



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ  
MANUEL FÉLIX LÓPEZ**

**CARRERA MEDIO AMBIENTE**

**TESIS PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO EN MEDIO AMBIENTE**

**TEMA:**

**EVALUACIÓN DEL GRADO DE EUTROFIZACIÓN DE LA  
LAGUNA NATURAL EL CARMEN Y SU SITUACION CON LAS  
EPOCAS DEL AÑO.**

**AUTOR:**

**ZAMBRANO ALCÍVAR ARIANA ROMINA.**

**TUTOR:**

**ING. JOFFRE ANDRADE CANDELL, M.Sc.**

**CALCETA, MAYO 2018**

## **DERECHOS DE AUTORÍA.**

**Ariana Romina Zambrano Alcívar**, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos los derechos de propiedad intelectual a la **Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López**, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual y su reglamento.

---

**ARIANA R. ZAMBRANO ALCÍVAR**

## CERTIFICACIÓN DE TUTOR

**Joffre Alberto Andrade Candell, M.Sc.** certifica haber tutelado la tesis **“EVALUACIÓN DEL GRADO DE EUTROFIZACIÓN DE LA LAGUNA NATURAL EL CARMEN Y SU SITUACION CON LAS EPOCAS DEL AÑO”** que ha sido desarrollada por **Ariana Romina Zambrano Alcívar**, previa la obtención del título de Ingeniero en Medio Ambiente, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TESIS DE GRADO DE TERCER NIVEL** de la **Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López**.

---

Ing. Joffre Andrade Candell, M.Sc.

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL**

Los suscritos integrantes del tribunal correspondiente, declaramos que hemos **APROBADO** la tesis titulada “**EVALUACIÓN DEL GRADO DE EUTROFIZACIÓN DE LA LAGUNA NATURAL EL CARMEN Y SU SITUACION CON LAS EPOCAS DEL AÑO**”, que ha sido propuesta, desarrollada y sustentada por **Ariana Romina Zambrano Alcívar**, previa la obtención del título de Ingeniero en **Medio Ambiente**, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TESIS DE GRADO DE TERCER NIVEL** de la **Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López**.

---

Ing. Carlos Fabián Solórzano S, M.Sc.

**MIEMBRO**

---

Ing. Julio Abel Loureiro Bravo, M.Sc.

**MIEMBRO**

---

Dra. Aida Mailie De La Cruz Balón M.Sc.

**PRESIDENTE**

## **AGRADECIMIENTO**

Le agradezco a Dios, por haberme acompañado guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad. Le doy gracias a mis padres Robert y Miriam por apoyarme en todo momento, por los valores que me han inculcado, y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida. A mi querida hermana, Ivana por siempre tener las palabras exactas cuando me quise rendir, a Aquiles mi novio por ser una persona incondicional, y estar siempre dándome ánimos, a mi Tutor el Ing. Joffre Andrade, por ser más que un profesor, un amigo, el que siempre estuvo presto para ayudarme en mi tesis.

***Ariana Romina Zambrano Alcívar.***

## **DEDICATORIA**

A Dios, por haberme dado la vida, y la oportunidad de llegar a este momento tan importante de mi formación, a mi familia, a mi Madre por ser el pilar fundamental y siempre darme todo su cariño y apoyo incondicional, a mi Padre, y a mi hermanita que siempre están para mí, y a Fresita López porque desde el cielo ella está celebrando este logro de sus compañeros.

***Ariana Romina Zambrano Alcívar.***

## CONTENIDO GENERAL

DERECHOS DE AUTORIA.....	ii
CERTIFICADO DE TUTOR .....	iii
APROBACION DEL TRIBUNAL .....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
DEDICATORIA .....	vi
RESUMEN.....	x
ABSTRACT.....	xi
<b>CAPÍTULO I. ANTECEDENTES.....</b>	<b>1</b>
1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN .....	2
1.3. OBJETIVOS .....	3
1.3.1. OBJETIVO GENERAL .....	3
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	3
1.4. HIPÓTESIS.....	3
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>4</b>
2.1. EUTROFIZACIÓN.....	4
2.2. PROCESOS DE EUTROFIZACIÓN .....	4
2.3. ESTADO TRÓFICO.....	12
2.4. ORGANISMOS FOTOSINTÉTICOS EN CUERPOS DE AGUA.....	5
2.5. FACTORES LIMITANTES EN EL CRECIMIENTO DE ORGANISMOS FOTOSINTÉTICOS .....	10
2.6. FITOPLACTON .....	7
2.7. INDICE DE ESTADO TRÓFICO CARLSON 1979 .....	18
2.8. INDICE DE ESTADO TROFICO PROPUESTO POR LA OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico).....	16
2.9. INDICE DE ESTADO TROFICO TRIX .....	17
2.11. ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO DE CARLSON MODIFICADO POR TOLEDO (IETM).....	19
<b>CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO .....</b>	<b>21</b>
3.1. UBICACIÓN.....	21
3.2. DURACIÓN DEL TRABAJO.....	21

3.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	21
3.4. VARIABLES A MEDIR.....	21
3.4.1. VARIABLE INDEPENDIENTE.....	21
3.4.2. VARIABLE DEPENDIENTE.....	21
3.5. PROCEDIMIENTO.....	22
FASE I. IDENTIFICACIÓN DE LOS PARAMETROS LIMITANTES EN LA LAGUNA.....	22
FASE II.DETERMINACIÓN DE COMUNIDADES DE ORGANISMOS FOTOSINTÉTICOS PRESENTES EN LA LAGUNA.....	24
FASE III. EVALUACION DEL GRADO DE EUTROFIZACIÓN.....	25
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	28
4.1. IDENTIFICACION DE LOS FACTORES LIMITANTES DE LA LAGUNA	28
4.2. ORGANISMOS FOTOSINTÉTICOS PRESENTES EN LA LAGUNA.....	33
4.3. EVALUACIÓN EL GRADO DE EUTROFIZACIÓN DE LA LAGUNA NATURAL.....	34
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	37
5.1. CONCLUSIONES.....	37
5.2. RECOMENDACIONES.....	38
BIBLIOGRAFÍA.....	39

### CONTENIDO DE TABLA, CUADROS Y FIGURAS

Tabla 3. 1 Puntuaciones del nivel trófico de acuerdo Clasificación (IETM) Toledo <i>et al.</i> , 1985.....	27
Figura 4. 1. Representación geográfica.....	28
Cuadro 3. 1. Características de Ubicación.....	21
Cuadro 4. 1 Puntos de muestro.....	28
Cuadro 4. 3 Resultado de Valores de temperatura propios de las épocas lluviosa época seca (Abril / Julio).....	28
Cuadro 4. 4 Resultado de Valores de conductividad propios de las épocas lluviosa y seca (Abril / Julio).....	29
Cuadro 4. 5 Resultado de Valores de oxígeno disuelto propios de las épocas lluviosa seca (Abril / Julio).....	31

Cuadro 4. 6 Resultado de turbidez propios de la época lluviosa y de la época seca (Abril / Julio)	29
Cuadro 4. 7 Resultado de profundidad o transparencia de la época lluviosa 14 abril	29
Cuadro 4. 8 Resultado de transparencia o profundidad de la época seca 10 Julio	30
Cuadro 4. 10 Valores de Fósforo total propios de la época húmeda 14 de Abril 2017	31
Cuadro 4. 11. Valores de Fósforo total propios de la época seca 10 de Julio 2017	31
Cuadro 4. 12 Valores de clorofila a propios de la época lluviosa 14 de Abril 2017	32
Cuadro 4. 13. Valores de clorofila a propios de la época seca 10 de Julio 2017	32
Cuadro 4. 16. Valores de Nitrógeno propios de la época lluviosa 14 de Abril 2017	32
Cuadro 4. 17. Valores de nitrógeno propios de la época seca 10 de Julio 2017	32
Cuadro 4. 20. Microorganismos en época lluviosa 14 de abril	33
Cuadro 4. 21. Microorganismos en época Seca 10 de Julio	34
Cuadro 4. 23 Valores IETm Profundidad Secchi.	34
Cuadro 4. 24. Valores IETm Fosforo Total	34
Cuadro 4. 25. Valores IETm clorofila a	35
Cuadro 4. 26. Valores IETm Total.	35
Cuadro 4. 27. Clasificación de IETm en la laguna Natural El Carmen	35

## **RESUMEN.**

La investigación tuvo como objetivo realizar la evaluación del grado de eutrofización en la laguna natural “El Carmen” en el cantón del mismo nombre, la investigación fue de tipo no experimental, consistió en realizar muestreos en dos épocas del año, en el periodo seco que comprende los meses de mayo hasta noviembre y el periodo lluvioso que va desde diciembre hasta abril, en los cuales se midieron parámetros químicos, físicos y biológicos dando como resultados condiciones de pH con un promedio de 9,1; Temperaturas de 25°C; OD de 5,62 mg/l Profundidad de 0,42 cm; PT de 2,16 ug/l y clorofila “a” 0,50 mg/l realizados de forma in situ y también el laboratorio, aplicando una metodología del Índice de estado trófico de Carlson, el cual fue modificado por Toledo, con los datos obtenidos de Profundidad, Fósforo y Clorofila a se calculó el IET de la laguna en época seca donde se obtuvo un índice de estado trófico de 42,71 lo que indica que la laguna presenta un estado oligotrófico y en época lluviosa de 58,75 que indica que la laguna se encuentra en estado eutrófico, la laguna estudiada presenta dichos valores, por tanto las especies acuáticas presentes en la laguna, se verán afectadas por el exceso de nutrientes y como consecuencia la proliferación de algas en estado anóxico que hacen que se agote el oxígeno por la respiración y descomposición de éstas, provocando la muerte por asfixia de los organismos.

## **PALABRAS CLAVE**

Eutrofización, grado de eutrofización, índice trófico.

## **ABSTRACT**

The objective of the research was to determine the correlation of living photosynthetic organisms and the factors that determine growth in the natural lagoon "El Carmen" in the canton of the same name. The research was of a non-experimental type, it consisted of sampling in two epochs of the year, in the dry period that includes the months of May to November and the rainy period that goes from December to April, in which chemical, physical and biological parameters were measured, yielding pH with an average of 5; Temperatures of 25, OD of 45 Depths of 5, PT of 23 and chlorophyll "a" 456 performed in situ and also the laboratory, applying a methodology of the Carlson Trophic Status Index, which was modified by Toledo, with the data obtained from Depth, Phosphorus and Chlorophyll a was calculated the EIT of the lagoon where a general average of the trophic status index of 53.43 was obtained, which indicates that the reservoir presents a meso-eutrophic state since the Toledo classification considers that if this value is in the range of 45-55 the lagoon studied has said, therefore the aquatic species present in the reservoir, will be affected by the excess of nutrients and as a consequence the proliferation of algae in the anoxic state that cause it to run out the oxygen by the breathing and decomposition of these, causing the death by asphyxia of the organisms.

## **KEY WORDS**

Eutrophication, degree of eutrophication, trophic index.

# **CAPÍTULO I. ANTECEDENTES**

## **1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.**

La eutrofización es una problemática ambiental de mucha importancia, ésta radica en el enriquecimiento de factores limitantes del crecimiento de organismos fotosintéticos, por lo general esos factores suelen ser nutrientes principalmente nitrógeno y fósforo en el agua; esto se produce en forma natural, pero también está asociada a fuentes antropogénicas, el principal constituyente es el fósforo ya que los excedentes de estos hacen que disipe su efecto limitante, siendo utilizado por las algas del plancton, cuyas poblaciones crecen excesivamente hasta extirpar el nitrógeno; provocando impactos ecológicos, sanitarios y económicos (Ledesma & Bonancea, 2013).

A nivel mundial la eutrofización se ha convertido en una de las principales complicaciones de suma consideración en relación a la calidad del agua, las principales fuentes de contaminación por nutrientes causantes de eutrofización son la escorrentía agrícola y también las provenientes de aguas residuales domésticas (ONU-DAES, 2014).

Según Granizo (2011), el aumento o la disminución de factores limitantes al proceso de crecimiento de organismos vivos fotosintéticos, controlan el desarrollo del mismo, entre los que se encuentran la temperatura, la luz, los nutrientes, tales como los nitratos, el fosforo entre otros el pH y tipo de sustrato que afecta directamente a las comunidades de perifitón, fitoplancton y zooplancton.

En la provincia de Manabí hay descargas de aguas que no pasan por ningún tipo previo de descontaminación para ser descargadas a los ríos (El Universo, 2014), por lo que esta situación puede conllevar a la aceleración del estado trófico del cauce.

En la Ciudad de El Carmen la laguna natural se encuentra contaminada con desperdicios orgánicos e inorgánicos, que están a la vista en las riveras de la misma, además es fácil percibir malos olores que emanan de este lugar. Sin lugar a duda el problema es evidente por lo cual me permito plantear la siguiente interrogante:

¿La eutrofización de la laguna natural del cantón El Carmen varían por las épocas de año?

## **1.2. JUSTIFICACIÓN**

Las lagunas naturales constituyen base fundamental de los ecosistemas ya que sostienen la flora, fauna y vida humana que se desarrolla a su alrededor, por ello la importancia de mantener éstas áreas en condiciones óptimas para que los organismos que viven de ella puedan desarrollarse de una mejor manera.

La eutrofización de los vasos y sumideros en general es un proceso natural, sin embargo, el hombre en su interés de satisfacer sus necesidades ha generado cambios drásticos sobre los recursos naturales. La aceleración de estos cambios sobre nuestros recursos naturales, tales como cuerpos de agua (lagunas), viene generando una disminución en cuanto a cantidad y calidad del agua, siendo imprescindible realizar un análisis de estos cuerpos de agua para verificar su estado actual y sus posibles soluciones frente al proceso eutrófico que vienen atravesando. (Díaz y Sotomayor, 2013).

En el Art. 14 de La Constitución de la República el Ecuador el cual establece que “Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumakkawsay*”, por lo que este estudio contribuye al cumplimiento de este derecho. Además, se debe de tomar en cuenta que no hay ningún otro tipo de investigación sobre la eutrofización de la laguna natural de El Carmen.

En el objetivo número 7 del Plan Nacional de Buen vivir su meta es Garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental territorial y

global, por esto nuestra responsabilidad de crear proyectos enfocados en mejorar la calidad de la naturaleza y la conservación, la laguna Natural del Cantón El Carmen, es un lugar que por su ubicación y su dimensión puede ser conservada aplicando medidas correctivas para mitigar el impacto ambiental que está causando., así mismo se garantizara que este lugar sea conservado como espacio turístico para la sostenibilidad financiera del Cantón.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el grado de eutrofización de la laguna natural El Carmen y su situación con las épocas del año.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar los factores del crecimiento de organismos fotosintéticos en la laguna natural “El Carmen”.
- Determinar las poblaciones y comunidades de organismos fotosintéticos en la laguna natural “El Carmen”.
- Evaluar el grado de eutrofización de la laguna natural “El Carmen”.

### **1.4. HIPÓTESIS**

La eutrofización de la laguna natural del cantón El Carmen varían por las épocas de año.

## **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. EUTROFIZACIÓN**

La eutrofización ha sido identificada como uno de los problemas más graves de contaminación; se ha considerado como la principal causa de deterioro de la calidad del agua y por ende la pérdida de la biodiversidad que puede restringir su uso para pesca, recreación, industrial y de consumo. Es un proceso que puede ser irreversible, que se presenta en los ecosistemas acuáticos lénticos como respuesta al enriquecimiento de ciertos nutrientes.

Margalef *et al.*, 1996, mencionan que la eutrofización consiste en forzar un sistema acuático desde el exterior, con la incorporación de más nutrientes, y también de materia orgánica, que alteran temporalmente las condiciones de equilibrio, induciendo desviaciones en las características del sistema, en su composición biótica y en su sucesión.

En resumen este proceso provocado por la gran cantidad de nutrientes (nitratos y fosfatos principalmente) estimula el crecimiento de fitoplancton, las cuales poseen un periodo de vida relativamente corto, las plantas que mueren y el aporte de materia orgánica producen mayor cantidad de materia en descomposición sobre las que actúan las bacterias aeróbicas haciendo que disminuya la cantidad de oxígeno disuelto en el agua, desarrollando condiciones hipóxicas o anóxicas, creando medios letales para el desarrollo óptimo de organismos vivos (Abella y Martínez, 2012).

### **2.2. PROCESOS DE EUTROFIZACIÓN**

El proceso de eutrofización está dado por el enriquecimiento en nutrientes en los cuerpos aguas. Produce un crecimiento excesivo de algas, las cuales al morir se depositan en el fondo de los ríos o lagos las mismas que al descomponerse generan residuos orgánicos y crea una demanda bioquímica de oxígeno que

suele agotar el oxígeno disuelto y causar la muerte de los organismos acuáticos (fauna y flora), el resultado final es un ecosistema casi destruido. Las algas se desarrollan cuando encuentran condiciones favorables: temperatura, sol y nutrientes (Romero, 2010).



**Figura 1** Proceso de eutrofización.

### **2.3. ORGANISMOS FOTOSINTÉTICOS EN CUERPOS DE AGUA**

Los organismos fotosintéticos son aquellos que capturan la energía solar y puede usarla en producción de compuestos orgánicos. Por medio de este proceso son capaces de elaborar su propio alimento partiendo de algo tan simple como lo es la luz solar, los organismos que se encuentran dentro de este grupo son: las plantas superiores, las algas, algunas bacterias, etc. (Fónturbel, 2003).

Estos organismos son capaces de elaborar su propio alimento partiendo de la energía solar. Entre estos se encuentran las plantas superiores, algunos protistas y también algunas bacterias, las cuales pueden convertir el dióxido de carbono en compuestos orgánicos y de estos compuestos reducirlos en carbohidratos. La energía necesaria para que este proceso se

produzca, se genera por medio de la luz del mismo sol, la cual promueve la actividad de estos organismos para la elaboración de los compuestos orgánicos y sus carbohidratos, los cuales son usados por las células como fuente de energía (Fónturbel, 2003).

Los principales organismos fotosintéticos que se ven alterados por factores limitantes son el fitoplancton (Algas) que, así como las plantas superiores, estos organismos son eucariotas, por lo que tienen dentro de sus células un núcleo y orgánulos dentro de sus mismas membranas. Muchas de estas algas son unicelulares, pero en algunas ocasiones puede darse el caso de que formen parte grandes colonias y comportarse como plantas (Saldaña, 2006).

El fitoplancton está compuesto de organismos fotosintéticos que también producen oxígeno, como todas las plantas verdes. Como ocupan la superficie, esta se satura del gas y el exceso se escapa a la atmósfera. En un día tranquilo y soleado, se pueden apreciar las burbujas de oxígeno que después de quedar atrapadas en las algas filamentosas, son liberadas a la superficie.

De esta manera, la fotosíntesis del fitoplancton no abastece de oxígeno a las aguas más profundas. Además, el fitoplancton tiene índices de crecimiento y reproducción muy elevados. En condiciones óptimas, su masa puede duplicarse en un día. Así, el fitoplancton alcanza su máxima densidad poblacional y este crecimiento alcanza su estado estable para finalmente entrar en decaimiento siguiendo el comportamiento logístico (López *et al.*, 2015).

Si consideramos las necesidades del fitoplancton y de la vegetación acuática sumergida, se aprecia que el equilibrio entre ellos se altera cuando se modifica la concentración de nutrientes en el agua. Cuanto menos nutrientes tenga el agua, mayor será la reducción de las poblaciones de fitoplancton; sin esta presencia, el agua es clara y la luz penetra para sostener el crecimiento de la vegetación acuática sumergida. Cuando el contenido de nutrientes aumenta, el fitoplancton prolifera, enturbia el agua y afecta la vegetación acuática sumergida que es una fuente productora de oxígeno (Moreta, 2008).

En los diferentes grupos de organismos fotosintéticos, las micro-algas son el grupo más eficiente en utilizar energía, las plantas superiores presentan una eficiencia fotosintética alrededor del 2% o también menos, mientras que las micro-algas, gracias a su simplicidad estructural tienen una eficacia fotosintética claramente superior y según las condiciones ambientales y de cultivo, pueden alcanzar hasta 4-8% de eficiencia fotosintética. Así, por ejemplo, se tienen estimaciones de productividades tan altas como 60-80 ton de masa seca/ha/año; en contraste con cultivos convencionales que producen del orden de 10-30 ton/año. Esta característica las hace extremadamente productivas (González, 2006).

Las microalgas son convertidores más eficientes de la energía solar que otra planta terrestre, porque crecen en la interrupción donde tienen el acceso ilimitado al agua y acceso más eficiente al CO<sub>2</sub> y a los nutrientes. Uno de los componentes biológicos importantes para el desarrollo de procesos eutróficos es el incremento de los productores primarios donde el fitoplancton juega un papel preciso.

El incremento en la concentración de nutrientes favorece el crecimiento de ciertas poblaciones de fitoplancton, que son responsables de una elevada actividad fotosintética que conduce a la producción de gran cantidad de biomasa y de oxígeno disuelto (Daranas, *et al.*, 2013).

## **2.4. FITOPLACTON**

Los ambientes acuáticos tienen grandes variaciones en términos de sus características físicas y químicas, los cuales influyen en las comunidades microbianas que habitan en estos ecosistemas, teniendo una gran diversidad de microorganismos (Bellinger y Sigee, 2010).

Las microalgas son microorganismos fotosintéticos autótrofos o heterótrofos, capaces de convertir la energía solar y sintetizar compuestos de carbono mediante CO<sub>2</sub> (Barsanti y Gualtieri, 2006; Lee, 2008; Brodie y Lewis, 2007).

Estos microorganismos están presentes en todos los cuerpos de agua, como lagos, estanques, ríos y mares.

Además, se encuentran presentes en el suelo y en la mayoría de ambientes terrestres, incluyendo aquellos con condiciones extremas (Morgan et al., 2007; Koller *et al.*, 2014); permitiéndoles crear ciertas características para adaptarse a una gran cantidad de ambientes.

A pesar de que la mayoría de especies de algas de agua dulce tienen una amplia distribución geográfica (cosmopolitas), existen algunas especies de crisoptas, algas verdes, algas rojas y diatomeas que son endémicas de ciertas regiones o cuerpos de agua específicos (Prescott, 1954; Lee, 2008; Bellinger y Sigee, 2010).

## **MICROALGAS FOTOSINTÉTICAS**

Las microalgas son organismos unicelulares eucariotas fotosintéticos capaces de transformar la energía luminosa en energía química con una eficiencia cuatro veces superior a la de las plantas.

Su importancia radica en su papel como productores primarios de la cadena trófica, que las constituyen en las primeras formadoras de materia orgánica. Por su tamaño reducido y variado (5–50  $\mu\text{m}$  en promedio) son de fácil captura y digestión por multitud de organismos que se alimentan en forma directa del fitoplancton (Abalde, 2004). Las condiciones óptimas de temperatura, intensidad luminosa, salinidad, nutrientes y pH para el cultivo de microalgas, varían ampliamente de una especie a otra, estos parámetros fisicoquímicos, han sido determinados en laboratorio y nos ayudan a comprender las condiciones óptimas para el desarrollo de las diferentes especies en cultivo.

Actualmente a nivel comercial, los cultivos masivos de microalgas al exterior y los fotobiorreactores cobran mayor importancia para la producción de compuestos químicos de alta pureza, como: biocombustibles, biofertilizantes, intercambiadores iónicos y carotenos; así mismo, para el tratamiento de aguas

residuales, obtención de compuestos terapéuticos y como alimento de consumo humano y animal (Contreras, Flores., 2003).

En condiciones normales todas las clases de microalgas poseen invariablemente la clorofila-a que confiere el color verde a las algas y al menos un pigmento accesorio, que puede enmascarar en ocasiones a la clorofila-a.

El fitoplancton es una comunidad acuática constituida por organismos vegetales fotosintéticos, representado principalmente por microalgas, las cuales forman parte de varios grupos (algas verdes, rojas, diatomeas, fito flagelados, cianobacterias). La mayoría vive sin movimiento, en la zona fótica, suspendidos y a merced de los movimientos del agua.

El otro constituyente de esta comunidad es el zooplancton, representado por organismos animales invertebrados, cuya característica distintiva es su tamaño, mayormente microscópico, con movilidad limitada y dependientes de los movimientos verticales y horizontales del agua. Ambos componentes de esta comunidad se encuentran muy bien representados en ambientes acuáticos que no poseen corriente (lénticos) como lagunas, lagos, bofedales, embalses y estanques.



**Clorofila “a” del agua:** Este parámetro provee una medida indirecta de la biomasa de algas (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 1990) y una indicación del estado trófico en cuerpos de agua (Cataluña, 2003) y (Carlson & Simpson, 1996) 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 CO<sub>2</sub> en hidratos de carbono (Water on the web, 2011).

**Transparencia del agua:** Transparencia del agua se ve afectada por una serie de factores. Ambos materiales disueltos y suspendidos pueden influir en la transparencia de agua. En la mayoría de masas de agua, la cantidad de sólidos suspendidos es el factor más importante: más suspensión de materiales, menor será la transparencia del agua.

En Lagos, la mayoría de los sólidos en suspensión son algas (Velásquez y Jiménez, 2007). La transparencia es la cantidad de luz que se transmite (traspasa) en el cuerpo de agua, en un lago eutrófico la luz penetra con dificultad y el crecimiento de flora béntica productora de oxígeno se minimiza y queda en la oscuridad (Moreta, 2008). Se ha observado que cuando hay luz adecuada para la realización de la fotosíntesis la concentración de los nutrientes (fosfatos y nitratos) es baja y por lo tanto la cantidad de fitoplancton en el agua es menor (Arse, 2005).

**Nitratos del agua:** 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 oxígeno (Arse, 2005). De todas las formas en que se encuentra el nitrógeno, el nitrato es considerado el mayor contaminante de los ecosistemas acuáticos y es típico de fuentes de contaminación difusas por actividades agrícolas (Lundgerg, 2014).

**Oxígeno disuelto:** El oxígeno disuelto proviene de la mezcla del agua con el aire, ocasionada por el viento y/o, en la mayoría de los casos, principalmente del oxígeno que liberan las plantas acuáticas en sus procesos de fotosíntesis (Naturales, 2005). Es uno de los indicadores más importantes de la calidad de

agua. Todos los organismos vivos dependen del oxígeno para sobrevivir y poder producir energía necesaria para su desarrollo y su reproducción (Arse, 2005).

La concentración del oxígeno disuelto en el agua de un lago depende de la temperatura del agua, que a su vez depende de la radiación solar y de la profundidad (Moreta, 2008). La materia orgánica, tanto natural como de contaminación puede crear altas demandas biológicas de oxígeno (DBO) y consumir el oxígeno del agua. Esto puede causar mortandad de peces y alterar las comunidades de organismos acuáticos (Watch, 2003).

**pH del agua:** El pH del agua mide su acidez o alcalinidad. La escala de valores es de 0 a 14 unidades de pH. Las aguas que tienen un pH inferior a 7 son ácidas y las superiores a 7 son básicas. Los lagos hipereutróficos que son ricos en materia orgánica poseen valores de pH bajos (aguas ácidas) turbas, pantanos (Moreta, 2008).

## **2.6. EPOCAS DEL AÑO COMO INDICADORES DE EUTROFIZACION**

Los cambios climáticos afectaran la eutrofización de los estuarios y la zona costera, incrementado los flujos de nutrientes, las relaciones entre nutrientes, la producción fitoplanctónica, el desarrollo de algas tóxicas y nocivas, la reducción de la calidad del agua, pérdida de los hábitad y recursos naturales, y el recrudecimiento de la hipoxia, en la escala de tiempo interanual, resalta la importancia del efecto de los eventos de El Niño y La Niña, el aumento de las precipitaciones asociadas al cambio climático, aumentarían los procesos de erosión y la carga de fósforo. En los ciclos anuales la disminución de los aportes en verano crea un escenario altamente favorable para el surgimiento de cianobacterias. Mientras que en el período estival el manejo de la profundidad, sería un factor determinante del acceso del fitoplancton a los nutrientes. Las obras proyectadas y en construcción agravarían las situaciones de máximos y mínimos caudales y se produciría un mayor deterioro de la calidad de agua de lagunas. (Marquisá, 2006)

En los últimos años, los indicadores para la toma de decisiones han tenido avances importantes en países desarrollados, en agencias internacionales y también en algunos países de Latinoamérica; con iniciativas que alcanzan escalas diversas y enfoques metodológicos, algunos países están elaborando indicadores de sostenibilidad ambiental, mientras que, otros trabajan desde el enfoque de desarrollo sostenible; esto es, incorporando las dimensiones: económica, social, ambiental e institucional del desarrollo (Suárez, 2003).

Se han hecho determinaciones y caracterizaciones de calidad de agua en varios sistemas lagunares y cuyos resultados son relacionados con épocas de sequía y lluvia, que en consecuencia, evidencian el efecto de las precipitaciones características en cada estudio, teniendo como características comunes: la baja de la conductividad por un periodo intenso de lluvias y su ascenso en periodo seco, así como el aumento de materia orgánica y nutrientes, en periodos de lluvia, entre otras (Posada et al., 2000), las épocas lluviosa y seca, al igual que los fenómenos climáticos: el niño y la niña, son de suma importancia para el área de influencia de lagunas que modifica el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos del agua, alterando el equilibrio y protección de la dinámica de lagunas.(DNP, 2007).

Este tipo de indicadores se convierten en determinantes para la toma de decisiones y en el complemento apropiado para generar una gestión ambiental integral, los datos que se obtienen muestran, en contexto general, valores que en las escalas de los descriptores pueden clasificarse como excelentes; pero no podemos perder de vista que el análisis realizado solo es extensivo a evaluar la calidad del agua en su naturalidad, es muy probable que al momento de evaluar los efectos de los contaminantes, encontremos que estos porcentajes tiendan a disminuir los valores de calidad. (Marquisá, 2006)

## **2.7. ESTADO TRÓFICO**

El estado trófico es el peso total del material biológico (biomasa) en un cuerpo de agua, en un lugar y tiempo específico, el tiempo y las mediciones específicas de cada lugar pueden ser agregados para producir estimaciones a nivel de cuerpo de agua de estado trófico, por tanto se entiende que es la

respuesta biológica a los factores de forzamiento como adiciones de nutrientes, pero el efecto de los nutrientes puede ser modificada por factores tales como la temporada, el pastoreo, la profundidad de mezcla (Nolen, 2015).

El estado trófico es un fenómeno multidimensional y, consecuentemente, un solo indicador trófico (clorofila a, fósforo total, profundidad secchi) no mide adecuadamente este fenómeno (Moreno y Ramírez, 2010).

El estado trófico también es conocido como la relación entre el estado de nutrientes de un lago y crecimiento de la materia orgánica del mismo. Mediante este estado se da la eutrofización, la cual consiste en el cambio de un estado trófico a otro nivel superior por adición de nutrientes.



**Figura 3** Clasificación del estado trófico.

## OLIGOTRÓFICO

Este estado es característico de lagos y embalses cuyas aguas son pobres en nutrientes y contienen bajos niveles de fósforo, lo que conlleva a que se limite la producción biológica, esto significa que existe una menor proliferación de algas; además contienen bajas concentraciones de clorofila-a, tienden a tener agua claras lo que hace que penetre la luz con facilidad, existe suficiente oxígeno por todo el año para apoyar a los peces y otros organismos acuáticos (Government of Alberta, 2015).

Un lago oligotrófico es un cuerpo de agua con baja productividad primaria, como consecuencia de contenidos bajos en nutrientes. Estos lagos tienen baja producción de algas, y consecuentemente, poseen aguas bastante claras, con alta calidad para ser agua potable. Las aguas superficiales de estos lagos poseen generalmente una gran cantidad de oxígeno; por lo que, tales lagos resisten muchas especies de peces, como truchas de lago, que necesitan aguas frías, y bien oxigenadas. Su contenido de oxígeno es más alto en lagos profundos, por tener volúmenes hipolimnéticos más amplios (Quiroz, 2008).

Los ecólogos utilizan el término oligotrófico para distinguir a lagos improductivos, caracterizados por deficiencias de nutrientes, de los lagos productivos, eutróficos, con suplemento de nutrientes amplios y en excesos. Los lagos oligotróficos son más comunes en regiones frías, con lechos de rocas ígneas resistentes (especialmente graníticas) (Morales, 2012).

## **MESOTRÓFICO**

Es un estado medianamente productivo es decir entre Oligotrófico y eutrófico, un cuerpo de agua típica meso trófico tendrá agua moderadamente clara y una cantidad moderada de plantas acuáticas (Dodds, 2007). Las aguas que contienen cantidades ponderadas o intermedias de nutrientes y que pueden contribuir a un mayor desarrollo de organismos.

Por su parte, Peñaherrera (2010), señala que un lago mesotrófico es un cuerpo de agua con un nivel intermedio de productividad, mayor que el de un lago oligotrófico, pero menor que el de un lago eutrófico. Estos lagos poseen generalmente aguas claras y mantienen lechos de plantas acuáticas sumergidas, y niveles medios de nutrientes.

## **EUTRÓFICO**

Este estado se caracteriza por tener masas de aguas con altas concentraciones de nutrientes que facilitan en gran manera la proliferación de algas, agua turbia, y los bajos niveles de oxígeno disuelto (EPA, 2012). El

desarrollo de la biomasa en un ecosistema viene limitado, la mayoría de las veces, por la escasez de algunos elementos químicos, como el nitrógeno en los ambientes continentales y el fósforo en los marinos, que los productores primarios necesitan para desarrollarse y a los que llamamos por ello factores limitantes (Mariñelarena y Gómez, 2008).

Pulido y Pinilla (2017), mencionan que un ecosistema eutrófico es aquel que designa el enriquecimiento en nutrientes de un ecosistema. El uso más extendido se refiere específicamente al aporte más o menos masivo de nutrientes inorgánicos en un ecosistema acuático. Eutrofizado es aquel ecosistema o ambiente caracterizado por una abundancia anormalmente alta de nutrientes.



## 2.8. INDICE DE ESTADO TROFICO PROPUESTO POR LA OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico)

Luego de un estudio que durante 5 años abarcó 200 ambientes en 22 países de Europa occidental, Estados Unidos, Japón y Australia, el Comité de

Eutrofización de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) en 1982, propuso una clasificación del grado de eutrofia de lagos y embalses. La OCDE se propuso definir un lenguaje común para los parámetros a medir, buscando una simplificación de estos, pero a la vez seleccionando aquellos con significado biológico adecuado, para un análisis estadístico reproducible.

Esta clasificación proporciona un esquema cuantitativo probabilístico para las diferentes categorías de estado trófico a partir del análisis de nutrientes (concentración de fósforo), de la capacidad de generar biomasa (clorofila "a") y de la disponibilidad de espectro fotosintético en la vertical de la columna de agua (transparencia de la columna de agua). Los datos de fósforo total, transparencia de la columna de agua y clorofila "a", se relacionan con el estado trófico asignado de acuerdo con las percepciones cualitativas,

Para el cálculo del estado trófico de una masa de agua y poder tener un dato comparativo con otros sistemas de agua, se utilizan índices del estado trófico calculados en base a diferentes parámetros y variables. Un tipo de evaluación y cálculo del estado trófico se basa en comparar los datos obtenidos experimentalmente con los valores fijos propuestos para cada rango. La OCDE en 1982 propuso esta metodología, para lo cual se utiliza la media anual de fósforo total (PT, mg. m<sup>-3</sup>), la media anual eufótica de clorofila 'a' (Chla, mg. m<sup>-3</sup>), el valor máximo anual de clorofila 'a' (Chla max, mg. m<sup>-3</sup>) y la profundidad media anual de visión del disco de Secchi (Sec, m).

Por otra parte, a OCDE mediante la realización de un estudio internacional sobre la eutrofización, desarrolló un sin número de modelos empíricos tanto para lagos como para embalses basados en los diferentes parámetros de calidad de aguas.

## **2.9. INDICE DE ESTADO TROFICO TRIX**

Permite comparar información en un amplio intervalo de situaciones, incorpora promotores y variables de respuesta de la productividad primaria, el índice

trófico TRIX se evalúa utilizando tres conjuntos estándar de datos que caracterizan oligotrofia, mesotrofia y eutrofización en el entorno marino del mar Egeo (Mediterráneo oriental). Se propone una escala de eutrofización natural basada en el índice TRIX que es adecuada para caracterizar las condiciones tróficas en cuerpos de agua mediterráneos oligotróficos. Esta escala se desarrolló en un esquema de clasificación de la calidad del agua de cinco grados que describe diferentes niveles de eutrofización. Es cuestionable si este índice puede formar un índice universal de eutrofización o si el escalamiento de TRIX debe ser específico de la región. (Fónturbel., 2003)

## **2.10. INDICE DE ESTADO TRÓFICO CARLSON 1979**

El índice de estado trófico (TSI) de (Carlson R, 1977) utiliza la biomasa de algas como la base para la clasificación del estado trófico. Tres variables, pigmentos de clorofila "a", profundidad de Secchi y fósforo total. Cualquiera de las tres variables teóricamente puede ser utilizado para clasificar una masa de agua. Esto es particularmente útil en los programas de seguimiento de un lago, donde la profundidad de Secchi es a menudo la única variable que puede ser medido a bajo costo.

Para los fines de clasificación, se da prioridad a la clorofila, ya que esta variable es el más exacto de los tres en la predicción de la biomasa de algas. Según Carlson, 1977, fósforo total puede ser mejor que la clorofila en la predicción del estado trófico de las muestras de verano y de invierno, y la transparencia sólo se debe utilizar si no hay mejores métodos disponibles.

El índice de estado trófico de Carlson (IETC) fue desarrollado para las regiones templadas, donde el metabolismo de los ecosistemas acuáticos difiere de las que se encuentran en entornos tropicales. Con el fin de adaptar una nueva metodología para las condiciones tropicales, propuso cambios al modelo de Carlson (Moreno *et al.*, 2010) en la formulación matemática del IET, con el objetivo de adaptarlos a las condiciones climáticas de los ambientes tropicales;

las ecuaciones planteadas por Carlson 1979 para cada uno de los parámetros son las siguientes:

- Claridad del agua (Ds) (m)
- Fósforo total (Pt) (mg/l)
- Clorofila a (Clorf a) (mg/l)

## 2.11. ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO DE CARLSON MODIFICADO POR TOLEDO (IETM)

Toledo, en 1985, propuso modificaciones en la formulación matemática del IET con el fin de adaptarlo a las condiciones climáticas de los ambientes tropicales, modificación aplicada en un estudio realizado en un reservorio ubicado en la población de Barra Bonita en Brasil.

El índice de estado trófico de Carlson modificado por Toledo, se calcula con las siguientes ecuaciones:

$$IETMDS = 10\left(6 - \frac{0,64 + \ln(DS)}{\ln(2)}\right)$$

$$IETMCL. "a" = 10\left(6 - \frac{2,04 - 0,695 \ln(CL. "a")}{\ln(2)}\right)$$

$$IETM \text{ Promedio} = \frac{IETMDS + IETMCL. "a"}{2}$$

Donde:

IETMDS: Índice de estado trófico de Carlson modificado por Toledo Disco Secchi.

IETMCL: "a": Índice de estado trófico de Carlson modificado por Toledo Clorofila "a".

IETM promedio: Índice de estado trófico de Carlson promedio modificado por Toledo.

## 2.12. CLASIFICACION DEL INTICE DE ESTADO TROFICO DE CARLSON MODIFICADO POR TOLEDO (IETM).

Esta clasificación es más apropiado para determinar el estado trófico de lagos y lagunas tropicales que el IET de Carlson, ya que este último fue desarrollado para evaluar lagos y lagunas de zonas templadas. Los ecosistemas acuáticos de zonas tropicales, poseen un alto grado de productividad debido a una alta tasa de asimilación de nutrientes, teniendo una capacidad para metabolizar las cantidades de nutrientes mucho mayor a la que poseen los ecosistemas en zona templadas. Dicha capacidad para metabolizar los nutrientes permite que los límites establecidos para cada estado trófico (oligotrófico, mesotrófico y eutrófico) sean más altos en relación con los cuerpos de agua en épocas de frío.

Índice	Clasificación
<45	Oligotrófico
45-55	Meso trófico
>55	Eutrófico

## **CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO**

### **3.1. UBICACIÓN.**

La investigación se realizó en la laguna El Carmen que se encuentra ubicada en el cantón del mismo nombre, en este cuerpo de agua se realizaron análisis in situ y se tomaron muestras de agua que luego fueron analizadas en el laboratorio de la ESPAM MFL.

**Cuadro 3. 1.** Características de Ubicación

<b>LABORATORIOS DEL ÁREA AGROINDUSTRIAL DE LA ESPAM “MFL”</b>	
<b>(fase experimental)</b>	
Latitud Sur	0°49'35.166"
Longitud Oeste	80°11'11.496"

### **3.2. DURACIÓN DEL TRABAJO.**

Esta investigación tuvo una duración de 10 meses, desde marzo 2017.

### **3.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN.**

La investigación fue no experimental, ya que es de carácter inductivo, porque se basará en observación de fenómenos para después poder examinarlos.

### **3.4. VARIABLES A MEDIR.**

#### **3.4.1. VARIABLE INDEPENDIENTE.**

Épocas de año (húmeda y seca).

#### **3.4.2. VARIABLE DEPENDIENTE.**

Grado de eutrofización.

### **3.5. PROCEDIMIENTO.**

El trabajo de investigación se realizó en etapas, clasificadas en 4 fases que fueron divididas en actividades:

#### **FASE I. IDENTIFICACIÓN DE LOS FACTORES EN LA LAGUNA.**

##### **ACTIVIDAD 1.1 IDENTIFICACIÓN DE LAS ÉPOCAS DEL AÑO A ANALIZAR.**

Las muestras se tomaron en dos épocas del año; en época seca y época lluviosa correspondientes al mes de abril y junio del 2017, utilizando la metodología del efecto de las lluvias en Ciénega Santa Marta propuesta por Serviche *et al.*, 2014.

##### **ACTIVIDAD 1.2 IDENTIFICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO.**

La ubicación de los puntos de muestro se la realizó mediante la utilización de GPS, por medio del cual se puntualizaron las coordenadas geográficas correspondientes a tres puntos de muestreo en la laguna, estos puntos fueron identificados utilizando la metodología propuesta por (Vicente *et al*, 2005):

- Los puntos definidos se seleccionaron para poder establecer variaciones en las concentraciones de los parámetros.
- Con los puntos de muestreo ya establecidos se procedió a realizar una representación cartográfica en ArcGIS (Anexo 1.B).

##### **ACTIVIDAD 1.3 MUESTREO EN EL ÁREA DE ESTUDIO.**

Se realizó el muestro utilizando la metodología propuesta por (Jaume Cabra 2005), que consiste en tomar 3 puntos en lagos menores a 50 hectáreas, por lo

tanto, se muestreó cada uno de los puntos antes referenciados cartográficamente.

### **ACTIVIDAD 1.3 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS.**

Los parámetros físicos que se determinaron fueron temperatura, conductividad eléctrica y la transparencia o profundidad; la medición se la realizó in situ, esto los datos fueron recolectados en hojas de trabajos para llevar un mejor registro:

- Los parámetros temperatura y conductividad se los realizó mediante análisis espectrofotométrico, teniendo en cuenta las normas ISO 17025 para requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración (Anexo 2).
- La transparencia o profundidad se la determinaron mediante la utilización de disco Secchi (Anexo 2.D).

### **ACTIVIDAD 1.4 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS QUÍMICOS.**

En esta actividad se determinaron los parámetros de fósforo total, nitrógeno y clorofila *a*, para la conservación de la muestra se utilizó la metodología de frascos ámbar de 800ml para preservar de la muestra y que no tenga incidencia de la luz mediante los criterios de la norma ISO 17025 (Anexo 3).

**DETERMINACIÓN DE FOSFORO TOTAL (PT):** La determinación de PT se la realizó mediante el espectrofotómetro Spectroquant move 100, usando las normas ISO 17025 basado en el método de análisis para fosfatos, resultados que luego se transformará a fósforo.

**DETERMINACIÓN DE CLOROFILA *a*:** La determinación de clorofila (*a*) se la realizó por espectrofotometría.

Ya obtenido el resultado se procedió a realizar la siguiente ecuación para determinar la concentración de clorofila *a*, utilizando el resultado anterior.

$$\text{Clorofila } a \left( \frac{\text{mg}}{\text{l}} \right) = \left( \frac{\text{ca} * \text{volumen de extracto (ml)}}{\text{volumen de muestra filtrada (ml)}} \right) \text{ [2]}$$

**DETERMINACIÓN DE NITRÓGENO (N):** La determinación de N se la realizó mediante el espectrofotómetro Spectroquant move 100 usando las normas ISO 17025 basado en el método de análisis para nitritos, resultados que luego se transformara a nitrógeno mediante la siguiente ecuación:

$$N = \frac{NO3}{NO2} * \text{concentracion de nitritos [3]}$$

Donde:

N: Nitrógeno

## **FASE II. DETERMINACIÓN DE COMUNIDADES DE ORGANISMOS FOTOSINTÉTICOS PRESENTES EN LA LAGUNA.**

### **ACTIVIDAD 2.1 MUESTREO DE MICROALGAS (FITOPLANCTON).**

Se realizó el muestreo del fitoplancton utilizando una malla Fito plantónica, y esto consistió en sumergir la malla en el agua en tres puntos específicos por un periodo de 5 minutos. "Protocolo de muestro y análisis para fitoplancton".

### **ACTIVIDAD 2.2 IDENTIFICACIÓN DE MICRO ALGAS (FITOPLANCTON).**

Se realizó la identificación mediante la observación por el microscopio, y se tipifico micro algas FOTOSINTÉTICAS y NO FOTOSINTÉTICAS, de esto se realizó la clasificación de micro algas fotosintéticas que contienen clorofila a, mediante la observación por el microscopio, y las láminas utilizadas para el reconocimiento del fitoplancton a utilizarse fueron de catálogo de microalgas de agua dulce del Ecuador (Guamán y Gonzáles, 2016).

### **ACTIVIDAD 2.3 CUANTIFICACIÓN DEL FITOPLANCTON.**

Basado en el protocolo de concentración, recuento celular y tasa de crecimiento (Voltolina, 2015) se realizó el conteo de las microalgas existentes, la cual consistió en el uso la cámara de Neubauer, colocando el cubreobjeto bien limpio sobre los pilares de soporte de la cámara. Usando una pipeta Pasteur que contiene la muestra de algas, en ángulo de 45 grados, deposite una gota en cada ranura del hemocitómetro para llenar el espacio. Se esperó por tres minutos antes de proceder al contaje en el microscopio, para dejar que las unidades algales se asienten debidamente. Use objetivos de 20X o 40X según cuál le sea más claro y cómodo para proceder.

### **FASE III. EVALUACION DEL GRADO DE EUTROFIZACIÓN.**

#### **ACTIVIDAD 3.1 CALCULAR EL ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO MODIFICADO PARA PROFUNDIDAD SECCHI.**

Se calculó a partir de los datos obtenidos en cada jornada por cada punto en el parámetro profundidad Secchi (Sec), aplicando la ecuación:

$$IET_{MDS} = 10 \left( 6 - \left( \frac{\ln DS}{\ln 2} \right) \right) (m) \quad [4]$$

Donde:

IET: Índice del Estado Trófico

DS: Profundidad Disco Secchi

#### **ACTIVIDAD 3.2 CALCULAR EL ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO MODIFICADO PARA CLOROFILA a.**

Se determinó el estado trófico para el parámetro clorofila (a) mediante la ecuación:

$$IET_{Mcl a} = 10 \left( 6 - \left( \frac{2,04 - 0,68 \ln cl a}{\ln 2} \right) \right) (mg/m^3) \quad [5]$$

Donde:

IET: Índice del Estado Trófico

Cl a: Clorofila a

### **ACTIVIDAD 3.3 CÁLCULO DEL ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO MODIFICADO PARA FOSFORO TOTAL.**

Se determinó el estado trófico para el parámetro PT mediante la ecuación:

$$IET_M PT = 10 \left( 6 - \left( \frac{\ln\left(\frac{48}{PT}\right)}{\ln 2} \right) \right) \text{ (mg/l) [6]}$$

Donde:

IET: Índice del Estado Trófico

PT: Fósforo total

### **ACTIVIDAD 3.4 CÁLCULO DEL ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO TOTAL.**

Se utilizó el promedio de los cinco índices ya obtenidos de los parámetros profundidad secchi, clorofila a, y fósforo total, nitrógeno y hierro por cada etapa.

$$IET_M TOTAL = \frac{[(IET_M DS) + (IET_M cl a) + (IET_M PT)]}{3} \text{ [6]}$$

Donde:

IET total: Índice del Estado Trófico total

DS: Profundidad Disco Secchi

Cl a: Clorofila a

PT: Fósforo total

Se clasificó el estado trófico según Toledo 1985 en base a los resultados obtenidos, para esto se utilizó la siguiente escala de valores:

**Tabla 3. 1** Clasificación del índice de estado trófico de Carlson modificado por Toledo 1985

<b>ÍNDICE</b>	<b>CLASIFICACIÓN</b>
<45	Oligotrófico
45-55	Meso trófico
>55	Eutrófico

Fuente: Toledo *et al.*, 1985

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. IDENTIFICACION DE LOS FACTORES DE LA LAGUNA

Los tres puntos de muestreo en la laguna natural El Carmen de acuerdo al protocolo de muestreo y análisis para fitoplancton. (Vicente, *et. al.* 2005) son los siguientes:

Cuadro 4. 1 Puntos de muestro.

PUNTOS DE MUESTREO	COORDENADAS GEOGRÁFICAS	
	X	Y
1	-0,273509	-79,459142
2	-0,273962	-79,46060
3	-0,273522	-79,458234

Ubicación geográfica de los puntos muestreados en la laguna del Carmen.

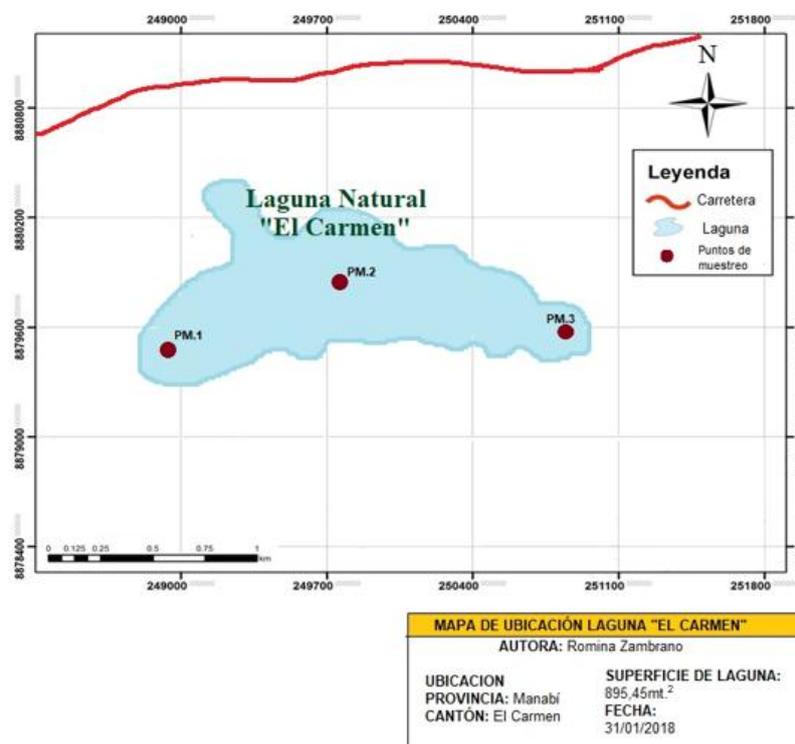


Figura 4. 1. Representación geográfica.

Los resultados de los parámetros físicos, conductividad, temperatura, transparencia o profundidad; son los siguientes:

Cuadro 4. 2 Resultado de Valores de temperatura propios de las épocas lluviosa época seca (Abril / Julio)

puntos de muestreo	estaciones de muestreo	
	época húmeda	época seca
	14 abril/2017	10 julio/2017
pm1-	30.8°c	25,8°c
pm2-	31.1°c	25,7°c
pm3-	30.7°c	26,7°c

La temperatura en la época húmeda fue mayor que en la época seca, este parámetro es muy significativo en cuanto a la eutrofización que pueda presentar el agua, es el factor que más influencia tiene en los lagos y lagunas (Moreta, 2008). Ya que la temperatura ejerce un papel importante sobre la actividad biológica, contribuyendo a la reproducción de algas, que al descomponerse podrían reducir el oxígeno, y afectar a la vida acuática (Niñerota *et al.*, 2004).

**Cuadro 4. 3** Resultado de Valores de conductividad propios de las épocas lluviosa y seca (Abril / Julio)

puntos de muestreo	estaciones de muestreo	
	época húmeda	época seca
	14 abril/2017	10 julio/2017
PM1-	0,12	0,18
PM2-	0,12	0,16
PM3-	0,12	0,21

La conductividad eléctrica presento variabilidad durante los dos periodos, la cual oscilaba de 0,12 -0,21 este parámetro calcula la cantidad de sales disueltas (TDS), o la cantidad total de iones disueltos en el agua (Aranda, 2014).

**Cuadro 4. 5** Resultado de turbidez propios de la época lluviosa y de la época seca (Abril / Julio)

	estaciones de muestreo	
	época húmeda	época seca
	14 abril/2017	10 julio/2017
	FAU	FAU
pm1-	17	12
pm2-	22	14
pm3-	16	40

**Cuadro 4. 6** Resultado de profundidad o transparencia de la época lluviosa 14 abril

	estaciones de muestreo	
	época húmeda	
	m	Cm
pm1-	0,44	44
pm2-	0,52	52
pm3-	0,41	41

**Cuadro 4. 7** Resultado de transparencia o profundidad de la época seca 10 Julio

	estaciones de muestreo	
	época seca	
	M	Cm
pm1-	0,32	32
pm2-	0,48	48
pm3-	0,36	36

La transparencia, fue medida con el disco Secchi, y sirvió para conocer la extinción de luz en la laguna; esta manera rápida y eficaz nos sirve para saber cómo, cuándo y hasta qué punto debemos tratar el cuerpo de agua, para que cumpla con las especificaciones requeridas. Todo esto debido a la abundancia de nutrientes que hace que haya un crecimiento desmesurado de fitoplancton lo que conlleva a que exista agua turbia y que las plantas acuáticas queden sumergidas en la oscuridad (Moreta, 2008).

Los resultados de los parámetros químicos como son fósforo total, clorofila a, hierro, nitrógeno y DQO; estos fueron medidos *ex situ* en el laboratorio de agua de la ESPAM “MFL” en jornadas de trabajo correspondientes a las dos épocas seca y lluviosa del 2017.

**Cuadro 4. 8** Resultado de Valores de pH propios de la época lluviosa y de la época seca (Abril / Julio)

Puntos de muestreo	Estaciones de muestreo	
	época húmeda	época seca
	14 abril/2017	10 julio/2017
pm1-	9,24	9,12
pm2-	9,25	9,01
pm3-	9,24	9,03

El pH en los diferentes puntos de muestreo fue superior, lo que indica notoriamente porque hay el crecimiento excesivo de algas, también el pH en todas las mediciones estuvo en un rango promedio mayor a 9 lo que indica un potencial hidrógeno alcalino. Según Nalms (2008), cuando existe un mayor crecimiento de algas es debido al aumento de temperatura o por el exceso de nutrientes, los niveles de pH pueden aumentar, esto también depende de la capacidad de amortiguación de la laguna.

**Cuadro 4. 9** Resultado de Valores de oxígeno disuelto propios de las épocas lluviosa seca (Abril / Julio)

	estaciones de muestreo	
	época húmeda	época seca
	14 abril/2017	10 julio/2017
<b>pm1-</b>	6.52 mg/l	4,21
<b>pm2-</b>	6.58 mg/l	4,83
<b>pm3-</b>	6.66 mg/l	4,95

El Oxígeno disuelto en el agua es esencial para el desarrollo de la vida acuática, un proceso físico que afecta la cantidad de OD es la relación de temperatura del agua y la saturación del gas. El agua fría puede contener más de cualquier gas, en este caso el oxígeno, que el agua más caliente, lo cual indica que a mayor temperatura, menor oxígeno en la superficie del embalse (Nalms, 2008); en las mediciones realizadas en la laguna “El Carmen” tuvo más variación en el periodo seco.

**Cuadro 4. 4** Valores de Fósforo total propios de la época húmeda 14 de Abril 2017

Muestras recolectadas	Fecha de medición	
	Época Húmeda	
	Fosfatos (PO4)	Fósforo Total (PT)
	ug/l	mg/l
Muestra1.-	0,75	0.24
Muestra2.-	0,89	0.28
Muestra3.-	0,81	0,26

**Cuadro 4. 5.** Valores de Fósforo total propios de la época seca 10 de Julio 2017

Muestras recolectadas	Fecha de medición	
	Época Seca	
	Fosfatos (PO4)	Fósforo Total (PT)
	ug/l	mg/l
Muestra1.-	2,1	0,66
Muestra2.-	3,1	0,98
Muestra3.-	5,4	1,71

**Cuadro 4. 6** Valores de clorofila a propios de la época húmeda 14 de Abril 2017

Muestras recolectadas	Fecha de medición	
	Época húmeda (14 DE ABRIL )	
	LONGITUD DE ONDA A 664	CLOROFILA a
	Nm	mg/l
MUESTRA 1	0.84	0.60
MUESTRA 2	0.41	0.52
MUESTRA 3	0.52	0.67

**Cuadro 4. 7.** Valores de clorofila a propios de la época seca 10 de Julio 2017

Muestras recolectadas	Fecha de medición	
	Época Seca	
	LONGITUD DE ONDA A 664	CLOROFILA a
	Nm	mg/l
MUESTRA 1	0.012	0,03
MUESTRA 2	0,053	0,8
MUESTRA 3	0.052	0,4

El fósforo, y la clorofila en relación con la profundidad, son indicadores del estado trófico, en referencia al fosforo los valores del mismo en las diferentes mediciones son elevadas, esto se debe a que la mayoría de los habitantes que viven alrededor de la laguna, vierten los residuos líquidos a la misma, que vienen cargados de nutrientes lo que causa eutrofización (Moreta, 2008).

**Cuadro 4. 8.** Valores de Nitrógeno propios de la época húmeda 14 de Abril 2017

Muestras recolectadas	Fecha de medición			
	Época Lluviosa			
	Nitritos NO2		Nitrógeno NO3	
	ug/l	mg/l	ug/l	mg/l
Muestra1.-	203	0.203	27300	0.273
Muestra2.-	185	0.185	36700	0.367
Muestra3.-	268	0.268	36100	0.361

**Cuadro 4. 9.** Valores de nitrógeno propios de la época seca 10 de Julio 2017

Muestras recolectadas	Fecha de medición	
	Época Seca	

	Nitritos NO <sub>2</sub>		Nitrógeno NO <sub>3</sub>	
	ug/l	mg/l	ug/l	mg/l
Muestra1.-	67	0,067	10	0,01
Muestra2.-	95	0.095	50	0,05
Muestra3.-	166	0,166	140	0,14

El nitrógeno presente en el agua de la laguna en la época húmeda fue superior a la época seca por lo que la consecuencia es que el cuerpo de agua presente mucha vegetación y otros organismos que agotan el oxígeno del agua y que llevan a la ausencia de vida en ella, es un factor muy importante ya que el exceso de el mismo, hará que se proliferen rápidamente el fitoplancton (Tapia, 2013).

#### 4.2. ORGANISMOS FOTOSINTÉTICOS PRESENTES EN LA LAGUNA.

Para realizar el muestreo del fitoplancton se utilizó una malla Fito-planctónica, lo cual consistió en sumergirla en el agua dentro de la laguna, en los tres puntos seleccionados.

Los resultados obtenidos para fitoplancton en la laguna natural “El Carmen” estuvo representado por 21 especies, la diversidad del fitoplancton presente en la laguna es relativamente alto independientemente del lugar y época de muestreo.

**Cuadro 4. 10.** Microorganismos en época lluviosa 14 de abril

Clase de fitoplancton					
Clase	N°Existentes	Clase	N° Existentes	Clase	N° Existentes
Spirogyla	7/mm <sup>3</sup>	Chrumulina	2/mm <sup>3</sup>	Ankistioderma	1/mm <sup>3</sup>
Phacotus	5/mm <sup>3</sup>	Ulothir	4/mm <sup>3</sup>	Actinastrum	4/mm <sup>3</sup>
Cyclotella	3/mm <sup>3</sup>	Navicula	8/mm <sup>3</sup>	Agmenullum	5/mm <sup>3</sup>
Coccochoris	6/mm <sup>3</sup>	Anabaena	3/mm <sup>3</sup>	Phacus	7/mm <sup>3</sup>
Oscillatoria	8/mm <sup>3</sup>	Sscenedismos	4/mm <sup>3</sup>		
Lothir	12/mm <sup>3</sup>	Nitzshia	5/mm <sup>3</sup>		
Anasitis	5/mm <sup>3</sup>	Tetra	3/mm <sup>3</sup>		

**Cuadro 4. 11.** Microorganismos en época Seca 10 de Julio

Clase de fitoplancton.					
Urogela	27/mm <sup>3</sup>	Oscillatoria	44/mm <sup>3</sup>	Ankistioderma	31/mm <sup>3</sup>

Las especies obtenidas de fitoplancton contenientes de clorofila a en la época lluviosa, revela que hay un mayor incremento de nutrientes como el fosforo, nitrógeno y clorofila a, hacia la laguna en esta época por medio de escorrentía, y por acciones humana que por satisfacer sus actividades interfieren en estos ecosistemas, el decrecimiento de clases de fitoplancton fue notorio en la época seca, pero en cantidades fue mayor con 102 individuos que en época lluviosa, este factor no influyó al momento de evaluar el grado de eutrofización ya que si bien es cierto; las clases de fitoplancton son mayores en época húmeda que en época seca, pero en cantidades tenemos un rango diferente (Huamán, 2013).

Se realizó la determinación de los factores limitantes al crecimiento de organismos, en base a los parámetros que obtuvimos en el primer objetivo.

### 4.3. EVALUACIÓN EL GRADO DE EUTROFIZACIÓN DE LA LAGUNA NATURAL.

**Cuadro 4. 12** Valores IETm Profundidad Secchi.

Puntos de muestreo	IETm por épocas	
	Época Lluviosa	Época Seca
	14/Abr/2017	10/Jul/2017
PM.-01	5,15	9,77
PM.-02	9,70	3,89
PM.-03	6,2	8,06

**Cuadro 4. 13.** Valores IETm Fosforo Total

Puntos de muestreo	IETm por épocas	
	Época Lluviosa 14/Abr/2017	Época Seca 10/Jul/2017
PM.-01	16,79	2,12
PM.-02	14,02	3,03
PM.-03	15,43	11,67

Cuadro 4. 14. Valores IETm clorofila a

Puntos de muestreo	IETm por épocas	
	Época Lluviosa 14/Abr/2017	Época Seca 10/Jul/2017
PM.-01	53	34
PM.-02	56	45
PM.-03	62	51

Cuadro 4. 15. Valores IETm Total.

Por puntos de muestreo	IETm por épocas	
	Época Lluviosa 14/Abr/2017	Época Seca 10/Jul/2017
<b>Total</b>	42,71	58,75

Cuadro 4. 16. Clasificación de IETm en la laguna Natural El Carmen

Épocas Estudiadas	INDICE DE ESTADO TROFICO	Grado de Eutrofización
ÉPOCA HÚMEDA	42,71	Oligotrófico
ÉPOCA SECA	58,75	Eutrófico

El índice de estado trófico ha cambiado de un estado oligotrófico a un estado eutrófico, los resultados indican que la laguna se encuentra en un estado oligotrófico en época lluvia con altas concentraciones de fósforo y fitoplancton, y en poca seca, cambia un estado trófico, por la muerte de las micro algas, la cual afectan a la vida que se desarrolla en este ecosistema.

Este estado se caracteriza por altas concentraciones de nutrientes que dan como resultado el crecimiento desmesurado de algas, agua turbia, y bajos niveles de OD (EPA, 2012).

## **CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1. CONCLUSIONES**

- Los comportamientos físicos y químicos de factores medidos durante las 2 épocas de muestreo fueron constantes y no registraron mayor variación, sin embargo, en todas las mediciones se obtuvo un pH alcalino, y en la época seca existió una disminución en los valores del oxígeno disuelto, en cuanto a la influencia de profundidad, los valores muestran un decremento en los meses posteriores a las lluvias más importantes en el año, la relación con la temperatura no es significativa, ya que se mantuvo en un intervalo constante; de manera contraria, al bajar la temperatura el oxígeno también decreció.
  
- Los organismos fotosintéticos presentes en la laguna son, en época lluviosa 19 clases de fitoplancton y 3 clases de fitoplancton en época seca y en cuanto a su cuantificación en la época húmeda son mayores que en la época seca.
  
- La laguna natural del cantón El Carmen según la clasificación trófica de Toledo 1985, presenta un estado oligotrófico en época seca y eutrófico en época lluviosa, lo cual indica que en esta época existe abundantes nutrientes lo que conlleva a que se produzca alta productividad biológica.

## 5.2. RECOMENDACIONES

- Que autoridades encargadas del cuerpo de agua estudiado realicen un control sobre los vertidos que se depositan al mismo, con el fin de evitar que tanto nutrientes como minerales aumenten en concentraciones propiciando un cambio degenerativo en el estado trófico de la laguna.
- Mediante la utilización de los índices de estado trófico se pudo determinar que el agua de la laguna se encuentra en un estado eutrófico, lo que significa que exista una concentración de nutrientes en los lagos, que da lugar a un crecimiento exagerado de algas y malezas acuáticas en las aguas. Lo más eficaz para luchar contra este tipo de contaminación es disminuir la cantidad de fosfatos y nitratos en los vertidos, usando detergentes con baja proporción de fosfatos, empleando menor cantidad de detergentes, no abonando en exceso los campos, usando los desechos agrícolas y ganaderos como fertilizantes, en vez de verterlos.
- Se deben realizar evaluaciones periódicas del estado trófico de la laguna, para obtener datos del comportamiento de la misma, considerando que no se han realizado investigaciones precedentes en este lugar, además establecer más puntos de muestreo en cada uno de los lugares estratégicos escogidos para ser analizados; basándose en otra metodología de estudio y así tener una mayor exactitud del comportamiento de los nutrientes en la laguna.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abella, J., & Martinez, M. (2012). Contribución de un afluente tributario a la eutrofización del lago de tota. *Revista Colombiana de Química*.
- Albarca, F. (2006). Técnicas para evaluación y monitoreo del estado de los humedales y otros ecosistemas acuáticos.
- Camargo, J., & Alonso, A. (2007). Contaminación por nitrógeno inorgánico en los ecosistemas acuáticos: problemas medioambientales, criterios de calidad del agua e implicaciones del cambio climático. Asociación Española de Ecología Terrestre. Bogota .
- Cataluña. (2003). Alteración que presenta la temperatura del agua por la existencia de embalses. Tesis. Ing. Ambiental. Universidad Politécnica de Barcelona.
- Daranas, B., Cruz, A., Franco, G., & Napolitano, J. (2013). Identification and characterization of Phytoplakton. 470-478.
- David Hernández ; Luis Lopez ; Maria Machain . (2015). Distribución de pigmentos fotosintéticos del fitoplancton del Golfo de Tehuantepec en verano: importancia del picofitoplancton . *sCielo*, 57-63.
- Díaz, A., & Sotomayor, L. (2013). EVALUACIÓN DE LA EUTROFIZACIÓN DE LA LAGUNA CONOCOCHA – ANCASH” A AGOSTO DE 2012. Perú.
- EPA (Environmental Protection Agency, U. (2012). Indicadores de estado trófico en agua. Boletín 104. p 3.
- Fónturbel., F. (2003). Algunos criterios biológicos sobre el proceso de eutrofización a orillas de lagos. *Ecología Aplicada*, 75-79.

González, S. (2006). Aplicación e importancia de las microalgas.

Guamán, M., & Gonzáles, N. (2016). Catalogo de microalgas de agua dulce del Ecuador . Obtenido de Biodiversidad de los principales generos de microalgas encontrados en sistemas acustres de areas protegidas.: <http://energia.org.ec/>

hidalgo, J. (2012). ciencias de la tierra y el medio Ambiente.

Ledesma, C., & Bonancea, M. (2013 ). Determinación de indicadores de eutrofización en el embalse Río Tercero, Córdoba (Argentina). Argentina : Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Lundgerg, D. (2014). Limnología: Índice Estado trófico de Carlson. USA.

Mancera, D. (2017). Repositorio Dspace. Obtenido de <http://ri.uaq.mx/>

Mariñelarena, J. y Gómez, S. (2008) “Eutrofización en las Lagunas Pampeanas. Efectos Secundarios sobre los Peces” en Biología Acuática. 24: 43-48.

Morales. G. (2012). Crecimiento y eficiencia alimentaria de truchas. Universidad de Buenos Aires. 51.

Moreta, J. (2008). La eutrofización de los Lagos y sus consecuencias. Tesis. Tlgo. Saneamiento Ambiental. Universidad técnica del norte, facultad ciencias de la salud. pag 93. Ibarra.

ONU-DAES. (2014). (Departamento de asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas).2014. Calidad de Agua.

Pena, L., Ferreira, C., & Almeida, M. (2004). Obtenido de (En línea). Formato PDF. Disponible en:<http://www.bvsde.paho.org/>

Pereira, k. (2015). Aplicação De Modelo Simplificado Para Avaliação Do Estado Trófico No Reservatório De Duas Unas, Pernambuco .BR.

Perlman, H. 2. (2015). Water properties.

Pulido, P y Pinilla, G. (2017) “Evaluación del estado trófico de El Salitre, último humedal urbano de referencia en Bogotá”. Revista de la Academia Colombiana de las Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. 41(158): 41-50.

Quiroz. R. (2008). La eutrofización en aguas occidentales de Argentina.

Saldaña, Y. (2006). Fotosíntesis en el agua. Redalyc, 122-124.

Tapia, M. (2013). El nitrógeno, como factor limitante en la Eutrofización. Scielo , 45-48.

Velásquez, J., & Jiménez, G. (2007). DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD AMBIENTAL DE LA CIÉNAGA COLOMBIA. CAUCASIA.

Velásquez, J., Jimenez, J., & sepúlveda., M. (2007). DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD AMBIENTAL DE LA CIÉNAGA COLOMBIA.

Vicente, E., Hoyos, C., Sanchez, P., & Cambra, J. (2005). PROTOCOLO DE MUESTREO Y ANALISIS PARA FITOPLANCTON.

# **ANEXOS**

## Anexo 1. Identificación de los puntos de muestreo

### Anexo 1. A Hojas de trabajo

<b>ÉPOCA SECA</b>			
<b>TEMA DE TESIS: CORRESPONCIA ENTRE LOS FACTORES LIMITANTES DE CRECIMIENTO Y LAS COMUNIDADES DE ORGANISMOS FOTOSINTETICOS CASO LAGUNA NATURAL "EL CARMEN"</b>			
<b>Parámetros Físicos</b>		<b>Parámetros Químicos</b>	
pH		Fosforo	
Conductividad		Clorofila "a"	
Temperatura		Nitrógeno	
Transparencia o profundidad		Hierro	
Oxígeno Disuelto			
Turbidez			

### Anexo 1. B Georreferenciando el sitio



### Anexo 1. C Muestreo en el área de estudio



## Anexo 2. Determinación de parámetros Físicos

Anexo 2. A. Determinación de pH



Anexo 2. B. Determinación de conductividad



Anexo 2. C Determinación de temperatura



Anexo 2. D Determinación de transparencia por medio de disco Secchi



### Anexo 3. Determinación de parámetros químicos

#### Anexo 3-A. Determinación de clorofila a

##### Anexo 3-A.1. Extracción de la muestra



##### Anexo 3-A.2. Preparación de la muestra



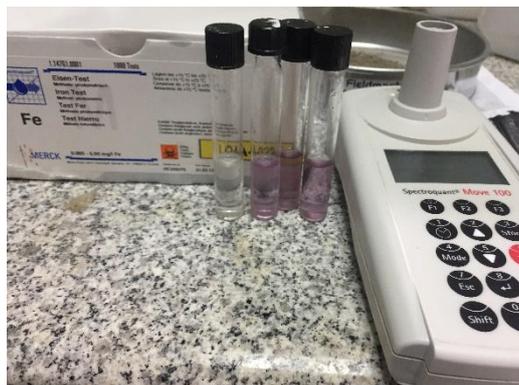
##### Anexo 3-B. Determinación de fósforo nitrógeno



##### Anexo 3-C. Determinación de



##### Anexo 3-D. Determinación de Hierro



## Anexo 4. Determinación de comunidades presentes en la laguna

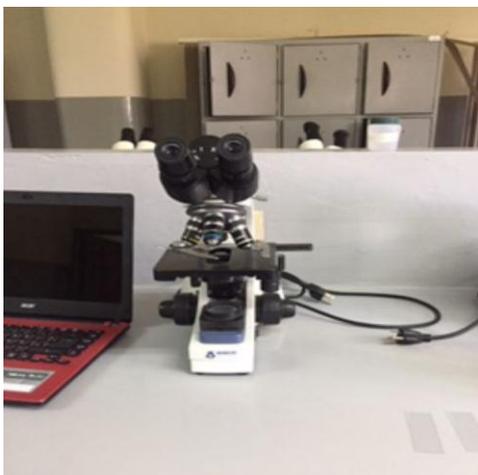
**Anexo 4-A.** Visita de campo de observación



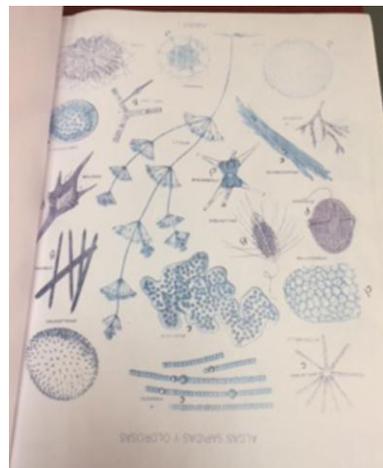
**Anexo 4-B.** Muestreo de los microorganismos (fitoplancton)



**Anexo 4-C.** Observación de organismos en microscopio de .



**Anexo 4-D.** Identificación micro-algas



**Anexo 5.** Equipos utilizados para análisis del agua.

**Anexo 5- A.** Espectrofotómetro



**Anexo 5- B.** Conductímetro



**Anexo5- C.** Potenciómetro



**Anexo 5- D.** Bomba de Vacío



**Anexo 6.** Ecuaciones y procedimientos para el cálculo del Índice del Estado Trófico.

Tabla II: Fórmulas para estimar el estado trófico aplicando los indicadores de eutrofia.

Parámetro de eutrofización	Carlson (1977; 1980)	Aizaki <i>et al.</i> (1981)
Claridad del agua ( $D_s$ )(m)	$TSI_{D_s} = 60 - 14.41Ln(D_s)$	$TSI_{D_s} = 10 \times (2.46 + \frac{3.76-1.57Ln(D_s)}{Ln2.5})$
Fosforo total ( $P_t$ ) (mg/l)	$TSI_{P_t} = 14.42Ln(P_t) + 4.15$	$TSI_{P_t} = 10 \times (2.46 + \frac{6.68-1.15Ln(P_t)}{Ln2.5})$
Clorofila a (Clorf a) ( $mg/m^3$ )	$TSI_{Clorf a} = 9.81Ln(Clorf a) + 30.6$	$TSI_{Clorf a} = 10 \times (2.46 + \frac{Ln(Clorf a)}{Ln2.5})$

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

Estado de eutrofia	TSI	$D_s$ (m)	$P_t$ ( $mg/m^3$ )	Clorf a ( $mg/m^3$ )
Oligotrófico ( $TSI < 30$ )	0	64	0.75	0.04
	10	32	1.5	0.12
	20	16	3	0.34
	30	8	6	0.94
Mesotrófico ( $30 < TSI < 60$ )	40	4	12	2.6
	50	2	24	6.4
	60	1	48	20
Eutrófico ( $60 < TSI < 90$ )	70	0.5	96	56
	80	0.25	192	154
	90	0.12	384	427
Hipereutrófico ( $90 < TSI < 100$ )	100	0.06	768	1183
Relación de los parámetros		$\frac{TSI_{D_s}}{2}$	$2 \times TSI_{P_t}$	$\sqrt{7.8TSI_{Clorf a}}$

Tabla III: Valores límites de la OCDE para un sistema completo de clasificación trófica.

Categoría trófica	$P_t$ ( $\mu g/L$ )	$Clorf a$ ( $\mu g/L$ )		Transparencia $D_s$ (m)	
		Media	Máxima	Media	Mínimo
Ultraoligotróficos	< 4.0	< 1.0	< 2.5	6 >12.0	> 6.0
Oligotrófico	< 10.0	< 2.5	< 8.0	>6.0	> 3.0
Mesotrófico	10 - 35	2.5 - 8	8.0 - 25	6.0 - 3.0	3.0 - 1.5
Eutrófico	35 - 100	25 - 75	25 - 75	3.0 - 1.5	1.5- 0.7
Hipertrófico	>100	> 75	>75	< 1.5	< 0.7

## Anexo 6. Ecuaciones y procedimientos para el cálculo del Índice del Estado Trófico

Tabla IV: Distribución de porcentajes de fósforo y clorofila a dentro de los distintos estados tróficos.

	Fósforo (%)	Clorofila (%)
Ultra-oligotrófico	10	6
Oligotrófico	63	49
Mesotrófico	26	42
Eutrófico	1	3
Hipertrófico	0	0
	100	100

## Anexo 7. Ecuaciones y procedimientos para el cálculo del Índice del Estado Trófico

PARAMETROS FISICOS			EPOCA SECA		PARAMETROS QUIMICOS		
	Ep. Seca	Ep. Lluviosa		TOTAL	Ep. Seca	Ep. Lluviosa	
Transparencia o Profundidad	46	38	IET DS	0,44	Clorofila	2,06	1,59
Conductividad	0,12	0,18	IET Cl a	3,1	Fosforo	0,26	1,11
temperatura	30,9	26,1	IET PT	0,7	Hierro	0,50	0,20
turbidez	18,9	22			Nitrogeno	0,33	0,21
					DBO	2	3
					pH	9,24	8,76
					oxigeno Disu	6,62	4,53

$$IET_{M\ TOTAL} = \frac{[(IET_{M\ DS}) + (IET_{M\ Cl\ a}) + (IET_{M\ PT})]}{3}$$

$$IET_{M\ TOTAL} = \text{-SUMA(M5;M6;M7)/(3)}$$

SUMA(número1; [número2]; [número3]; [número4]; ...)