámetros físico químicos.....	44

Índice de anexos

Anexo 1. El soporte legal que define los parámetros a contemplar para una evaluación de la calidad de agua en Ecuador es el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA).....	53
Anexo 2. Interpretación del coeficiente de Pearson.....	54
Anexo 3. Laguna de Busa.....	55
Anexo 4. Evidencia fotográfica de la toma de muestras en la laguna de Busa.....	56
Anexo 5. Evidencia fotográfica de los procesos desarrollados en laboratorio.....	57

Abreviaturas y simbología

TULSMA: Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente.

pH: Potencial Hidrógeno.

DBO₅: Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días de recogida las muestras.

CE: Conductividad eléctrica.

GAD: Gobierno Autónomo Descentralizado.

IET: Índice de Carlson o Índice de Estado Trófico.

GPS: Sistema de Posicionamiento Global (*Global Positioning System*).

Clorf. A: Clorofila Alfa.

Nt: Nitrógeno total.

Pt: Fósforo total.

DS: Disco Secchi.

rpm: Revoluciones por minuto.

r: Coeficiente de Pearson.

SIL: Sociedad Internacional de Limnología.

HCl: Ácido Clorhídrico.

µg/L: microgramos por litro.

µS/cm: microSiemens por centímetro unidad de medida de la Conductividad Eléctrica.

1. CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

La laguna de Busa es un atractivo natural de gran importancia turística, por lo que es considerada como uno de los principales impulsores del desarrollo local en el cantón San Fernando, lugar que año tras año atrae a visitantes nacionales y extranjeros gracias a su belleza, por lo que el turismo se ve estrechamente relacionado con la calidad de vida de las personas que directa o indirectamente se ven beneficiados de esta actividad.

1.2 Descripción del proyecto

La presente investigación, tiene como objetivo el estudio trófico de un paraje considerado como un atractivo ecológico y turístico, la laguna de Busa, encontrado en el cantón San Fernando proveniente de la provincia del Azuay.

Debido al valor que implica para los habitantes del sector al tratarse de una fuente de ingresos económicos, resulta esencial conocer la situación actual de dicho cuerpo de agua, esto se llevará a cabo mediante la obtención de datos que permitan determinar las condiciones físicas y químicas de la laguna. Los resultados que arroje este estudio serán el punto de partida para futuros proyectos de investigación que ofrezcan tratamientos con el fin de atenuar el impacto ecológico producto de las actividades antropogénicas que allí se realizan para que puedan seguir desarrollándose de una manera correcta, además de conservar y preservar las riquezas naturales de los ecosistemas encontrados en el lugar.

1.3 Antecedentes

El 71% de la superficie terrestre está cubierta de agua, de esta cifra: el 97.5% del total de agua existente es agua salada, tan solo el 2.5% es agua dulce y de esta cantidad un 2.15% se encuentra en los glaciares y los casquetes de hielo. El resto es agua dulce superficial y subterránea (Granizo, 2011).

El 0.3% del total de agua disponible en nuestro planeta es agua dulce líquida y superficial, a su vez, de esta cantidad tan pequeña el 90% se encuentra almacenada en lagos y lagunas, por lo que en consecuencia resultan ser fundamentales para la preservación de ecosistemas y la biodiversidad. No obstante, son considerados los ecosistemas acuáticos más frágiles y vulnerables, al ser el sumidero de muchas sustancias como sedimentos, minerales, nutrientes de plantas acuáticas y materiales orgánicos provenientes de su cuenca. (López y Madroñero, 2015).

El estado actual de degradación de lagos y embalses en varias de las cuencas de América Latina, e incluso, Norteamérica y Europa, se debe principalmente a la falta de una planificación y manejo integrado de los recursos, lo cual está afectando a la sustentabilidad de los ecosistemas, la contaminación de las aguas, la erosión de la tierra productiva y la inestabilidad de áreas vulnerables (Bravo, 2006)

Son consideradas aguas lénticas las lagunas, lagos, pantanos, charcas, entre otros, pues sus aguas son tranquilas y no fluyen (Aular, 2019). La laguna Busa forma parte del sistema orográfico de los Andes Meridionales del Ecuador, que inician al sur del nudo del Azuay y cuya principal característica es la presencia de mesetas volcánicas altas (3600 a 4700 msnm) y ondulaciones moderadas del terreno. El sur del nudo del Azuay presenta dos depresiones andinas ubicándose de noreste a sureste respectivamente: 1. Cuenca- Santa Isabel y 2. Gualaceo- Nabón- Saraguro y se ubica en una de las mesetas que limitan en su lado Este con la depresión andina Cuenca-Santa Isabel la que a su vez se conecta con la cuenca del río Jubones que se encuentra a 20 km de distancia aproximadamente en la línea de la laguna Busa, dicha laguna hace parte de la cuenca hídrica del río Jubones, de hecho, las aguas que emergen de la laguna se descargan en el Río Rircay para posteriormente unirse con las aguas del río Zhururcay (cantón vecino) y así formar el Río Jubones (Domínguez, 2012).

La laguna Busa se ubica a 2800 msnm y está al pie del cerro San Pablo. La laguna recibe las aguas del páramo y, muy seguramente, de las filtraciones subterráneas del cerro San Pablo. Desde el punto de vista de uso de agua de la laguna se tiene como principal el turístico, siendo uno de los puntos importantes a mencionar la contaminación por desechos sólidos como plásticos y papeles que esta actividad genera en esta fuente natural (Domínguez, 2012).

La Laguna de Busa se encuentra a 55 km al suroeste de Cuenca y a 15 minutos de la cabecera cantonal, tiene una dimensión aproximada de 12ha; está constituida por una playa que la circunda, con espacios abiertos para el camping, caminatas, pesca deportiva, equitación entre otros. El clima es ecuatorial mesotérmico seco, las temperaturas medias anuales fluctúan entre 12 y 20°C con muy poca diferencia entre los meses de verano e invierno. Las lluvias anuales son inferiores a 500mm, el cielo es generalmente poco nubloso y la humedad relativa está comprendida entre el 50 y 80%, la insolación supera las 1500 horas por año (Domínguez, 2012).

1.4 Problema de investigación

La eutrofización es un proceso que afecta la calidad del agua de ríos, lagunas, lagos, humedales, y cualquier cuerpo de agua, perjudicando así a la flora y fauna del lugar, se produce de manera natural, pero se ve acelerado por actividades antropogénicas, siendo la de mayor incidencia el turismo como es el caso de la laguna de Busa, cuando se habla de eutrofización se entiende que existe una adición de nutrientes principalmente nitratos y fosfatos lo que provoca el cambio de un estado trófico a otro de nivel superior.

Al tratarse de un fenómeno en el cual está involucrado el ser humano se considera un problema ambiental que genera un impacto ecológico en los ecosistemas afectando así a la biodiversidad de especies entre ellos peces, reptiles, mamíferos, aves, anfibios, etc., que alberga el cuerpo de agua como el que fue sujeto de estudio.

Es por tal motivo que se plantea realizar esta investigación, para determinar el estado trófico actual de la laguna Busa la cual se considera como el sistema biológico principal del cantón San Fernando provincia del Azuay.

1.5 Formulación del problema o pregunta de investigación

¿Es posible determinar el estado trófico actual de la laguna Busa en el cantón San Fernando de la provincia del Azuay a través de la cuantificación de su clorofila “A”?

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo General

Determinar el estado trófico actual de la laguna Busa por medio de la cuantificación de la clorofila “A”.

1.6.2 Objetivos Específicos

- Realizar mediciones de diferentes parámetros fisicoquímicos, utilizando técnicas de laboratorio, que determinen el estado actual de la laguna de Busa.
- Determinar el estado trófico de la laguna utilizando el Índice de Carlson (1997) modificado por Aisaki *et al* (1981), evaluando el estado nutricional de dicho cuerpo acuoso.
- Establecer correlaciones entre los datos de los parámetros fisicoquímicos y la clorofila “a” mediante un análisis estadístico, comparando el estado nutricional de la laguna de Busa y su estado trófico actual.

1.7 Hipótesis

El índice trófico de la Laguna de Busa se encuentra en un nivel hipertrófico debido a la tonalidad verdosa que presentan sus aguas.

1.8 Justificación

Es necesario dar importancia a la situación ambiental de los cuerpos hídricos, especialmente al abordar políticas de conservación del recurso hídrico, debido a que en el Ecuador existen muy pocos estudios limnológicos, puntualmente en la laguna Busa, con la finalidad de determinar la calidad del agua de dicha laguna para que las autoridades competentes en este caso el GAD cantonal tome las respectivas medidas.

El estudio limnológico del agua de la laguna Busa permitirá conocer el estado trófico en el que se encuentra mediante sus características físicas y químicas. La información obtenida de este cuerpo de agua servirá como base para futuros estudios y aplicación de técnicas de preservación, cuidado y manejo responsable.

El cantón San Fernando dispone de sitios de gran belleza natural, siendo su principal atractivo turístico de carácter regional y nacional la “Laguna de Busa” misma que en la actualidad sufre un intenso riesgo de contaminación por desechos de turistas y por la actividad pecuaria que se da en sus márgenes, razón por la cual debe ser protegida. Ante esta premisa, se originó interés por evaluar la calidad del agua de la laguna Busa con la finalidad de contribuir con su preservación, cuidado y manejo responsable, por consiguiente, la conservación de la fauna y flora, generando así un desarrollo sustentable del turismo comunitario.

1.9 Limitaciones

La presente investigación se lleva a cabo en los Laboratorios de Ciencias de la Vida de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca y en la laguna de Busa, encontrada en el cantón San Fernando en la provincia del Azuay, durante el lapso de seis meses. En consecuencia, los limitantes serán: el clima, los traslados a la laguna, permisos de acceso para la toma de muestras, costos de transporte para las muestras, recursos humanos y de las instalaciones de la laguna.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Estado del Arte

La actividad turística se ha convertido en los últimos años en una de las principales fuentes de ingresos económicos, mejorando significativamente la calidad de vida de la población local, además de fortalecer la interculturalidad (Proaño, 2006). En Ecuador los cuerpos de agua, se han convertido en los primeros puntos turísticos, en este grupo se encuentran lagos, lagunas, arroyos, entre otros (Topanta, 2017). Estos se han visto afectados de manera considerable debido a alteraciones ambientales como la eutrofización, determinada a través de la cuantificación de la clorofila “A”, se han propuesto buscar soluciones para alargar la vida de los mismos (Franco, Quintero, & Cuevas, 2010).

Un estudio similar al planteado en el presente estudio se realizó en la laguna Yambo en el año 2017, que se ubica en el límite entre Cotopaxi y Tungurahua, en esta laguna las concentraciones promedio de clorofila A, encontradas muestran valores de 95,68 mg/m³ para el Norte y 96,12 mg/m³ para el centro, lo que indica que se encuentra en estado trófico, según la tabla del índice de estado trófico de (Carlson, 1977). De igual manera otra laguna con estado de eutrofización es la Laguna de Limoncocha, cuya ubicación es la provincia de Sucumbíos, a su vez esta investigación se llevó a cabo a través de un análisis multivariado de correlaciones entre los componentes principales (ACP), los resultados obtenidos mostraron evidencia sobre el avance del estado trófico del agua de la laguna (Rodríguez, 2017).

En Esmeraldas la laguna de Cube, se encuentra en un estado oligotrófico, se han diagnosticado valores de clorofila A dentro de los límites, permitiendo que flora y fauna se siga desarrollando correctamente hasta el momento (G. Gómez, 2018), Ecuador no es el único país en donde sus cuerpos de agua son afectados, en México la Laguna de San Miguel, también se encuentra en un

estado trófico, se ha visto afectada por el cambio climático y las diferentes actividades que se realizan en ella, como pesca y en su gran mayoría deportivas (Maldonado & Tavares, 2017).

2.2 Bases teóricas

2.2.1 El Agua

Es una sustancia líquida que se encuentra en su gran mayoría en estado puro naturalmente y cubre un 70% de la superficie del planeta, se encuentra en varios cuerpos de agua, siendo los mares y océanos en donde mayormente se encuentra un 96.5% y con un 0.04% encontrada en lagos y lagunas (Raffino, 2020). En la actualidad la incertidumbre acerca del futuro del agua se debe a factores claves como el cambio climático, por lo que se han generado políticas de manejo y cuidado del agua en todo el mundo, también se han incrementado los programas de concientización sobre su uso indiscriminado (Rosegrant, Cai, & Cline, 2020).

2.2.2 Importancia del agua

Al ser el agua el componente principal del cuerpo humano resulta esencial para los procesos fisiológicos de la digestión, absorción y eliminación de desechos metabólicos no digeribles, de igual manera para la estructura y función del aparato circulatorio, es el medio de transporte de nutrientes y todas las sustancias corporales, además, su acción es directa en cuanto al mantenimiento de la temperatura corporal (Rosado et al., 2011).

El cuerpo humano al nacer posee un 75% de agua y al convertirse en adulto cerca del 60%, a su vez, se estima que el 40% del total de esta agua circula en la sangre y baña los tejidos (agua extracelular) y la mayor parte es decir el 60% se encuentra en el interior de las células (agua intracelular). El agua contenida en los alimentos, junto con la de bebida han de garantizar nuestra correcta hidratación a cualquier edad o circunstancia vital (Rosado et al., 2011).

De modo que resulta importante asegurar el aporte en cuanto a cantidad y calidad adecuadas, especialmente cuando conocemos la influencia del grado de hidratación sobre la salud y el bienestar de las personas, tanto en lo que se refiere a los aspectos cognitivos, el rendimiento físico y la termorregulación (Rosado et al., 2011).

2.2.3 Calidad de agua

El uso de aguas recreativas está regulado por las entidades públicas nacionales y locales cuyo deber es garantizar un ambiente seguro, respecto a lesiones, ahogamientos y calidad del agua que resulte inocua para las personas. En caso de un área de recreación acuática que sea propiedad privada, los dueños son responsables de mantener las instalaciones buscando controlar los peligros para la salud humana (WHO, 2003).

El Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA) es la normativa ambiental vigente en el Ecuador para la calidad del agua esta normativa contiene estándares de parámetros físicos químicos y biológicos para el mantenimiento de los distintos usos del agua (Peñañiel y Pesántez, 2018).

Health Canada (2012) señala que la calidad de agua para uso recreativo es de vital importancia, cualquier cuerpo de agua sea natural, marino, inclusive estuarios donde las personas realicen cualquier tipo de actividad se considera como agua de uso recreativo, estas a su vez pueden o no involucrar la sumersión y por ende se clasifican en:

- **Actividades de contacto primario:** en las cuales generalmente todo el cuerpo es sumergido y comúnmente las personas ingieren agua (natación, surf, buceo, esquí acuático, entre otras).

- **Actividades de contacto secundario:** en las cuales sólo las extremidades se mojan y en las que un mayor contacto e ingesta de agua es inusual (botes de pedales, pesca, remos, entre otros).

2.2.4 Definición de Limnología

Es el estudio del agua superficial dulce, agua relacionada y asociada con el agua de lagos y sistemas lenticos (agua estancada), además estudia las relaciones y la productividad de los organismos que conforman estos ecosistemas (Roldán & Ramírez, 2008). La sociedad internacional de limnología (SIL), define a esta ciencia como el estudio de los conjuntos de las aguas dulces o epicontinentales (Edmondson, 1984). Muchos autores coinciden en la clasificación de la limnología entre antigua y moderna, o en sus dos enfoques; hidrobiológico o limnobiológico y el limnológico (Banderas & González, 1996).

2.2.5 Lagunas

Son consideradas como depósitos, pero de forma natural que contiene agua homogénea generalmente, tienen extensiones menores a los de un lago y son estructuralmente simples, su existencia se debe a un fenómeno geológico, pueden haberse formado de distintas formas como; un origen tectónico o por desembocadura de ríos o arroyos cercanos por lo que se clasifican en su mayoría en sistemas lenticos (Geraldí, Piccolo, & Perillo, 2011).

Las lagunas ocupan considerablemente varias extensiones en el Ecuador, su vida desaparece al colmatarse con sedimentos, evento que ocurre entre miles, aunque existen excepciones (Navarrete, 2005). La mayoría de ellas están ubicadas geográficamente en las llanuras fluviales, las lagunas son excelentes indicadores de cambios climáticos, ya que tienen una alta sensibilidad identificando así las pequeñas alteraciones que se puedan dar en el ambiente, además de registrar dichos cambios de manera geomorfológica en sus sedimentos (Iriando, 2007).

Según menciona Aular (2019) las aguas lénticas más comunes son los lagos y lagunas, además, poseen la mayor biodiversidad de especies tanto de flora como de fauna, siendo entonces de gran importancia para muchos ecosistemas, pues no solo sirve como medio para plantas y animales acuáticos sino también como una fuente de vida de animales terrestres, también son consideradas extensiones de agua estancada, abarcando pocos metros a muchos kilómetros. Las lagunas son ecosistemas físicamente controlados, poco homeostáticos y vulnerables a las modificaciones ambientales derivadas de la actividad del hombre (Alvarez. A. & Gaitán, 1994).

2.2.6 Estados Tróficos del agua

Para calcular y definir el estado trófico, se usa la masa del agua y se comparan los resultados con otros sistemas estandarizados propuestos en tablas, estas contienen índices máximos anuales, un ejemplo es la tabla de índices de Carlson, que usa los valores promedio de cada año en donde se demuestra la profundidad de visión del disco de Secchi y las concentraciones superficiales de Pt y de clorofila “A” (Fraile, Orive, & Pozo, 1995).

Es uno de los métodos más utilizados por su sencillez y objetividad durante el proceso de muestreo, la cual luego se convierte en una transformación lineal que arroja los valores resultantes de las concentraciones (Moreno & Ramírez, 2010). Existen también otras formas de evaluar el estado trófico mediante la evaluación de un solo parámetro como, por ejemplo; la producción de fitoplancton, la cantidad de flora y fauna, la concentración de sedimentos de materia orgánica, entre otros, (López & Madroño, 2015).

El primer estado que se identifica es el estado Eutrófico, este se define como el crecimiento o la acumulación de nutrientes en un ecosistema acuático, comúnmente los nutrientes provienen de vertidos de desechos agrícolas o forestales, que favorecen e incrementan el crecimiento de la materia orgánica, a su vez ésta produce un mayor número de algas y plantas acuáticas que cubren

la superficie de la laguna evitando que la luz entre y llegue a las capas inferiores (Borrás, 2018). El agua en estado eutrófico regularmente se torna turbia de color verde oscuro, se habla de aguas en estado eutrófico cuando existe una gran abundancia de nutrientes especialmente fósforo y nitrógeno que estimulan el crecimiento del fitoplancton, que impide la entrada de luz lo que a su vez provoca que la flora béntica no realice la fotosíntesis y por ende muera, esta materia orgánica junto con los sedimentos se depositan en el fondo del cuerpo de agua, es entonces cuando actúan las bacterias descomponedoras quienes consumen grandes cantidades de oxígeno, todo esto se traduce en que existe reducción de la vida acuática de la zona (Smith & Smith, 2007). Como menciona Gómez (2018) se consideran ciertos criterios para determinar que un cuerpo de agua se encuentra en estado eutrófico y son los siguientes: (Clorf. A) entre 7 y 40 $\mu\text{g/L}$, Nitrógeno Total (Nt) 600 y 1500 $\mu\text{g/L}$, Fósforo Total (Pt) entre 25 y 100 $\mu\text{g/L}$ y finalmente la claridad del agua (Dt) entre 0,9 y 2,5 m.

El segundo estado se conoce como, oligotrófico, en el cual el cuerpo de agua posee bajos contenidos de nutrientes debido a que se maneja con un sistema de productividad primaria (Tinajero, 2018). Los cuerpos hídricos que se encuentran dentro de este grupo tienen aguas claras y cristalinas, normalmente de tonalidad azul claro permitiendo así el paso de la luz hasta el fondo, donde se encuentran las plantas acuáticas (flora béntica) por lo que la fotosíntesis se realiza con normalidad, la cantidad de nitrógeno es alto, mientras que el fósforo es muy limitado, se sobreentiende entonces que existe un aporte mínimo de los ecosistemas terrestres (Smith, 2001). Los Criterios que ubican a un cuerpo hídrico dentro de esta categoría son los siguientes: clorofila "a" menor de 3 $\mu\text{g/L}$, Nitrógeno Total (Nt) menor de 400 $\mu\text{g/L}$, Fósforo Total (Pt) menor a 15 $\mu\text{g/L}$, y claridad del agua (Dt) 4 m (Gómez, 2018).

Según Miller (1994) el estado mesotrófico corresponde a los cuerpos de agua cuyo contenido de nutrientes no se encuentra ni en el extremo más alto (eutrófico) ni en el más bajo (oligotrófico). Los criterios con los que se ubica a este estado de acuerdo a lo mencionado en Gómez (2018) son los siguientes: clorofila “a” (Clorf. A) entre 3 y 7 $\mu\text{g/L}$, Fósforo Total (Pt) entre 15 y 25 $\mu\text{g/L}$, Nitrógeno Total (Nt) entre 400 y 600 $\mu\text{g/L}$ y claridad del agua (Dt) entre 2,5 y 4 m.

Por último, encontramos el estado hipertrófico, este estado tiene como características un altísimo suministro de nutrientes y excesiva productividad biológica, muy pobre claridad del agua (Moreno et al., 2010). El crecimiento excesivo de algas a menudo sofoca la fauna debajo de las profundidades del agua y esto podría crear zonas muertas debajo de la superficie del agua (Redondo, 2017). Los criterios que caracterizan este estado son: clorofila “a” más de 40 $\mu\text{g/L}$, Nitrógeno Total (Nt) en cantidades mayores a 1500 $\mu\text{g/L}$, Fósforo Total (Pt) más de 100 $\mu\text{g/L}$, y en cuanto a la claridad del agua (Dt) es menor a 0,9 m (Gómez, 2018).

2.2.7 Índice de estado trófico

Se ha establecido que el estado trófico de un cuerpo de agua depende de varios factores entre ellos la producción primaria de fitoplancton, la carga de nutrientes, su biodiversidad, la concentración de sedimentos de materia orgánica, entre otros, por lo que se ha asumido que determinar este índice no es posible con la medición de un solo parámetro (Rocha, 2006).

Uno de los índices más utilizados en la determinación del estado trófico de los sistemas acuáticos es el Índice de Estado Trófico (IET) de Carlson (1977), esto se debe a que es un método sencillo y objetivo que evalúa la concentración de biomasa y de clorofila “a” (Duarte, 2001).

2.2.7.1 Índice del estado trófico propuesto por Carlson modificado por Aizaki

Como menciona Moreno, et al. (2010) el índice de Carlson (1977) plantea los siguientes rangos de valores para situar a un cuerpo hídrico en determinado estado de trofia: hipertrófico ($90 < \text{TSI} < 100$), eutrófico ($60 < \text{TSI} < 90$), mesotrófico ($30 < \text{TSI} < 60$) y oligotrófico ($\text{TSI} < 30$), dicho índice fue ideado para trabajar con parámetros como: Concentración de clorofila “a”, Disco Secchi (DS), Nitrógeno Total (Nt), Fosforo total (Pt) entre otros (Gómez, 2018). Posteriormente en 1981 Aizaki propuso realizar una modificación a este índice introduciendo coeficientes específicos para cada elemento que complementen la composición del estado trófico (López y Madroño, 2015).

Carlson & Simpson (1996) mencionan que el proceso de eutrofización depende principalmente del marco geográfico del medio y de las cargas de nutrientes que recibe, pero se ve afectado además por factores como la temperatura, el potencial de Hidrógeno, el Oxígeno disuelto, la turbidez, la demanda biológica de Oxígeno, etc.

2.2.8 Clorofilas

Se encuentran en todos los organismos que contienen cloroplastos en sus células (plantas y protistas) además de las cianobacterias otorgándoles la coloración verde que los caracteriza. La clorofila es crítica en la fotosíntesis, proceso mediante el cual los organismos absorben energía a partir de luz solar y la transforman en compuestos orgánicos y oxígeno. (Streit, 2002)

Existen cuatro tipos principales de clorofila: *a*, *b*, *c* y *d*. En las plantas la clorofila *a* y *b* son los principales pigmentos fotosintéticos. Las moléculas de clorofila absorben longitudes de onda azules y rojas, como se demuestra con los picos en los espectros de absorción. Tanto la clorofila *a* como la clorofila *b* absorben luz, no obstante, la clorofila *a* tiene una función única y crucial al convertir la energía de la luz en energía química. Todas las plantas fotosintéticas, algas y cianobacterias contienen clorofila *a*, por lo que se utiliza para estimar la biomasa planctónica,

mientras que solo las plantas y algas verdes contienen clorofila *b*, junto con algunos tipos de cianobacterias. (Streit, 2002)

2.2.8.1 Clorofila “A”

La clorofila “a” es el pigmento verde responsable de la capacidad de la planta para convertir la luz solar en la energía química necesaria para fijar dióxido de carbono (Water on the web, 2008). Cabe mencionar que es un indicador del grado de contaminación de los ecosistemas acuáticos por lo que es recomendado como un índice confiable, para diagnosticar de manera oportuna la salud de los ecosistemas requieran un estudio (Pinto et al., 2001). Puede entonces considerarse como el índice más importante para la clasificación del estado trófico de un cuerpo hídrico (Hosmani, 2010).

CAPÍTULO 3

MARCO PROCEDIMENTAL

3.1 Nivel de investigación

Investigación explicativa: debido a que esta investigación se encarga de buscar el porqué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto.

3.2 Diseño de investigación

El diseño del presente trabajo de investigación es experimental, debido a que se realizaron análisis en campo y a nivel de laboratorio al sujeto de estudio, en este caso la laguna de Busa (variable dependiente) para determinar su estado de trofia, así mismo se controlaron los factores físico químicos (variables independientes), obteniendo así heterogeneidad en las muestras, finalmente los resultados se obtuvieron mediante el uso de fórmulas propuestas en estudios similares (Arias, 2012).

3.3 Variables

Las variables independientes son: los parámetros físico químicos analizados: temperatura, pH, DBO₅, conductividad eléctrica, nitritos y fosfatos. La variable dependiente: el cuerpo de agua, laguna de Busa y las variables intervinientes: el clima de la provincia, el transporte de las muestras al laboratorio.

3.4 Población y muestra

En cada uno de los puntos establecidos se recolectó una muestra compuesta, formada por 300 mL de agua superficial (50 centímetros), 300 mL tomados a 1 metro y 300 mL a 2 metros de profundidad, para ello se realizó un lavado previo a los recipientes con el agua de la laguna.

3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se emplearon varias técnicas e instrumentación como: libros, tesis, artículos científicos, publicaciones en revista científicas, fotografías.

3.6 Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Las técnicas empleadas para el desarrollo de la presente investigación serán: actividades de campo (toma de muestras), observación y experimentación en laboratorio.

3.7 Procedimiento

3.7.1 Definición de los puntos de muestreo

La laguna de Busa está ubicada en el cantón San Fernando, provincia del Azuay, se realizaron dos campañas de muestreo en los meses de enero y febrero, en cada muestreo se seleccionaron 5 puntos representativos y en cada uno de ellos se tomó una muestra compuesta en recipientes con capacidad de 1L.

Cada punto fue geo referenciado con la ayuda de un GPS marca MAGELLAN, los datos que se obtuvieron son los siguientes:

Tabla 1 Georreferenciación de puntos muestreo número 1

Puntos de muestreo	Coordenadas		Referencia	Fecha	Hora
	Cartesianas				
	X (m)	Y (m)			
A	17S692801E	9651182N	Muelle	3/02/2020	13:14
B	17S692798E	9650973N	Norte 1	3/02/2020	13:37
C	17S692944E	9650980N	Centro laguna	3/02/2020	13:50
D	17S692900E	9650914N	Sur 1	3/02/2020	14:08
E	17S692891E	9651143N	Sur 2	3/02/2020	14:26

Tabla 2 Georreferenciación de puntos muestreo número 2

Puntos de muestreo	Coordenadas		Referencia	Fecha	Hora
	Cartesianas				
	X (m)	Y (m)			
A	17S692800E	9651160N	Muelle	17/02/2020	15:00
B	17S692787E	9650977N	Norte 1	17/02/2020	15:13
C	17S692932E	9650986N	Centro laguna	17/02/2020	15:28
D	17S692944E	9650915N	Sur 1	17/02/2020	15:39
E	17S692895E	9651149N	Sur 2	17/02/2020	15:54

3.8 Recolección de muestras

Para la recolección de las muestras se utilizó un bote a pedales con capacidad para 4 personas, el cual fue proporcionado por el municipio del Cantón San Fernando, asimismo se contó con la ayuda de un trabajador del complejo turístico Busa.

El procedimiento que se llevó a cabo fue el siguiente:

De acuerdo a lo recomendado por Granizo (2011) para la recolección de cada muestra se utilizaron recipientes de plástico de 1L de capacidad, previamente cubiertos con papel aluminio y cinta adhesiva, con el fin de impedir el paso de la luz solar y que incidan directamente sobre el contenido de los recipientes.

El procedimiento de recolección de muestras de agua está establecido en la Norma NTE INEN 2176:2013 “Agua, calidad del agua, técnicas y muestreo”. En cada uno de los puntos seleccionados se recolectó una muestra compuesta, para esto se tomaron 300 mL de agua superficial, es decir a

no más de 50 cm, 300mL a 1m de profundidad y 300 mL a 2m de profundidad, previamente se lavaron los recipientes tres veces con el agua de la laguna. En el caso de la recolección de agua superficial se empleó una jarra mientras que para las aguas profundas se fabricó un instrumento de tipo casero (Anexo 2) el cual resultó funcionar a la perfección para el fin con el que fue diseñado. Dicho instrumento fue sumergido a las profundidades de 1 y 2 m y una vez se extraían las muestras era llevado a la superficie para llenar los recipientes.

Los recipientes de las muestras se preservaron a 4°C en una hielera portátil y posteriormente colocados en refrigeración, para al día siguiente ser transportados hasta los laboratorios de Ciencias de la Vida de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca.

3.9 Medición de parámetros fisicoquímicos

El parámetro que se midió “*in situ*” fue la temperatura (°C), mientras que en los laboratorios de Ciencias de la Vida de la Universidad Politécnica Salesiana se realizó la medición de los siguientes parámetros: pH, conductividad eléctrica (uS/cm) y DBO₅ (mg O₂/L).

3.10 Medición de clorofila “a”

La distribución de clorofila “a” está relacionada con la producción fitopláctica y se vincula directamente con características como la disponibilidad de nutrientes, es decir que, al medir la concentración de clorofila “a” se puede apreciar la biomasa presente en un cuerpo de agua (algas, cianobacterias), a excepción de las bacterias fotosintéticas que no poseen este pigmento. El método de medición con el que se trabajó fue el método espectrofotométrico el cual requiere un procedimiento relativamente sencillo.

Primeramente, se filtraron 150 mL de cada muestra a través de membranas Milipore tipo HA con poros de 0,45 μm , se utilizó un equipo de filtración por membrana el cual no permite el paso de luz evitando la degradación del pigmento a estudiar.

A continuación, con ayuda de una pinza se colocó las membranas en tubos Falcon de 50 mL previamente forrados con papel aluminio, se etiquetaron con el número de muestra correspondiente y se añadieron 5 mL de acetona alcalinizada (90 partes de acetona/ 10 partes de MgCO_3), los tubos y se llevaron a refrigeración a una temperatura de 4°C durante 24 horas.

Una vez transcurridas las 24 horas de refrigeración se realizó la clarificación de los extractos mediante centrifugación, los tubos de ensayo de cada muestra fueron colocados en una centrífuga durante 20 minutos a 3000 rpm, esto se realiza con el fin de obtener un mejor extracto de la clorofila “a”.

3.10.1 Determinación espectrofotométrica de la clorofila “a”

La concentración de clorofila “a” puede ser sobreestimada cuando en el análisis espectrofotométrico no se discrimina entre esta y sus productos de degradación. La feotina “a” es un producto de degradación de la clorofila “a” cuyas regiones de absorción máxima coinciden. La concentración de clorofila “a” y de feotina “a” puede determinarse acidificando el extracto, al hacer esto la clorofila “a” pierde su átomo de magnesio convirtiéndose así en feotina “a” (Hach, 2003).

Por este motivo se efectuó la lectura de cada una de las muestras de agua en el espectrofotómetro GËNESIS, para empezar, se realizó la lectura del extracto puro (sin ácido clorhídrico) y se realizó otra después de añadir 1mL del ácido (HCl, 1N) y se agitó levemente, en ambos casos las lecturas se realizaron a distintas longitudes de onda: 664 nm, 665 nm y a 750 nm.

Una vez obtenidos los resultados se llevó a cabo la corrección de turbidez presente en el extracto de acuerdo al método 10200 establecido por Standard Methods, el cual sirve para determinar la concentración de clorofila “a” para ello se empleó la siguiente ecuación planteada por Hach (2003):

$$\text{Clorofila } a \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} = \frac{26,7 * (DO_{664:\text{antes}} - DO_{665:\text{después}}) * V_1}{V_2 * L}$$

Donde:

V_1 = volumen del extracto, en litros (L)

V_2 = volumen de la muestra, en metros cúbicos (m^3)

L= longitud paso de luz o ancho de la celda espectrofotométrica, en centímetros (cm)

26,7= constante para el factor de corrección de la absorbancia

DO 664nm= densidad óptica (longitud de onda) del extracto a 664nm antes de la acidificación

DO 665nm= densidad óptica (longitud de onda) del extracto a 665nm después de la acidificación

Nota: El volumen del extracto (acetona alcalizada) empleado es de 0,005 L, se trabajó con un volumen conocido de muestra (agua recolectada) que fue $0,00015\text{m}^3$ y la medida del ancho de la celda espectrofotométrica utilizada fue de 1cm.

3.11 Evaluación del Índice de Estado Trófico (IET)

Se utilizó el método propuesto por Carlson (1977) para estado trófico en zonas templadas, mismo que fue modificado por Aizaki et al., (1981), que se basa en el parámetro de clorofila “a” y se calcula con la siguiente ecuación:

$$TSI (Clorofila a) = 10 * \left(2,46 + \frac{\ln Cl a}{\ln 2,5} \right)$$

Para establecer el estado trófico de la laguna se utilizó la escala de valores de la tabla 3:

Tabla 3 Escala del estado de trofia en cuerpos de agua (Aizaki citado en Moreno et al., 2010:25-33)

Estado de eutrofia	TSI	Clorofila a (mg/m³)
Oligotrófico (TSI < 30)	0	0,04
	10	0,012
	20	0,34
	30	0,94
Mesotrófico (30 < TSI <60)	40	2,6
	50	6,4
	60	20
Eutrófico (60 <TSI <90)	70	56
	80	154
	90	427
Hipertrófico (90< TSI< 100)	100	1183

3.12 Análisis Estadístico y Correlación

Con la ayuda del software Minitab 2018, se calculó la media correspondiente, para cada parámetro físico químico analizado en el cuerpo de agua, valor utilizado para la correlación con los valores permisibles encontrados en el TULSMA, ver anexo 1.

La correlación se realizó mediante el coeficiente de Pearson (r) que va desde los valores -1 a 1 para su interpretación Hernández et al., (2010) mencionan la escala de valores que se presenta en el anexo 2.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

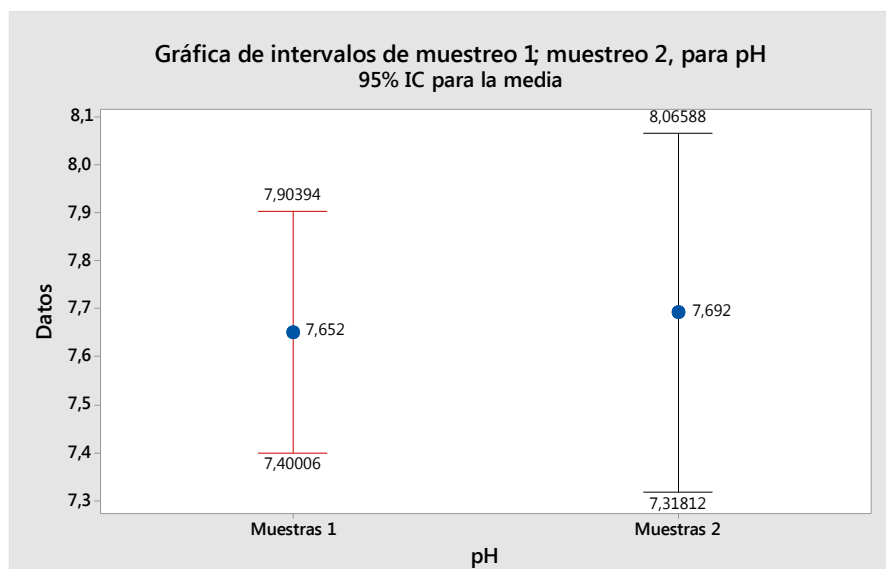
4.1 Resultados de los parámetros fisicoquímicos

Se identificaron los intervalos de confianza, estableciendo la media de los valores obtenidos en cada punto de muestreo para los parámetros fisicoquímicos analizados: pH, DBO₅, conductividad eléctrica y temperatura, luego se verificó que los datos de cada parámetro cumplieran una distribución normal.

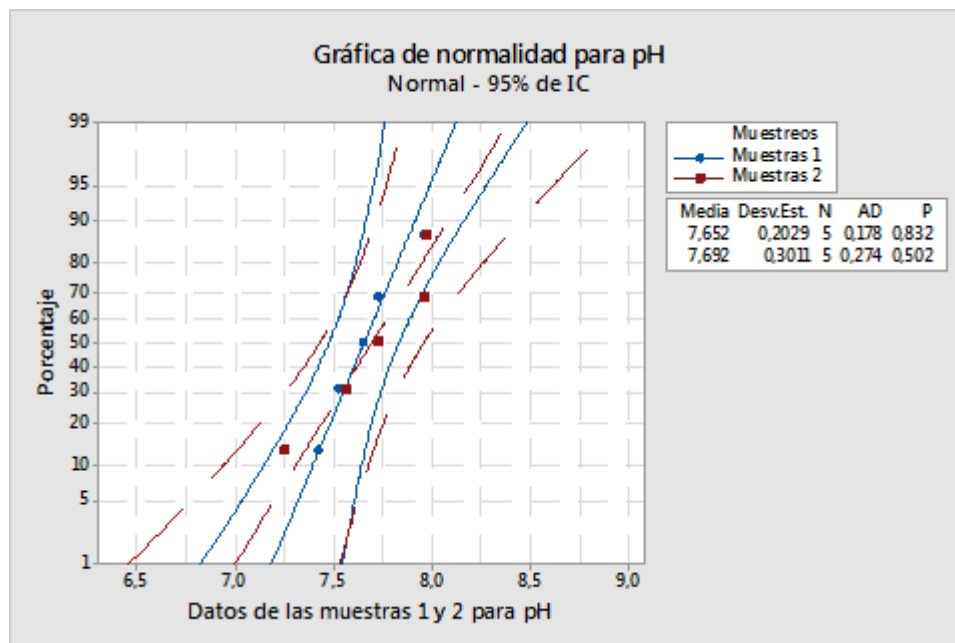
Tabla 4 Datos de los muestreos 1 y 2 para pH

Puntos de muestreo	Muestreo 1	Muestreo 2	Promedio
A	7.42	7.56	7.49
B	7.95	7.72	7.83
C	7.52	7.97	7.74
D	7.65	7.25	7.45
E	7.72	7.96	7.84

Nota: El valor promedio a considerar para pH es 7.67, encontrándose en los valores permisibles para aguas naturales según el TULSMA, ver anexo1.



Gráfica 1 Intervalos con el 95% de confianza para límites superior e inferior de los muestreos 1 y 2 para pH



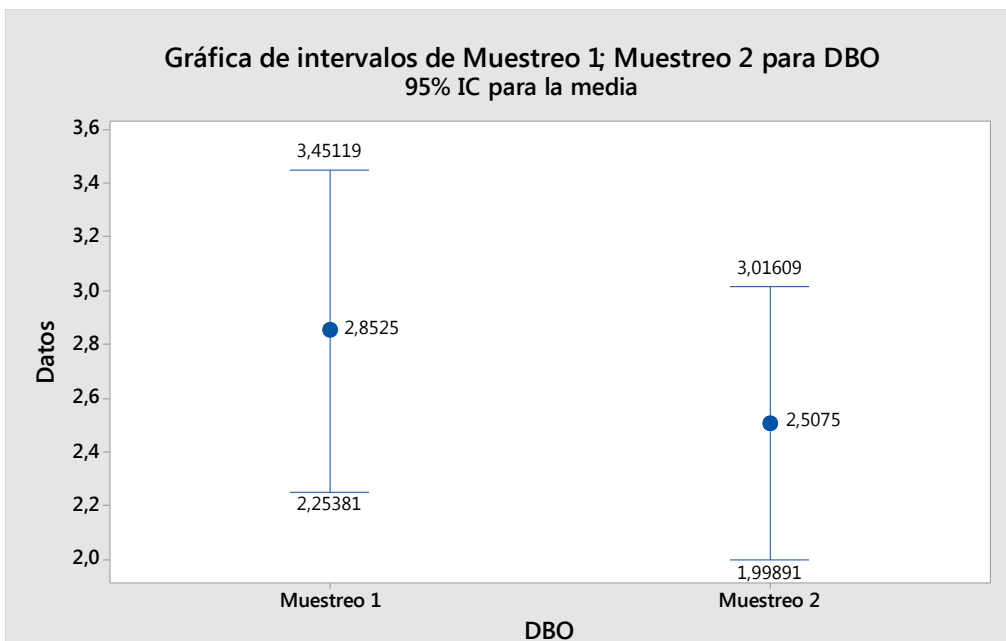
Gráfica 2 Normalidad con el 95% de intervalos de confianza para los datos de los muestreos 1 y 2 de pH

En la gráfica 1, se representan los valores obtenidos de los muestreos realizados para pH, sus límites de 7.652 y 2; 7.692, respectivamente. En la gráfica 2, se representa la distribución normal de los datos obtenidos para pH, en donde el valor de P para el muestreo 1 es de 0.832 y para muestreo 2 de 0.502, resultando ser mayores al nivel de significancia de 0.05.

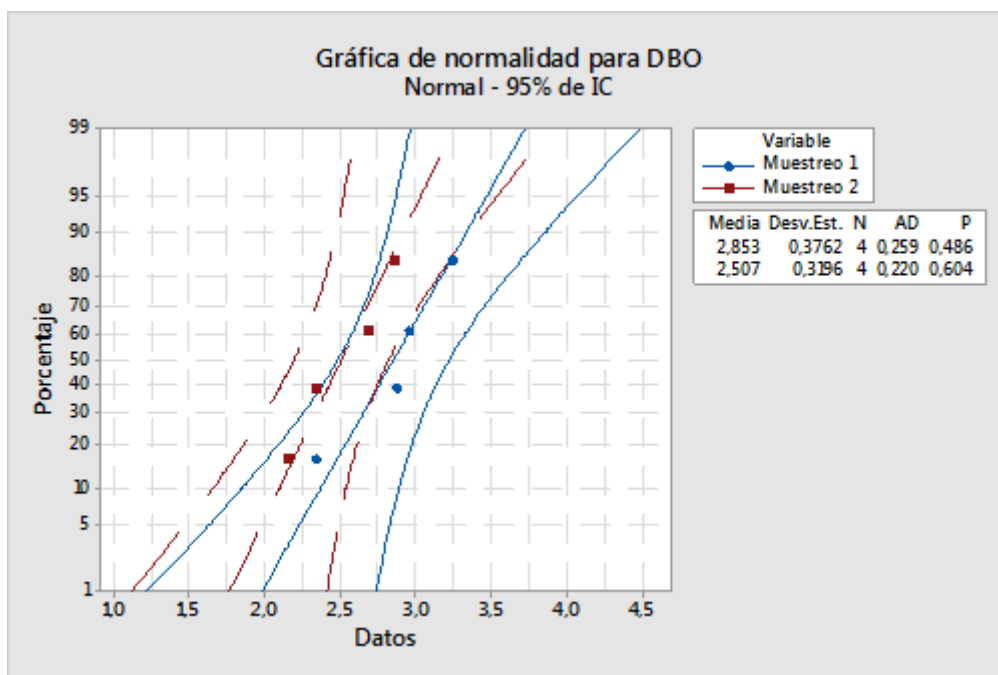
Tabla 5 Datos de las mediciones realizadas para DBO_5

Puntos de muestreo	Muestreo 1	Muestreo 2	Promedio
A	2.34 mg/L	2.15 mg/L	2.24
B	2.87 mg/L	2.69 mg/L	2.78
C	3.24 mg/L	2.85 mg/L	3.04
D	2.96 mg/L	2.34 mg/L	2.65
E	2.75 mg/L	2.68 mg/L	2.71

Nota: El valor promedio a considerar para DBO_5 es 2.68 mg/L, encontrándose fuera del límite permisible para para aguas naturales según el TULSMA, ver anexo1.



Gráfica 3 Intervalos de confianza para los datos obtenidos para los muestreos 1 y 2 para DBO₅



Gráfica 4 Normalidad con el 95% de intervalos de confianza para los datos de los muestreos 1 y 2 para DBO₅

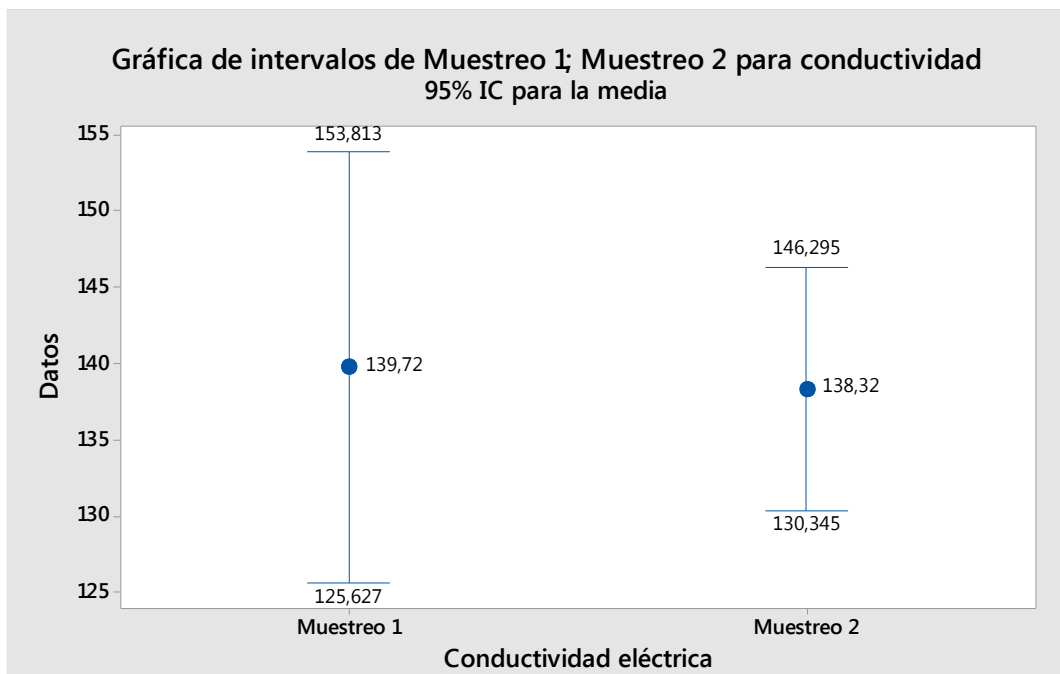
En la gráfica 3, se representan los valores obtenidos de los muestreos realizados para DBO_5 , sus intervalos superiores e inferiores y la media calculada, para el muestreo 1 es de 2.85 mg/L y para el muestreo 2; 2.50 mg/L.

En la gráfica 4, se representa la distribución normal de los datos obtenidos para DBO_5 , en donde se demuestra que los datos cumplen con normalidad, el valor de P para el muestreo 1 de 0.483 y para muestreo 2 de 0.604, resultando ser mayores al nivel de significancia de 0.05.

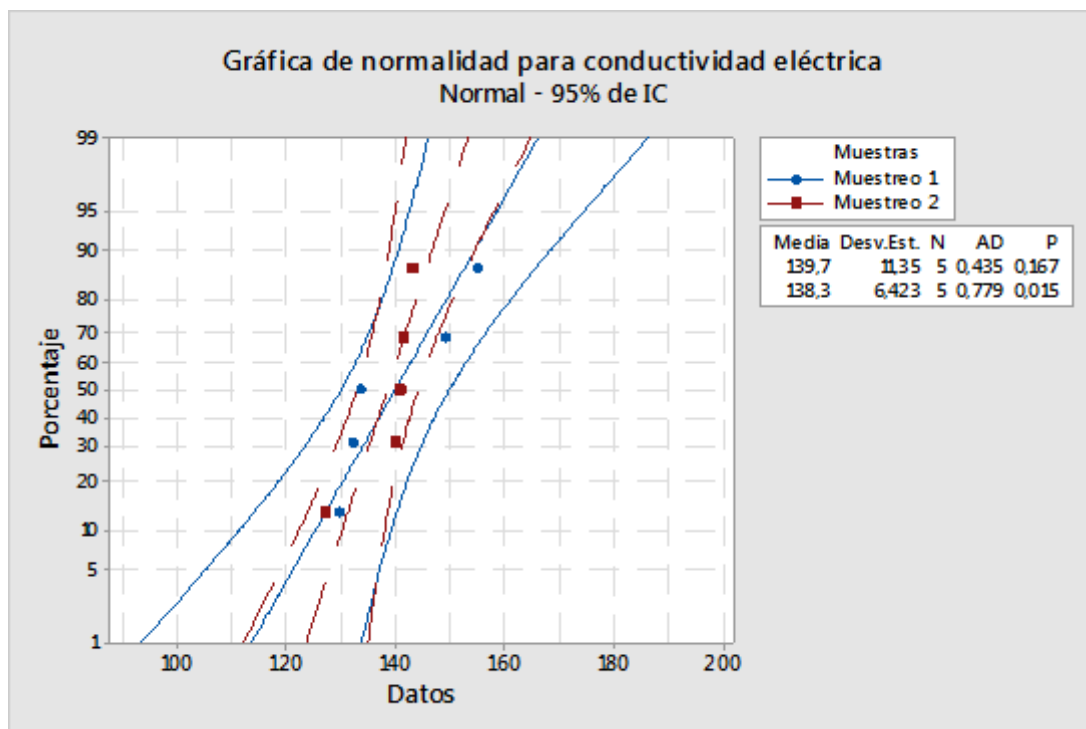
Tabla 6 Datos de los resultados de las mediciones de conductividad eléctrica

Puntos de muestreo	Muestreo 1	Muestreo 2	Promedio
A	149.0 uS/cm	127.0 uS/cm	138.0
B	154.7 uS/cm	139.9 uS/cm	147.3
C	132.0 uS/cm	140.7 uS/cm	136.4
D	133.5 uS/cm	141.1 uS/cm	137.3
E	129.4 uS/cm	142.9 uS/cm	136.1

Nota: El valor promedio a considerar para conductividad es de 139.02 uS/cm, encontrándose en el nivel excelente, dentro de las especificaciones para aguas naturales en el TULSMA.



Gráfica 5 Intervalos de confianza para los datos obtenidos para los muestreos 1 y 2 para conductividad eléctrica



Gráfica 6 Normalidad con el 95% de intervalos de confianza para los datos de los muestreos 1 y 2 para conductividad eléctrica

En la gráfica 5, se representan los valores obtenidos de los muestreos realizados para conductividad eléctrica, sus intervalos superiores e inferiores y la media calculada, para el muestreo 1 es de 139.72 uS/cm y para el muestreo 2; 18.32 uS/cm.

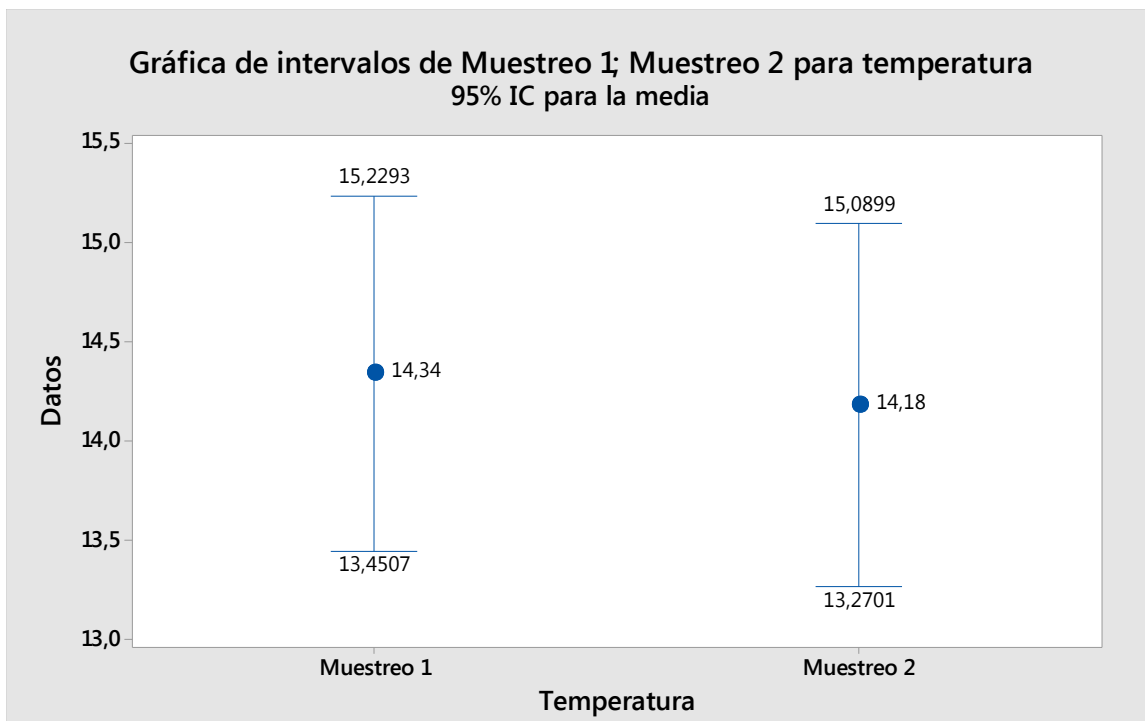
En la gráfica 6, se representa la distribución normal de los datos obtenidos para conductividad eléctrica, en donde se demuestra que los datos cumplen con normalidad, el valor de P para el muestreo 1 de 0.167 y para muestreo 2 de 0.015.

Los datos obtenidos resultaron ser normales para el muestreo 1, no obstante, para el muestreo 2 no se consiguió normalidad.

Tabla 7 Datos obtenidos del muestreo para temperatura

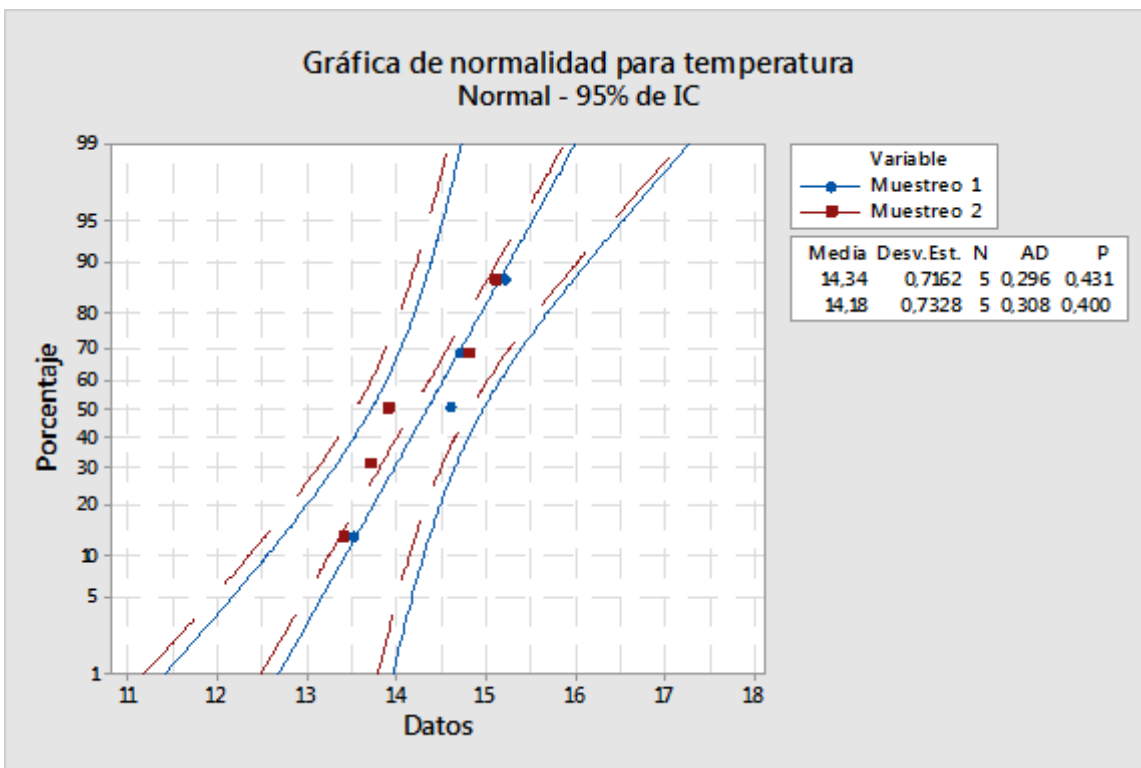
Puntos de muestreo	Muestreo 1	Muestreo 2	Promedio
A	13.5	13.4	13.5
B	14.6	14.8	14.7
C	13.7	13.9	13.8
D	14.7	15.1	14.9
E	15.2	13.7	14.5

Nota: El valor promedio a considerar para temperatura es de 14.26 °C, encontrándose dentro del rango de valores permisibles para aguas naturales en el TULSMA, ver anexo 1.



Gráfica 7 Gráfica 5 Intervalos de confianza para los datos obtenidos para los muestreos 1 y 2 para temperatura

En la gráfica 7, se representan los valores obtenidos de los muestreos realizados para temperatura, sus intervalos superiores e inferiores y la media calculada, para el muestreo 1 el valor es de 14.34 °C y para el muestreo 2; 14.18°C.



Gráfica 8 Normalidad con el 95% de intervalos de confianza para los datos de los muestreos 1 y 2 para temperatura

En la gráfica 8, se representa la distribución normal de los datos obtenidos para temperatura, en donde se demuestra que los datos cumplen con normalidad, el valor de P para el muestreo 1 de 0.431 y para muestreo 2 de 0.400, resultando ser valores mayores al nivel de significancia de 0.05.

4.2 Resultados de la concentración de clorofila “a” mediante espectrofotometría

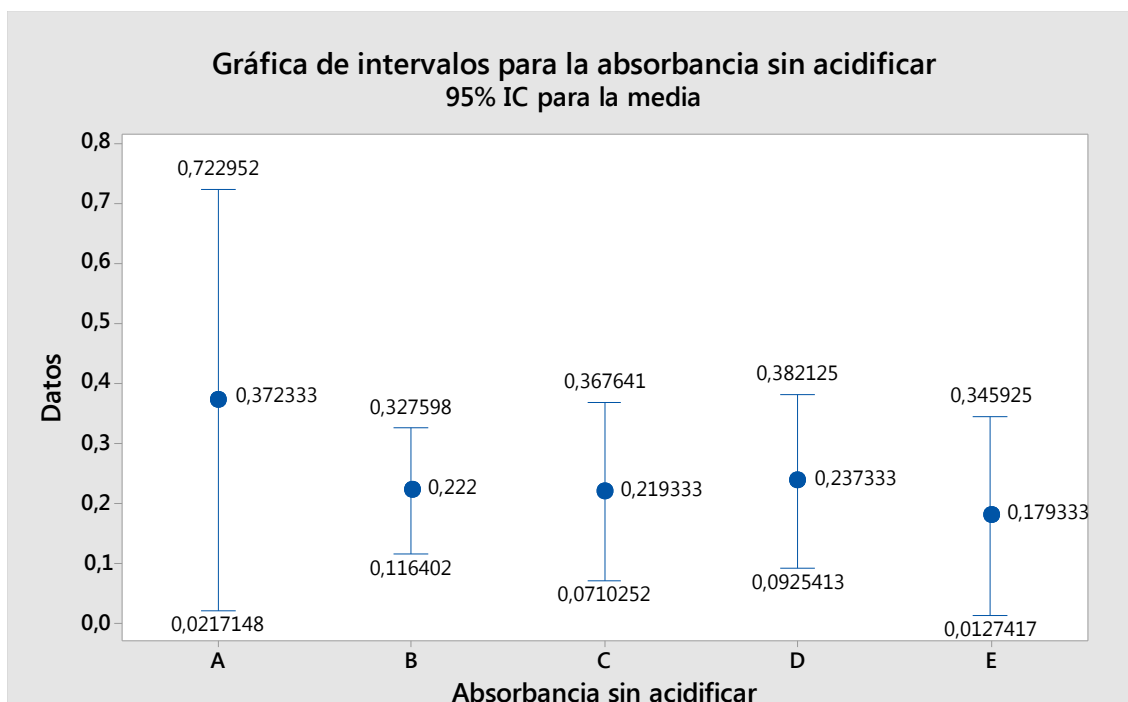
En las tablas 8 y 9 se muestran los datos obtenidos de la concentración de clorofila “a” sin acidificar y los datos obtenidos luego de acidificado respectivamente, para ambas campañas de muestreo.

En las gráficas 9 y 10 se representan los datos obtenidos de la medición de la clorofila a sin acidificar, se muestra sus intervalos al 95% de confianza y prueba de normalidad con un valor de P mayor al nivel de significancia para todos los puntos de muestreo en la primera campaña.

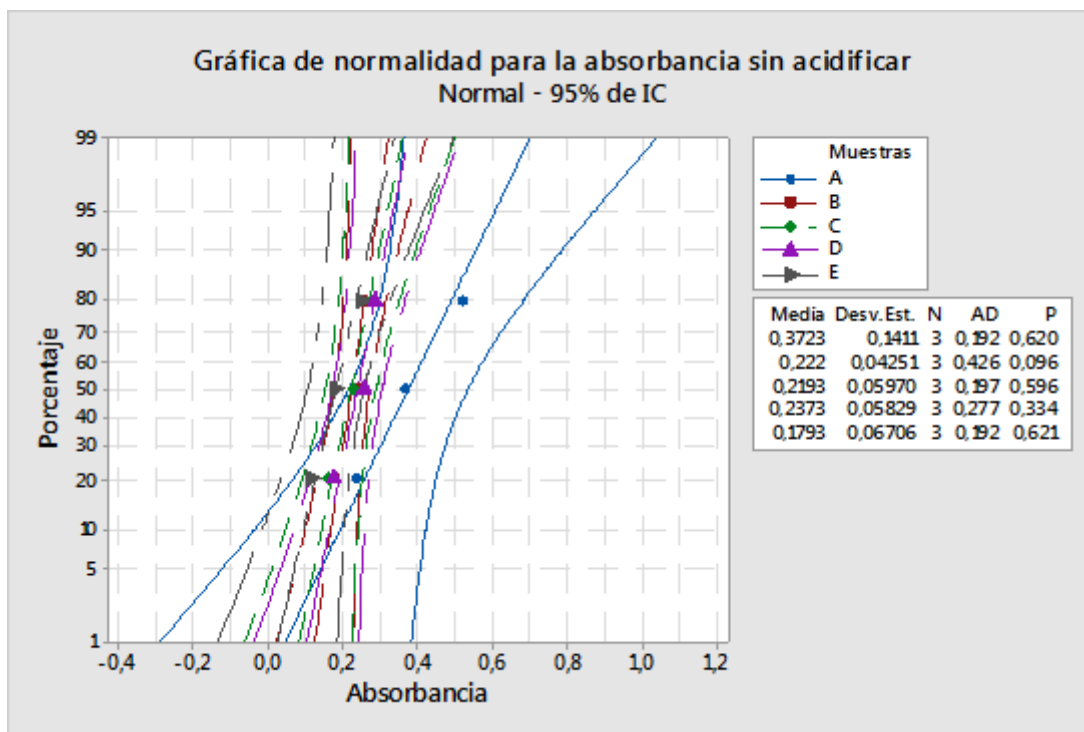
En las gráficas 11 y 12 se representan los datos obtenidos de la medición de la clorofila a sin acidificar, se muestran sus intervalos al 95% de confianza y una prueba de normalidad con un valor de P mayor al nivel de significancia para todos los puntos de muestreo en la segunda campaña de toma de datos.

Tabla 8 Lecturas de absorbancia, sin adición de Ácido Clorhídrico

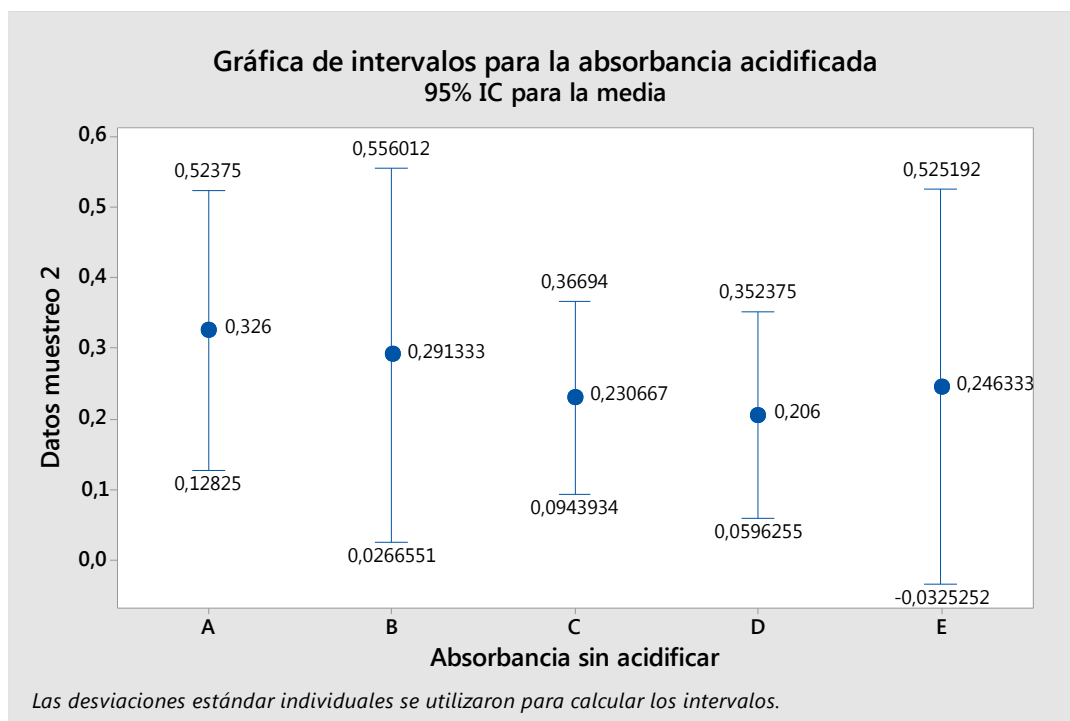
Longitud de onda	Muestreo 1					Muestreo 2				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
664	0.235	0.244	0.276	0.284	0.248	0.259	0.183	0.254	0.194	0.227
665	0.517	0.249	0.225	0.256	0.176	0.414	0.396	0.270	0.154	0.145
750	0.365	0.173	0.157	0.172	0.114	0.305	0.295	0.168	0.270	0.367



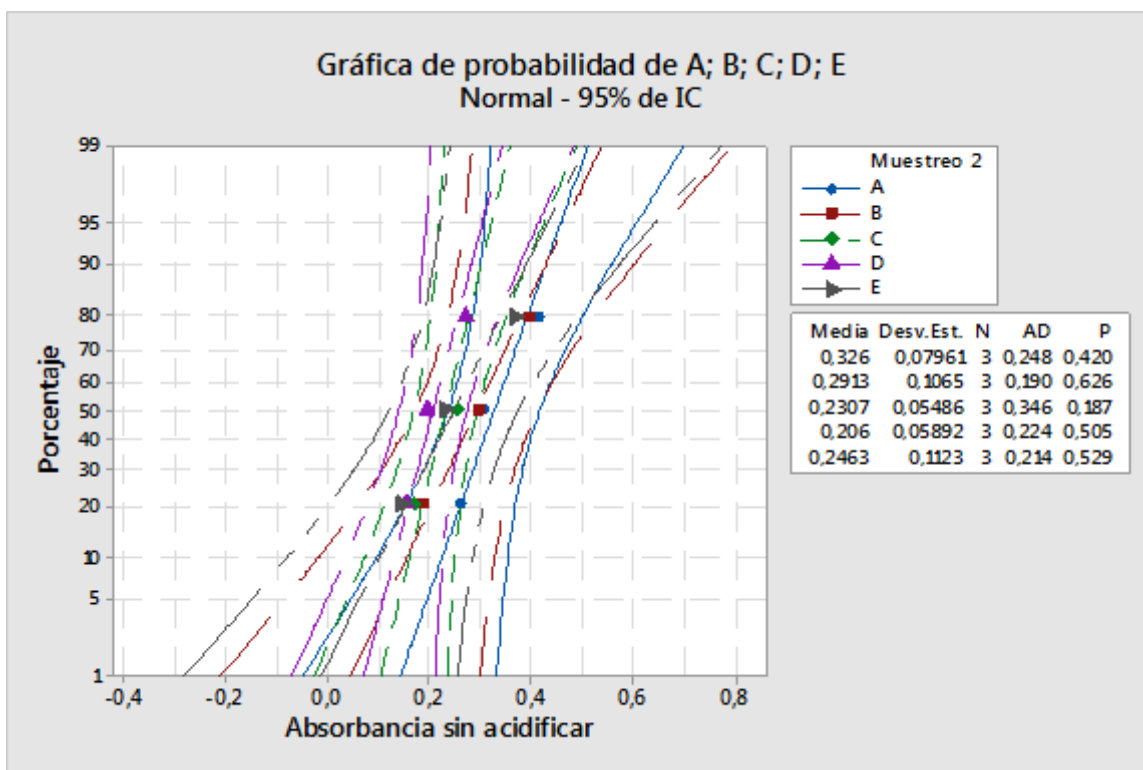
Gráfica 9 Intervalos con el 95% de confianza para la absorbancia sin acidificar para el primer muestreo.



Gráfica 10 Prueba de normalidad para los datos de la absorbancia sin acidificar del primer muestreo, los valores de P resultantes mostraron ser mayores al nivel de significancia.



Gráfica 11 Intervalos con el 95% de confianza para la absorbancia sin acidificar para el segundo muestreo



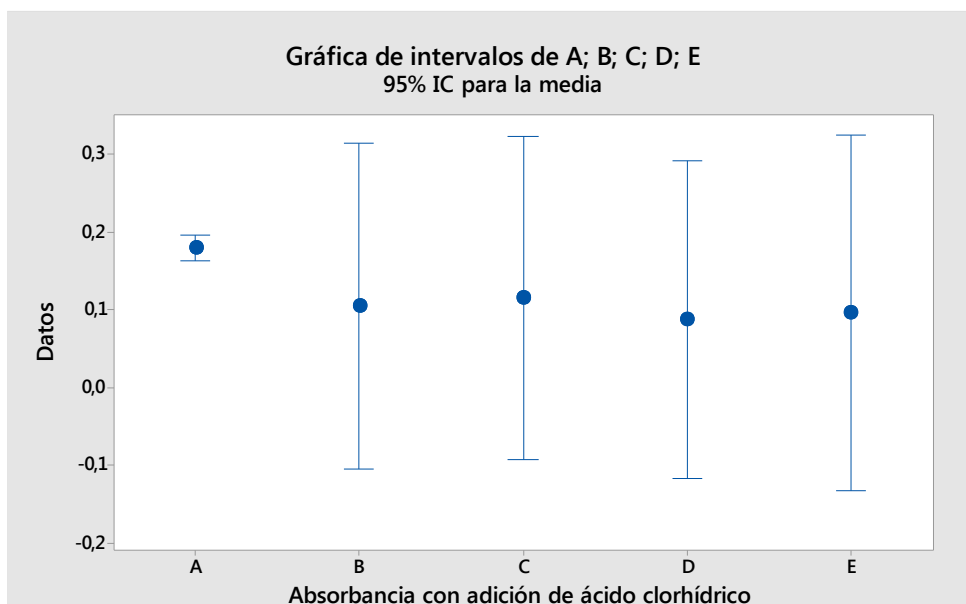
Gráfica 12 Prueba de normalidad para los datos de la absorbancia sin acidificar del segundo muestreo, los valores de P resultantes mostraron ser mayores al nivel de significancia.

Tabla 9 Lectura de absorbancia con adición de Ácido Clorhídrico

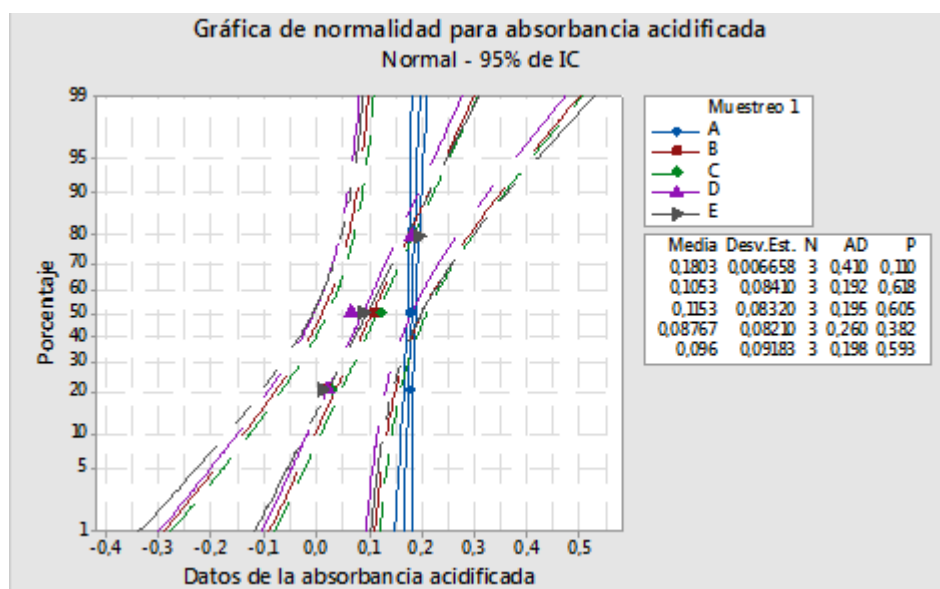
Longitud de onda	Muestreo 1					Muestreo 2				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
664	0.188	0.110	0.122	0.064	0.087	0.104	0.100	0.191	0.137	0.113
665	0.176	0.187	0.195	0.179	0.192	0.188	0.174	0.183	0.167	0.185
750	0.177	0.019	0.029	0.020	0.009	0.049	0.035	0.072	0.011	0.005

En las gráficas 9 y 10 se representan los datos obtenidos de la medición de la clorofila a sin acidificar, se muestra sus intervalos al 95% de confianza y prueba de normalidad con un valor de P mayor al nivel de significancia para todos los puntos de muestreo en la primera campaña.

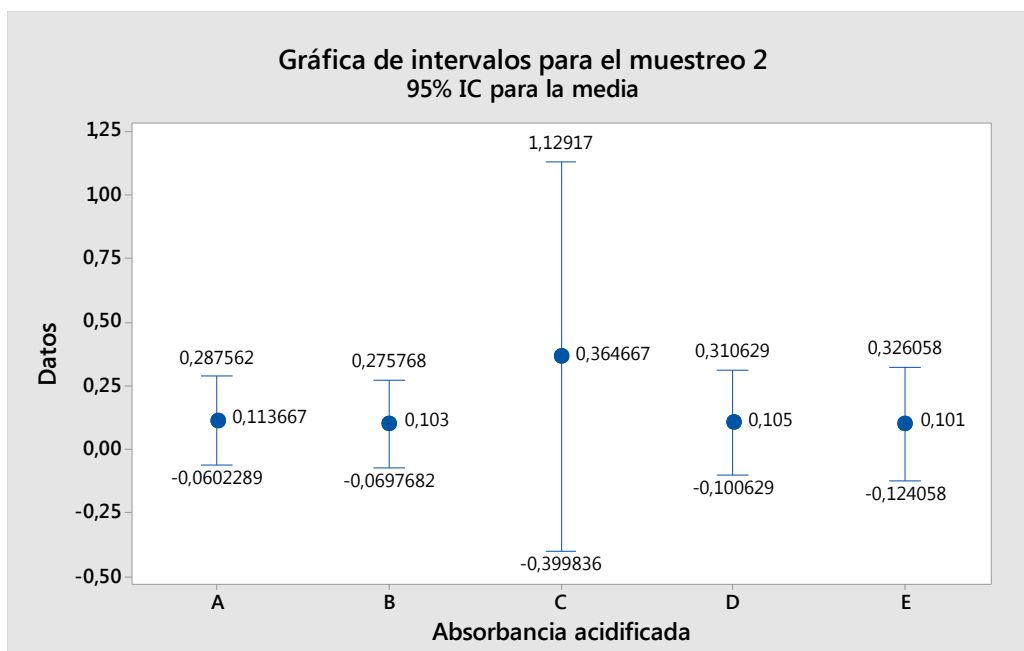
En las gráficas 11 y 12 se representan los datos obtenidos de la medición de la clorofila a sin acidificar, se muestran sus intervalos al 95% de confianza y una prueba de normalidad con un valor de P mayor al nivel de significancia para todos los puntos de muestreo en la segunda campaña de toma de datos.



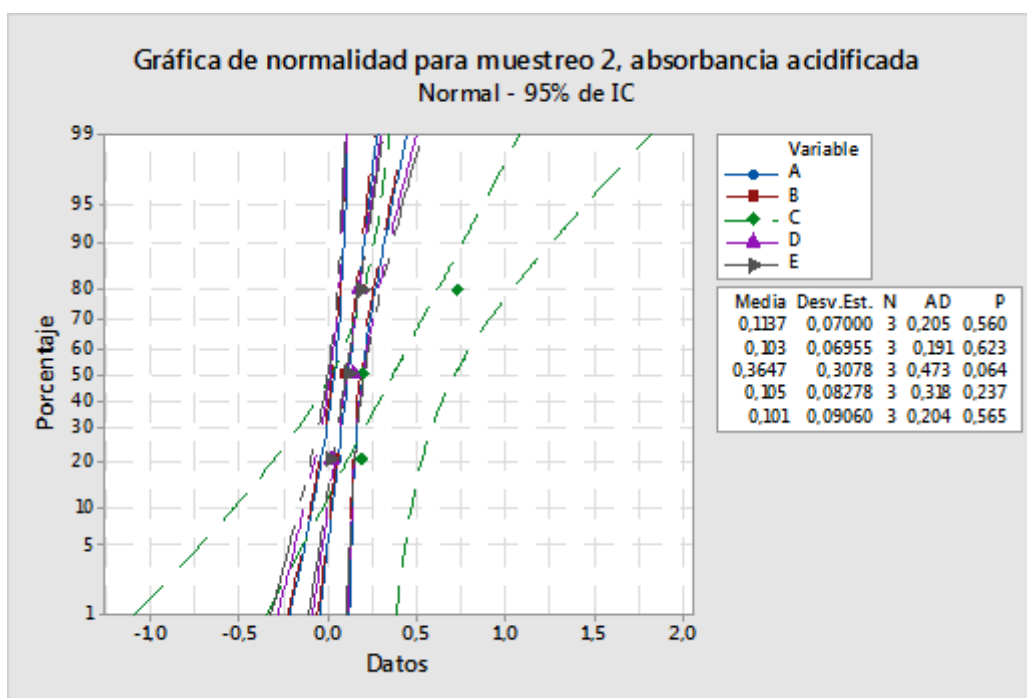
Gráfica 13 Intervalos al 95% de confianza para los datos de la absorbancia para clorofila a luego de acidificar, muestreo 1.



Gráfica 14 Prueba de normalidad para los datos obtenidos de la absorbancia para clorofila a luego de acidificar en el muestreo 1



Gráfica 15 Intervalos al 95% de confianza para los datos de la absorbancia para clorofila a luego de acidificar, muestreo 2.



Gráfica 16 Gráfica 14 Prueba de normalidad para los datos obtenidos de la absorbancia para clorofila a luego de acidificar en el muestreo 2.

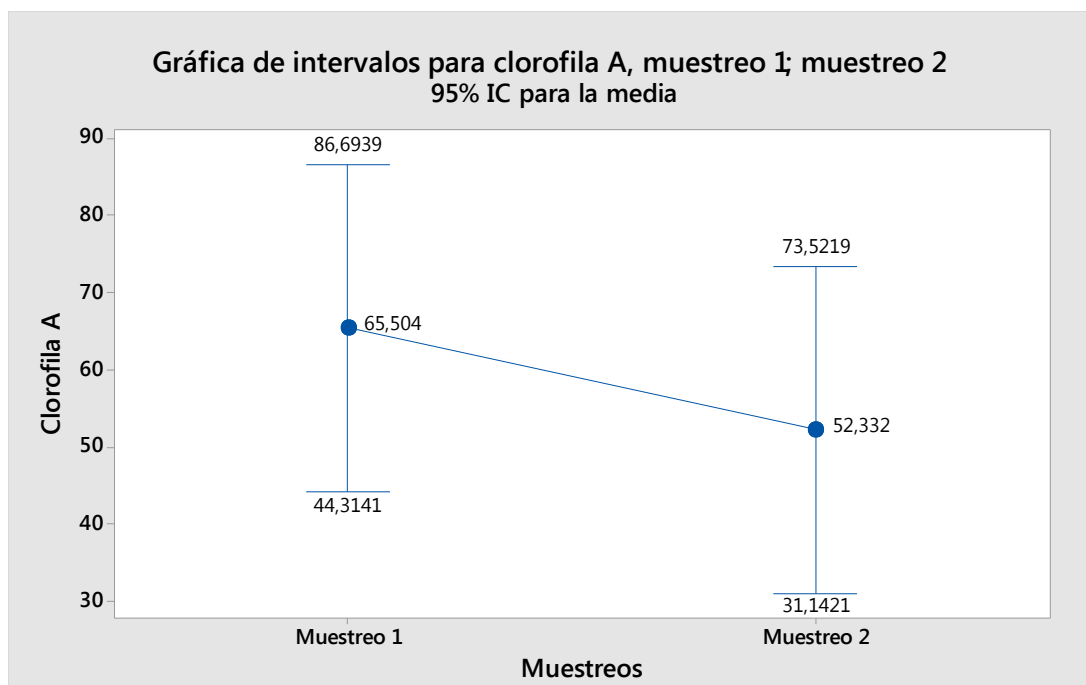
Puntos de Muestreo	Muestreo 1 Clorofila a (mg/m3)	Muestreo 2 Clorofila a (mg/m3)	Promedio de Clorofila a (mg/m3)	Índice del Estado Trófico (Muestreo 1)	Índice del Estado Trófico (Muestreo 2)
A	52.51	63.19	57.85	67.82	69.84
B	50.73	73.87	62.30	67.45	71.55
C	80.99	63.19	72.09	72.55	75.75
D	93.45	24.03	58.74	74.11	59.29
E	49.84	37.38	43.41	67.25	64.11

Para las concentraciones finales de clorofila A en cada punto de muestreo se realizó un análisis de varianza para determinar que los dos procesos fueron realizados de manera adecuada y que pudieran corroborarse entre sí, ver gráfica 17, los detalles se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 10 Análisis de varianza para las concentraciones de clorofila A en los dos muestreos

Fuente	GL	SC Ajust	MC Ajust	Valor F	Valor p
Factor	1	433.8	433.8	1.03	0.340
Error	8	3377.5	422.2		
Total	9	3811.3			

Nota: El valor de p es mayor al del nivel de significancia de 0.05, lo que demuestra que se acepta la hipótesis alternativa y rechaza la hipótesis nula, los dos muestreos presentan significancia entre ellos.



Gráfica 17 Intervalos al 95% de confianza, media y análisis de varianza para el muestreo 1 y 2 de concentración de clorofila A

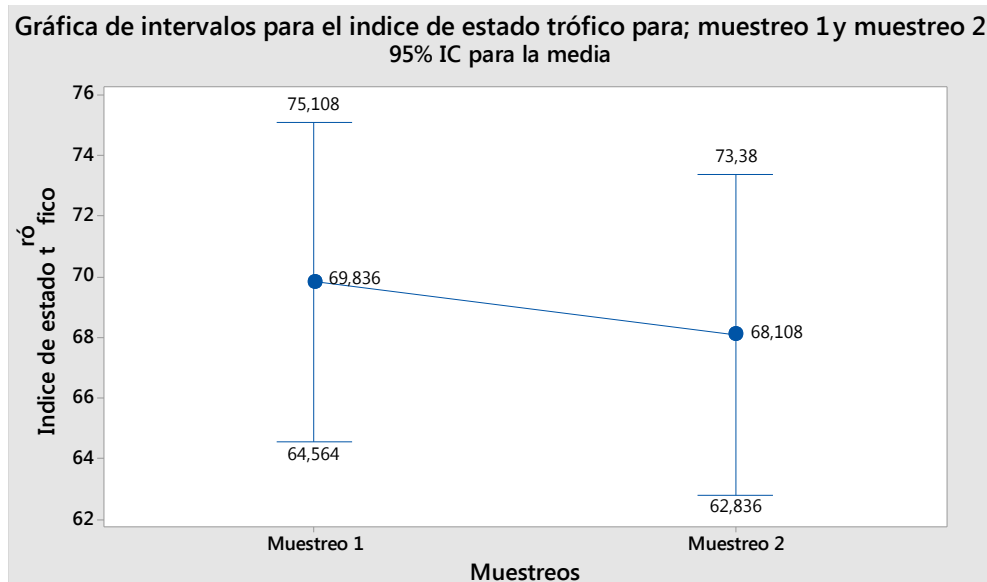
Para el IET de igual manera se realizó un análisis de varianza, ver gráfica 18, los detalles se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 11 Análisis de varianza para el estado trófico

Fuente	GL	SC Ajust	MC Ajust	Valor F	Valor p
Factor	1	7.465	7.465	029	0.608
Error	8	209.066	26.133		
Total	9	216.531			

Nota: El valor de P es mayor al del nivel de significancia de 0.05, lo que demuestra que se acepta

la hipótesis alternativa y rechaza la hipótesis nula, los dos muestreos presentan significancia entre ellos para el índice de estado trófico.



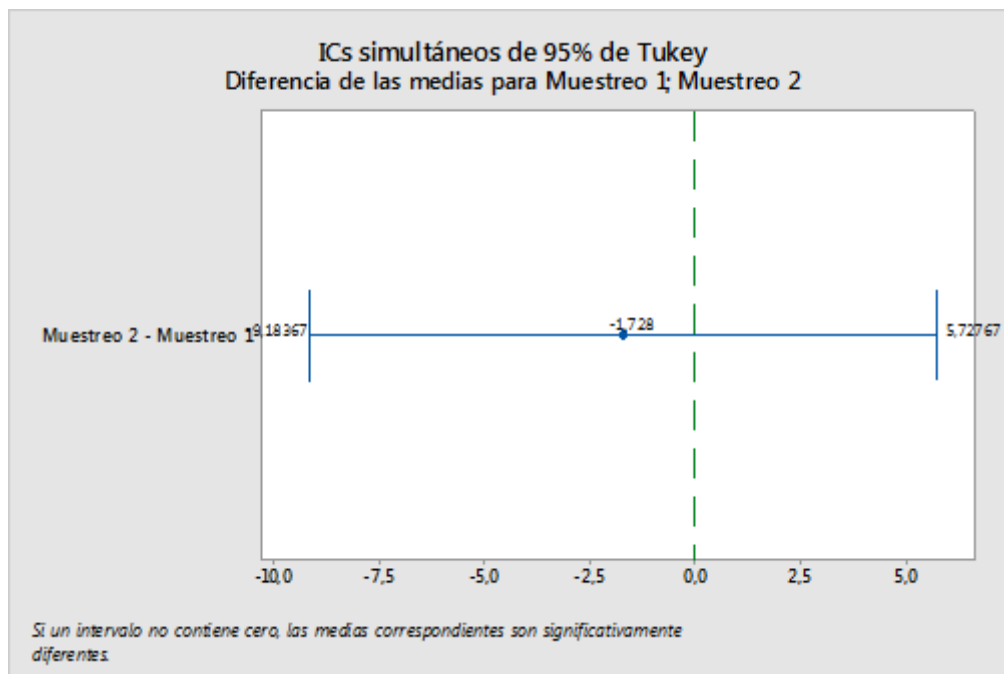
Gráfica 18 Intervalos con el 95% de confianza para el índice de estado trófico para muestreo 1 y 2.

Para comprobar que los muestreos hayan sido realizados de la misma manera se utilizó el método estadístico Tuckey, que demuestra que si sus letras comparten similitud en sus agrupaciones son significativamente iguales, ver gráfica 19. Los detalles se describen a continuación:

Tabla 12 Comparaciones en parejas de Tukey

Factor	N	Media	Agrupación
Muestreo 1	5	69.84	A
Muestreo 2	5	68.11	A

Nota: Las medias comparten en sus agrupaciones la misma letra, esto demuestra que los muestreos son significativamente iguales.



Gráfica 19 Comparaciones en parejas de Tukey para el índice de estado trófico

Con los datos de los muestreos cumpliendo con ser significativamente iguales, se procedió a utilizar las medias calculadas para desarrollar el coeficiente de correlación de Pearson, con los parámetros físico químicos ya antes calculados, para temperatura, pH, DBO₅ y conductividad eléctrica. La dispersión de los datos se presenta en el gráfico 20. Los detalles de las medias calculadas utilizadas se muestran a continuación en la tabla 14 y los coeficientes de correlación de Pearson con sus valores se detallan en la tabla 15.

Tabla 13 Medias calculadas para calcular los coeficientes de correlación de Pearson

I.E.T.	Temperatura	pH	DBO	C.E.
68,83	13,5 °C	7,49	2,24 mg/L	138,0 uS/cm
69,50	14,7 °C	7,83	2,78 mg/L	147,3 uS/cm
74,15	13,8 °C	7,74	3,04 mg/L	136,4 uS/cm
66,70	14,9 °C	7,45	2,65 mg/L	137,3 uS/cm

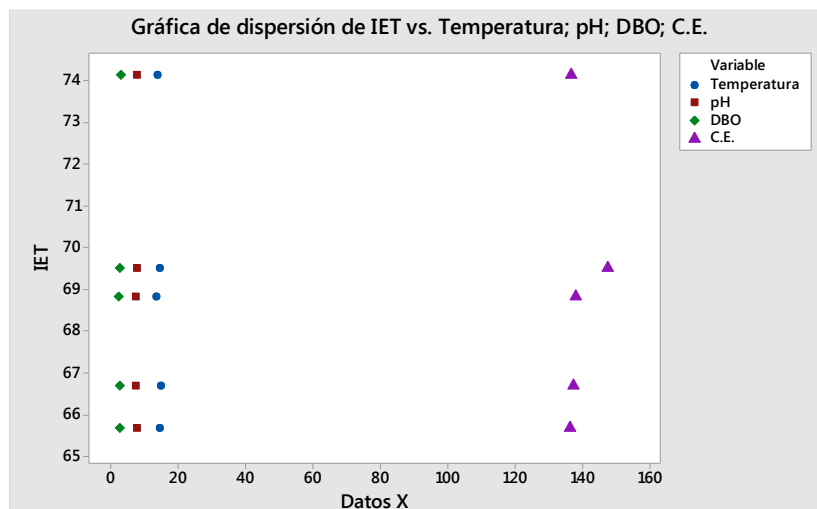
65,68

14,5 °C

7,84

2,71 mg/L

136,1 uS/cm



Gráfica 20 Dispersión de datos para Índice de estado trófico vs parámetros físico químicos

Tabla 14 Detalles de la correlación de Pearson entre Índice de estado trófico vs parámetros físico químicos

Variables	Correlación de Pearson	Valor p	Tipo de Correlación
IET vs Temperatura	-0.542	0.345	Positiva media
IET vs pH	0.168	0.787	Positiva considerable
IET vs DBO	0.513	0.377	Positiva media
IET vs C.E	0.073	0.908	Positiva muy fuerte

Capítulo 5

Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

Al finalizar este estudio, el valor obtenido del TSI fue de 68.972, y al compararlo con la escala de valores de Carlson (ver Anexo 6) empleado en la evaluación del estado trófico, se pudo determinar que la laguna se encuentra en un elevado grado de trofia, concretamente en estado eutrófico. Se puede inferir que la eutrofización de la laguna es el resultado de la acumulación de nutrientes derivados de las actividades antropogénicas que se realizan en el lugar, consecuentemente se ha aumentado el número de algas y plantas acuáticas, en este aspecto sobresale el enorme crecimiento de Totorá (*Schoenoplectus californicus*), que evidentemente se identifican visualizando el lugar.

En cuanto a los parámetros físico químicos analizados: potencial Hidrógeno, demanda biológica de oxígeno, conductividad eléctrica y temperatura, se señala que se mantienen dentro del rango de límites permisibles para aguas naturales de uso recreacional cuyo contacto con el ser humano es de tipo secundario según el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA), en Ecuador, ver anexo 1.

Para el potencial de Hidrógeno; se obtuvo un valor final promedio de 7.67, que indica una neutralidad ligeramente alcalina, asimismo se conoce gracias al análisis estadístico por correlación de Pearson (ver tabla 15) que se encuentra ligada positivamente a la eutrofización de la laguna.

En lo que respecta a la demanda biológica de oxígeno se obtuvo un valor final promedio de 2,68 mg/L, indicando déficit de oxígeno, se intuye que esto se debe a la gran cantidad de biomasa que posee la laguna, este factor posee una correlación media con la eutrofización.

El valor final promedio obtenido fue de 139.02 uS/cm para la conductividad eléctrica, cabe recalcar que dentro de la normativa ecuatoriana no se encuentra un límite máximo o mínimo permisible para este parámetro, sin embargo, según James et al (1982) se considera que los valores

normales radican entre 30 y 60 uS/cm, pues valores excesivamente altos se traducen en una correlación fuerte con la eutrofización de la laguna.

En lo concerniente a la temperatura se obtuvo un valor final promedio de 14.26 °C; para que la temperatura pudiese inferir de alguna manera en la eutrofización de la laguna deberían tratarse de temperaturas bastante elevadas. Por lo que se deduce que no interviene de manera significativa en el estado trófico actual de la laguna Busa.

Se puede entonces concluir que, la calidad del agua de la laguna Busa, cumple con algunos de los parámetros establecidos en la normativa del Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA), estos valores se mantienen dentro de los límites permisibles, pero no aseguran por completo el bienestar de la ciudadanía en caso de que alguien entrara en contacto con el agua, ya que este estudio va dirigido únicamente al análisis del grado de contaminación de la laguna, quedando demostrado que el cuerpo de agua en mención está siendo contaminado y afectado directamente por el turismo que allí se suscita, de igual manera; y como ya se mencionó anteriormente el agua se ve contaminada por las actividades pecuarias que se realizan en los alrededores, y cuyos desechos de origen animal y/o agrícola se asume llegan a la laguna por medio del agua subterránea y las escorrentías que terminan alimentando el caudal de entrada de agua.

5.2 Recomendaciones

- Se debe considerar el complementar este trabajo de investigación con otros estudios que lo avalen y que de igual manera determinen el Índice de Estado Trófico, como por ejemplo la medición de fosfatos y nitratos, asimismo el realizar análisis microbiológicos es una medida muy importante al tomar en cuenta, pues el agua de la laguna está en constante contacto con las personas, buscando así prevenir enfermedades en la piel y en caso de ingesta accidental enfermedades gastrointestinales.
- Del mismo modo, se recomienda realizar un estudio sobre la calidad del agua que alimenta a la laguna de Busa, esto con el fin de conocer la influencia que tiene sobre la misma.
- Finalmente, uno de principales objetivos de este estudio fue su entrega al GAD cantonal de San Fernando, esperando con ello brindar la información que esta entidad necesita para tomar medidas al respecto; y se pueda empezar a buscar una solución que de alguna manera permita mitigar el fenómeno de eutrofización, además, se debe realizar un plan de monitoreo para la evaluación periódica del cuerpo de agua, es muy importante mencionar que si el nivel de contaminación llegase a aumentar significativamente con el pasar del tiempo se podría llegar a un nivel hipertrófico, el cual es considerado un estado de no reversa, lo que implicaría por ende la muerte de este ecosistema tanpreciado para quienes tenemos el gusto de conocerlo y lo que implicaría una gran pérdida para el sector productivo de este cantón.

6. Bibliografía

- Alvarez, A., & Gaitán, J. (1994). *Lagunas costeras y el litoral mexicano*. México.
- Arias, F. G. (2012). El Proyecto de Investigación - Introducción a la metodología científica. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53). Editorial Episteme.
- Aular, A. (2019). ¿Qué son las aguas lénticas? - Lifeder. Retrieved May 28, 2020, from Aguas lénticas website: <https://www.lifeder.com/aguas-lenticas/>
- Banderas, A., & González, R. (1996). La limnología, una revisión del concepto. *Ingeniería Hidráulica En México*, 9(1), 77–84.
- Borrás, C. (2018). *¿Qué es la eutrofización?* España.
- Boyd, C. E. and C. S. T. (1998). *VOLUMEN 3 – EJEMPLAR 11 Noviembre, 1998*. (figura 1), 1–4. Retrieved from https://www.nicovita.com.pe/extranet/boletines/nov_98_02.pdf
- Carlson, R. (1977). A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography*, 22(2), 361–369. <https://doi.org/10.4319/lo.1977.22.2.0361>
- Dominguez, E. (2012). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Introducción al Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial*. San Fernando .
- Edmondson, W. T. (1984). MARGALEF, R. 1983. Limnología. *Limnology and Oceanography*, 29(6), 1349–1349. <https://doi.org/10.4319/lo.1984.29.6.1349b>
- Fraille, H., Orive, E., & Pozo, J. (1995). *EVALUACIÓN DEL ESTADO TRÓFICO Y COMPARACIÓN DE MODELOS RELATIVOS AL FÓSFORO EN LOS EMBALSES DE CERNADILLA Y VALPARAÍSO (RÍO TERA, ZAMORA)*. Universidad del País Vasco, Bilbao.

- Franco, P., Quintero, J., & Cuevas, A. (2010). *Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia*. Retrieved from <http://lakewatch.ifas.ufl.edu/>
- Geraldi, M., Piccolo, C., & Perillo, G. (2011). Lagunas bonaerenses en el paisaje pampeano. *Revista Ciencia Hoy*.
- Gómez, G. (2018). *DETERMINACIÓN DEL ESTADO TRÓFICO ACTUAL DE LA LAGUNA “CUBE” A TRAVÉS DE LA CUANTIFICACIÓN DE PARÁMETROS QUÍMICOS (FOSFATOS, NITRATOS, CLOROFILA “A”) Y TRANSPARENCIA SECCHI*. Universidad Central del Ecuador, Quito.
- Gómez, M. (2018). *DETERMINACIÓN DEL ESTADO TRÓFICO ACTUAL DE LA LAGUNA “CUBE” A TRAVÉS DE LA CUANTIFICACIÓN DE PARÁMETROS QUÍMICOS (FOSFATOS, NITRATOS, CLOROFILA “A”) Y TRANSPARENCIA SECCHI*.
- Health Canada. (2012) *Guidelines for Canadian recreational water quality*. Ottawa: Health Canada. Recuperado a partir de http://epe.lacbac.gc.ca/100/201/301/weekly_checklist/2012/internet/w12-44-U-
- Iriondo, M. (2007). Lagos, lagunas y pantanos. In *Introducción a la Geología* (3rd ed., Vol. 3, pp. 169–180). Argentina: Editorial Brujas.
- López M., & Madroñero, S. (2015). ESTADO TRÓFICO DE UN LAGO TROPICAL DE ALTA MONTAÑA: CASO LAGUNA DE LA COCHA . *Scielo*, 25-(2), 1–22.
<https://doi.org/10.18359/rcin.1430>
- López, M., Milena, S., & Palacios, M. (2015). ESTADO TRÓFICO DE UN LAGO TROPICAL DE ALTA MONTAÑA: CASO LAGUNA DE LA COCHA. *Scielo*, 25.

<https://doi.org/10.18359/rcin.1430>

Maldonado, D., & Tavares, J. (2017). *Determinación del estado trófico de la Laguna de San Miguel Almaya. Capulhuac, Estado de México*. Ciencias Ambientales, México.

Moreno, D., & Ramírez, J. (2010). VARIACIÓN TEMPORAL DE LA CONDICIÓN TRÓFICA DEL LAGO DEL PARQUE NORTE, MEDELLÍN (ANTIOQUIA), COLOMBIA
TEMPORAL VARIATION OF TROPHIC CONDITION IN THE LAKE OF THE PARQUE NORTE, MEDELLÍN (ANTIOQUIA), COLOMBIA. In *Actual Biol* (Vol. 32). Antioquia.

Navarrete, R. (2005). *LA PRESERVACION DE LA BIODIVERSIDAD, EL MEDI OAMBIENTE Y LA UTILIZACION DE LOS RECURSOS NATURALES PARA IMPULSAR EL DESARROLLO SUSTENTABLE Y LA SEGURIDAD*. Quito.

Proaño, C. (2006). *Proyecto de Turismo Ecológico Alternativo para el biocorredor Girón-San Fernando ESPOL-PROLOCAL-I. Municipalidades de Girón y San Fernando*. ESPOL, Quito.

Raffino, M. (2020, February 12). Agua: Concepto, Composición, Funciones e Importancia.

Retrieved June 1, 2020, from Concepto y clasificación de Agua website:

<https://concepto.de/agua/>

Rodríguez, P. (2017). *DETERMINACIÓN DEL ESTADO TRÓFICO DE LA LAGUNA DE LIMONCOCHA MEDIANTE EL ANÁLISIS DE PERFILES HIDROQUÍMICOS EN EL PERIODO 2015-2017*. Universidad Internacional SEK, Quito.

Roldán, G., & Ramírez, J. (2008). Fundamentos de limnología neotropical. In *Editorial*

Universidad de Antioquia (2nd ed., Vol. 2). Colombia: Editorial Universidad de Antioquia.

Rosado, C., Villarino, A., Martínez, J., Cabrerizo, L., Gargallo, M., Lorenzo, H., ... Salas, J.

(2011). Artículo especial Importancia del agua en la hidratación de la población española: documento FESNAD 2010. *Nutr Hosp*, 26(1), 27–36.

<https://doi.org/10.3305/nh.2011.26.1.5167>

Rosegrant, M., Cai, X., & Cline, S. (2020). *Panorama global del agua hasta el año 2025: cómo impedir una crisis inminente* (2nd ed., Vol. 1). Washington DC: Colombo, Sri Lanka.

Smith, T., & Smith, R. (2007). Estructura de las comunidades. *Ecología*, (Capítulo 16), 350–369.

<https://doi.org/10.1007/BF02038502>

Tinajero, R. (2018). First record of the invasive exptoc snail *Melanoides tuberculata*

(Gastropoda: Thiaridae) in San Luis Potosí, Mexico. *Hidrobiológica*, 28(3), 349–351.

<https://doi.org/10.24275/uam/izt/dcbs/hidro/2018v28n3/tinajero>

Topanta, M. (2017). *DETERMINACIÓN DEL ESTADO TRÓFICO DE LA LAGUNA DE YAMBO A TRAVÉS DE LA CUANTIFICACIÓN DE CLOROFILA “A.”*

<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Anexos

**Anexo 1. Fragmento del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente
(TULSMA).**

Tabla 15 Límites permisibles de parámetros físico químicos para aguas naturales de uso recreacional

Parámetros	Límites	Criterios	Unidades	Referencia
DBO ₅	2,0	Calidad de agua destinada para fines recreativos mediante contacto secundario	mg/L	TULSMA, Libro VI, Anexo 1, tabla 7 (2015).
pH	6-9	Calidad de agua destinada para fines recreativos mediante contacto secundario	pH	TULSMA, Libro VI, Anexo 1, tabla 7 (2015).
Conductividad Eléctrica	250	Excelente	uS/cm	(James et al. 1982; citado en Moreno, 2010)
	250-750	Buena		
	750-2000	Permisible		
	2000-3000	No adecuado para uso		
	3000	Inapropiada		
Temperatura	12 a 15,5	Lagunas de alta montaña (2000-3000 m.s.n.m)	°C	(Roldan, 2008)

Anexo 2. Interpretación del coeficiente de Pearson

Tabla 16 Valores de p para la interpretación del coeficiente de correlación de Pearson

Valor	Tipo de Correlación
-1	Negativa perfecta
-0.90	Negativa muy fuerte
-0,75	Negativa considerable
-0,50	Negativa media
-0,25	Negativa débil
-0,10	Muy débil
0,00	No existe correlación alguna
0,10	Muy débil
0,25	Positiva débil
0,50	Positiva media
0,75	Positiva considerable
0,90	Positiva muy fuerte
1	Positiva perfecta

Anexo 3. Laguna de Busa



Figura 1 Imagen de la laguna de Busa tomada de Quizhpe, 2017

Anexo 4. Evidencia fotográfica de la toma de muestras en la laguna de Busa



Figura 2 Lancha para tomar muestras en la laguna de Busa



Figura 3 Laguna de Busa, equipo necesario para la toma de muestras.



Figura 4 Instrumento diseñado para la recolección de muestras de agua a distintas profundidades.

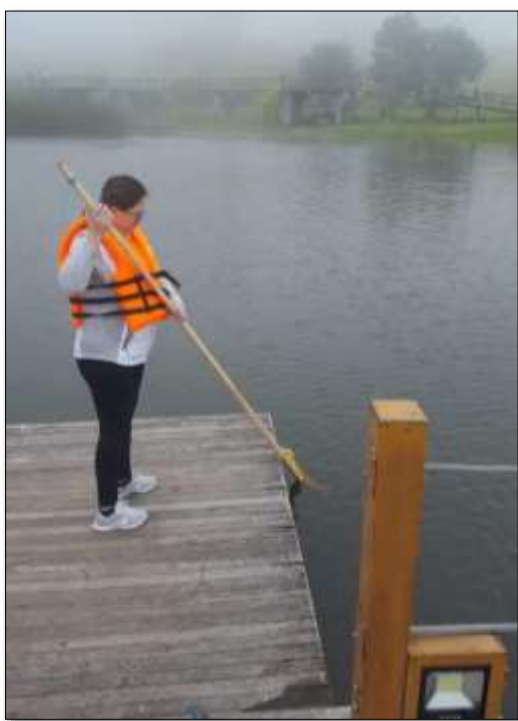


Figura 5 Toma de muestras en sitios específicos.



Figura 6 Frascos preparados para la toma de muestras.



Figura 7 Toma de muestras desde el punto C de la laguna de Busa.

Anexo 5. Evidencia fotográfica de los procesos desarrollados en laboratorio

Figura 8 Medición de los parámetros físico químicos propuestos en el proyecto.



Figura 9 Toma de pH con ayuda de un potenciómetro.



Figura 10 Espectrofotómetro utilizado para medir la absorbancia de la clorofila A.



Figura 11 Centrifuga configurada para el proceso de análisis.



Figura 12 Equipo de filtración por membrana.