

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR

Escuela de Biología Aplicada

**TRABAJO DE TITULACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
BIÓLOGO AMBIENTAL**

TEMA:

**“ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN DE LA COMUNIDAD
FITOPLANCTÓNICA EN TRES LAGUNAS DE LA RESERVA DE
PRODUCCIÓN DE FAUNA CUYABENO (RPFC) EN DOS PERÍODOS
ESTACIONALES”**

AUTOR:

GIANINA ANDREA BRICHETTO LLERENA

DIRECTOR DE TESIS

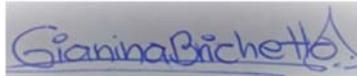
DR. ESTEBAN TERNEUS

QUITO, ECUADOR

2018

CERTIFICACIÓN

Yo, Gianina Andrea Brichetto Llerena, con cédula de identidad N° 1804088118, declaro que soy la autora exclusiva de la presente investigación y que ésta es original, auténtica y personal mía. Todos los efectos académicos y legales que se desprenden de la presente investigación serán de mi sola y exclusiva responsabilidad. Además, cedo los derechos a la Universidad Internacional del Ecuador para que sea publicado y divulgado en internet

A handwritten signature in blue ink that reads "Gianina Brichetto". The signature is written in a cursive style and is contained within a light gray rectangular box.

Gianina Andrea Brichetto Llerena

Yo, Héctor Esteban Terneus Jácome, declaro que, en lo que personalmente conozco, a la señorita, Gianina Andrea Brichetto Llerena, es la autora exclusiva de la presente investigación y que ésta es original, auténtica y personal.

Héctor Esteban Terneus Jácome

AGRADECIMIENTO

A mi padre, por ser ese pilar fundamental en mi vida, por su apoyo incondicional y por ser ese padre que toda mujer merece tener, gracias papito.

A mi madre, por todo su amor y por siempre estar pendiente de mí, gracias ma.

A mi hermano Stefano (enano), no sé qué sería de mi sin ti, te adoro con todo mi corazón.

Al Dr. Esteban Terneus, por compartir conmigo ese amor a la Limnología todos estos años, por su paciencia y perseverancia en la realización de este trabajo. ¡Gracias por todo!

A mis lectores, M.Sc. Pablo Salvador y M.Sc. Cecilia Puertas que con su apoyo hicieron de este un gran trabajo.

A mi amiga María José Racines, por todo su tiempo al ayudarme durante los muestreos en campo y por siempre estar pendiente del proceso de esta investigación.

A mis amigos Pablo Salvador y Gustavo Cañas por toda su ayuda en la etapa estadística y a Andrea Fish por ser esa luz al final del túnel.

A Rita Minoli, mi segunda mamá, a Marie Scherekinger por su apoyo desde lejos y a José Scherekinger por su paciencia y conocimiento ayudándome con los mapas.

A Pablo Flores y a todo su equipo de trabajo en Samona Lodge, en especial a Fabricio Tapia quien fue mi guía y apoyo durante toda la fase de campo en Cuyabeno.

A todos los miembros del Vitara Club Quito, que más que un club han sido una familia estos últimos años.

Índice de Contenidos

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
CAPÍTULO 1	3
INTRODUCCIÓN	3
1.1 Antecedentes	4
1.2 Planteamiento del problema.....	6
1.3 Justificación	7
1.4 OBJETIVOS	9
CAPÍTULO II	10
METODOLOGÍA	10
2.1 Área de estudio	10
2.2 Laguna Grande.....	11
2.3 Laguna Canangüeno	12
2.4 Laguna Mateococha.....	13
2.5 Vegetación del lugar	14
2.6 Vegetación Acuática	15
2.7 Fauna del lugar.....	15
2.8 Estacionalidad	16
2.9 Ubicación de los puntos de muestreo	16
2.10 Datos de campo.....	17
2.11 Procedimiento de muestreo	17
2.12 Análisis de laboratorio	19
2.13 Análisis de datos	19
2.13.1 Análisis de factores abióticos:.....	20
2.13.2 Análisis de factores bióticos:.....	20
2.13.3 Análisis Canónico de Correspondencias - ACC	22
CAPÍTULO III	23
MARCO TEÓRICO	23
3.1 Interacción del fitoplancton con variables abióticas.....	24
3.2 Dinámica espacial del fitoplancton.....	25
3.3 Composición y estructura del fitoplancton	27

3.4	Dinámica hidrológica de los cuerpos de agua en la Amazonía	28
3.5	La fisico-química de agua en ecosistemas acuáticos	30
3.6	El papel del oxígeno y la temperatura en los patrones de estratificación de agua 32	
CAPÍTULO IV.....		33
RESULTADOS		33
4.1	Comunidades fitoplanctónicas registradas en Laguna Grande, Mateococha y Canangüeno	33
4.2	Análisis de las variables abióticas.....	34
4.2.1	Prueba de Correlación de Pearson.....	34
4.2.2	Distancia euclidiana	35
4.3	Análisis de factores bióticos	36
4.3.1.	Índice de tolerancia a contaminación orgánica de Palmer	36
4.3.2	Índice similitud de Steinhaus (Bray-Curtis).....	38
4.3.3	Índice de Shannon Wiener	39
4.4	Patrones de abundancia de los órdenes fitoplanctónicos encontrados durante las dos épocas estacionales (Aguas Altas – Aguas Bajas) en cada laguna muestreada 40	
4.5	Análisis Canónico de Correspondencias ACC	43
4.5.1	ACC en las tres lagunas muestreadas durante aguas altas.	43
4.5.2	ACC en las tres lagunas en aguas altas	44
4.6	Patrones de estratificación térmica y concentración de oxígeno de las lagunas muestreadas en aguas altas.....	45
4.7	Patrones de variación térmica y concentración de oxígeno en aguas bajas.....	51
CAPÍTULO V		57
DISCUSIÓN		57
5.1	Patrones de distribución y abundancia de comunidades fitoplanctónicas	57
5.2	Influencia de las variables abióticas sobre el fitoplancton.....	58
5.3	Distancia euclidiana.....	60
5.4	Determinación de grupos sensibles a la contaminación orgánica.....	61
5.5	Patrones de riqueza de fitoplancton	62
5.6	Patrones ecológicos y de diversidad del fitoplancton.....	62
5.7	Estratificación térmica	64
CONCLUSIONES		66

LITERATURA CITADA	68
ANEXOS	77
ANEXO 1. Abundancias de las comunidades fitoplanctónicas registradas en aguas altas en las tres lagunas muestreadas.	77
ANEXO 2. Abundancia de las comunidades fitoplanctónicas registradas durante el muestreo de aguas bajas en las tres lagunas muestreadas.	79
ANEXO 3. Detalle de las variables abióticas registradas durante el muestreo de aguas altas.	80
ANEXO 4. Detalle de las variables abióticas registradas durante el muestreo de aguas bajas.	80
ANEXO 5. Ficha técnica de información en campo.....	81
Apéndice 1.- Imágenes de las especies de fitoplancton más representativas registradas en las lagunas de Cuyabeno.....	83

Índice de Figuras

Figura 1. Mapa de ubicación de la RPFC, en la Amazonía nororiental del Ecuador, enfatizando los tres puntos de muestreo en cada laguna seleccionada	10
Figura 2. Laguna Grande de Cuyabeno	12
Figura 3. Laguna Canangüeno	13
Figura 4. Laguna Mateococha.....	14
Figura 5. Obtención de factores abióticos de cada punto de muestreo.	17
Figura 6. Recolección de muestras con botella Van Dorn.	18
Figura 7. Proceso de filtración de las muestras colectadas con la botella Van Dorn a través de una red de fitoplancton.	18
Figura 8. Porcentaje de géneros identificados en las lagunas muestreadas durante las dos épocas estacionales	33
Figura 9. Análisis de conglomerados de los sitios muestreados en aguas altas; basado en los datos abióticos registrados (Anexo 3-4), utilizando medidas de distancia euclidiana.	35
Figura 10. Análisis de conglomerados de los sitios muestreados en aguas bajas; basado en los datos abióticos registrados (Anexo 3-4), utilizando medidas de distancia euclidiana.	36
Figura 11. Análisis de conglomerados de los sitios muestreados en aguas altas; basado en las abundancias de fitoplancton registradas por puntos de muestreo (Anexo 1), utilizando el índice de similitud de Steinhaus.	38
Figura 12. Análisis de conglomerados de los sitios muestreados en aguas bajas; basado en las abundancias registradas por puntos de muestreo (Anexo 2), utilizando el índice de similitud de Steinhaus.	39

Figura 13. Órdenes de Fitoplancton presentes en la laguna de Mateococha durante las dos épocas estacionales.	40
Figura 14. Órdenes de Fitoplancton presentes en la laguna Grande durante las dos épocas estacionales.	41
Figura 15. Órdenes de Fitoplancton presentes en la Laguna de Canangüeno durante las dos épocas estacionales.	42
Figura 16. Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) generado para aguas altas por seis variables abióticas y 17 órdenes fitoplanctónicos.	43
Figura 17. Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) generado para aguas bajas por seis variables abióticas y 17 órdenes fitoplanctónicos.	44
Figura 18. Dinámica térmica y concentración de oxígeno en el punto entrada de Laguna Grande durante aguas altas.	46
Figura 19. Dinámica térmica y concentración de oxígeno en el punto medio de Laguna Grande durante aguas altas.	47
Figura 20. Dinámica térmica y concentración de oxígeno en el punto salida de Laguna Grande durante aguas altas.	47
Figura 21. Dinámica térmica y concentración de oxígeno en el punto entrada de Canangüeno durante aguas altas.	48
Figura 22. Dinámica térmica y concentración de oxígeno en el punto medio de Canangüeno durante aguas altas.	48
Figura 23. Dinámica térmica y concentración de oxígeno en el punto salida de Canangüeno durante aguas altas.	49
Figura 24. Dinámica térmica y concentración de oxígeno en el punto Entrada de Mateococha durante aguas altas.	49
Figura 25. Dinámica térmica y concentración de oxígeno en el punto medio de Mateococha durante aguas altas.	50
Figura 26. Dinámica térmica y concentración de oxígeno en el punto salida de Mateococha durante aguas altas.	50
Figura 27. Dinámica térmica y concentración de oxígeno en el punto entrada de laguna Grande durante aguas bajas.	51
Figura 28. Dinámica térmica y concentración de oxígeno en el punto medio de laguna Grande durante aguas bajas.	52
Figura 29. Dinámica térmica y concentración de oxígeno en el punto salida de laguna Grande durante aguas bajas.	52
Figura 30. Dinámica térmica y concentración de oxígeno en el punto entrada de Canangüeno durante aguas bajas.	53
Figura 31. Dinámica térmica y concentración de oxígeno en el punto medio de Canangüeno durante aguas bajas.	53
Figura 32. Dinámica térmica y concentración de oxígeno en el punto salida de Canangüeno durante aguas bajas.	54
Figura 33. Dinámica térmica y concentración de oxígeno en el punto entrada de Mateococha durante aguas bajas.	54
Figura 34. Dinámica térmica y concentración de oxígeno en el punto medio de Mateococha durante aguas bajas.	55

Figura 35. *Dinámica térmica y concentración de oxígeno en el punto salida de Mateococha durante aguas bajas.* _____ 55

Índice de tablas

<i>Tabla 1. Coordenadas de los puntos de muestreo (Datum WGS84)</i> _____	11
<i>Tabla 2. Valores para el cálculo del Índice de Palmer</i> _____	21
<i>Tabla 3. Grupos de algas que predominan en los cuerpos de agua dulce tropicales (Ramírez & Viña, 1998):</i> _____	27
<i>Tabla 4. Correlación entre variables abióticas</i> _____	34
<i>Tabla 5. Suma total de los valores asignados por Palmer (IP) a los géneros de fitoplancton sensibles a la carga orgánica, con los datos bióticos acumulados de las dos épocas estacionales en Mateococha, Laguna Grande y Canangüeno.</i> _____	37
<i>Tabla 6. Valores máximos y mínimos registrados durante el estudio en aguas altas</i> _	45

RESUMEN

El presente estudio estima los patrones de distribución espacial de la comunidad fitoplanctónica en tres lagunas amazónicas (Laguna Grande, Mateococha y Canangüeno) dentro de la Reserva de Producción de Fauna Cuyabeno (RPFC), a través de la dinámica térmica en dos ciclos hidrológicos estacionales, aguas altas (AA) y aguas bajas (AB). Se seleccionaron tres puntos de muestreo en cada laguna (entrada, medio y salida). Se recolectaron 54 muestras de fitoplancton con una botella Van Dorn a distintas profundidades y los resultados se los confrontó con parámetros de físico-química de agua. Para establecer diferencias en la composición y estructura de la biota se utilizaron índices de similitud (Steinhaus y Distancia Euclidiana), mientras que para determinar la relación de la biota con los factores abióticos se aplicó un análisis de Correspondencias Canónicas (CCA). Los resultados de la dinámica térmica muestran patrones definidos de estratificación térmica en aguas bajas, mientras que, en aguas altas, no se determinó estratificación térmica. En cuanto a los grupos representativos de fitoplancton se identificaron 80 géneros de algas, de los cuales *Spondylosium* sp., *Navicula* sp. y *Melosira* sp. dominaron en AA, mientras que *Chroococcus* sp. y *Peridinium* sp. dominaron en AB. En definitiva, la dinámica ecológica de las tres lagunas es homogénea durante AB mientras que en AA presentan un incremento en su biota, a consecuencia de las intensas variaciones en sus patrones abióticos.

Palabras Clave: Cuyabeno, Limnología, termoclina, fitoplancton, estratificación térmica.

ABSTRACT

This study estimates the spatial distribution patterns of phytoplankton community in three Amazonian lakes (Laguna Grande, Mateococha and Canangüeno) within Cuyabeno Fauna Production Reserve (RPFC), through thermal dynamics in two seasonal hydrological cycles, high waters (AA) and low waters (AB). Three sampling points were selected in each lake (entrance, middle and exit). 54 phytoplankton samples were collected with a Van Dorn bottle at different depths and the results were faced with water physics-chemistry parameters. To establish differences in the composition and structure of biota, similarity indexes were used (Steinhaus and Euclidean Distance), while an analysis of Canonical Correspondences (CCA) was applied to determine the relationship of biota with abiotic factors. The thermal dynamics results show definite patterns of thermal stratification in low waters, while in high waters, thermal stratification was not determined. About the most representative phytoplankton groups, 80 genera of algae were identified, of which *Spondylosium* sp., *Navicula* sp. and *Melosira* sp. dominated in AA, while *Chroococcus* sp. and *Peridinium* sp. they dominated in AB. Definitely, the ecological dynamic of three lakes is homogeneous during AB, while in AA they present an increase in their biota, as a result of the intense variations in their abiotic patterns.

Keywords: Cuyabeno, limnology, thermocline, phytoplankton, thermal stratification.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

La diversidad florística y faunística del Ecuador lo convierten en uno de los países más ricos en biodiversidad del mundo. Esta riqueza se encuentra relacionada con varios factores como: gradientes altitudinales en las que se desarrollan diversos ambientes y, la presencia de al menos cinco áreas biogeográficas: Chocó, Tumbes, Andes Norte, Andes Sur, Amazonía Norte y Amazonía Sur (Birdlife, 2006).

La vida surgió en el agua y esta es esencial para el mantenimiento de todo tipo de vida en nuestro planeta (Roldán, 2008); uno de los aspectos de mayor interés en ecología ha sido, y sigue siendo, el estudio de los factores bióticos y abióticos que regulan la dinámica y estructura de las comunidades naturales. Conocer las interacciones entre estos factores y cuantificar su importancia relativa representa uno de los principales retos con los que se enfrenta la ecología (Tapia y Naranjo, 2014) y en ecosistemas acuáticos el panorama es aún más complejo y poco conocido.

El ecosistema acuático, al igual que el terrestre, es el resultado de la interacción entre el agua, la atmósfera, la tierra y los organismos vivos (Roldán, 2008); este se constituye por todos los organismos que viven en él, los productores, los consumidores y los descomponedores (Roldán, 2008); la acción conjunta de estos tres grupos de organismos determina la productividad y el balance ecológico del ecosistema acuático.

El fitoplancton como productor primario funciona como indicador de las presiones hidromorfológicas que determinan cambios en la tasa de renovación del agua en lagos y embalses. Una de las características más importantes de las algas es su capacidad depuradora del ambiente, ya que a través del proceso de fotosíntesis incorporan oxígeno, contribuyendo de esta manera a la descomposición de la materia orgánica por un lado, y por el otro inyectan oxígeno disuelto en el agua que es utilizado por las otras comunidades u organismos que componen la flora y fauna del medio acuático donde viven (Tapia y Naranjo, 2014).

Los estudios recientes realizados en varios ríos del Ecuador demuestran que las comunidades de diatomeas reflejan los cambios de calidad del agua a corto plazo (Tapia, 2012).

Por otra parte, estudios realizados por Molina *et al.*, (2013) en ecosistemas lacustres altoandinos, demuestran que el fitoplancton forma parte importante de un proceso de autodepuración de la laguna de Papallacta, luego de un proceso de biorremediación realizado por un derrame de crudo en los afluentes primarios de la laguna, sobre los cauces de los ríos Sucus, Tambo y Cachalarca (Petroecuador, 2006), permitiendo que el ecosistema recupere la productividad primaria a lo largo de la zona fótica de la laguna.

La presente investigación ampliará el conocimiento de la dinámica de productividad primaria en la región amazónica, poco conocida en el país, a través del análisis de la comunidad fitoplanctónica en el sistema lacustre de Cuyabeno, estudiando la dinámica ecológica de los principales géneros y especies que habitan en estas lagunas, a fin de conocer mejor su diversidad, valor ecológico y potencial productivo de los sistemas lacustres de la Reserva de Producción Faunística Cuyabeno.

1.1 Antecedentes

Los estudios referentes al fitoplancton de grandes ríos de Sudamérica son escasos, y aun cuando existen valiosos aportes sobre el tema, la mayoría de los trabajos pueden considerarse puntuales dada la reducida extensión geográfica en que han sido desarrollados (Zalocar de Domitrovic, 2004). Algunos de los estudios en ambientes amazónicos más cercanos al Sistema Lacustre de Cuyabeno son los reportados por Zalocar de Domitrovic, (2004); Melo *et al.* (2004), Passarinho *et al.* (2013) y Ramírez, J. (2015); en Argentina, Brasil y Colombia respectivamente.

Zalocar de Domitrovic (2004) publica la distribución del fitoplancton en dos períodos del ciclo hidrológico en el eje potámico Paraguay-Paraná en donde reporta que aguas abajo la riqueza de especies y la diversidad de algas fue significativamente menor, además del cambio en la calidad física y química del agua y la calidad biótica del fitoplancton. Se concluye que el fitoplancton estuvo fuertemente condicionado por la transparencia del agua, reflejando el comportamiento del medio físico. La riqueza específica presentó una reducción significativa con relación a una disminución en la transparencia y a

incrementos en la concentración de sólidos en suspensión. En ambos ríos la densidad y biomasa del fitoplancton se correlaciona positivamente con la temperatura del agua.

Por su parte Melo *et al.*, (2004) realizaron un estudio en aguas altas en dos lagos distintos de Brasil (Batata y Mussurá), donde se reporta altas concentraciones de fitoplancton en capas superficiales (0-3 metros) y al mediodía; concluyen que las condiciones hidrológicas e hidrográficas son las responsables del comportamiento del fitoplancton.

En cambio, Passarinho *et al.* (2013) reportan que las condiciones abióticas del lago estudiado en Colombia fueron más estables en aguas bajas, así como la diversidad y la tasa de cambio de la comunidad fitoplanctónica; se concluyó que los frecuentes períodos de estratificación y mezcla fueron los responsables para la dominancia de *Geitlerinema* sp. (Cyanobacteria).

Se conviene que un ensamble fitoplanctónico se encuentra en estado estable cuando una, dos o tres especies contribuyen con más del 80% de la biomasa total, coexisten o persisten por tiempo suficiente (mayor que una o dos semanas), y durante ese período no hay cambios significativos en la biomasa total del ensamble (Roldán y Ramírez, 2008).

Las principales especies dominantes de fitoplancton en el Río Napo son *Pseudonitzschia paradoxa*, *Thalassiotrix frauenfeldii*, *Melosira italica* y *Climacospheia monoligera* (Tapia y Naranjo, 2014). Generalmente, en aguas dulces existen varios géneros como: *Tribonema*, *Phacus*, *Trachelomonas* y muchas *Zygnemales* (Roldán, 2008).

Ramírez, J. (2015) reporta datos referentes a la profundidad fótica que muestran que la luz en el embalse de La Fé (Colombia) penetra mucho más allá de la profundidad límite del epilimnio. Establece profundas implicaciones para el fitoplancton, dado que cuando la zona de mezcla es inferior a la zona fótica, el fitoplancton está sometido a niveles altos de irradiaciones medias de luz y a una alta densidad del flujo de fotones en escalas temporales cortas (minutos, horas y días), y no experimenta en estas escalas ni saturaciones de luz por debajo de los niveles normales, ni períodos de oscuridad, ni alternancias día/noche, ni modificaciones sustanciales en el ambiente subacuático de

la fotosíntesis dentro de cada ciclo de mezcla. Sin embargo, esta situación, aparentemente favorable, podría llegar a superar la capacidad homeostática de las células algales frente a la variabilidad ambiental de corto plazo, afectando la producción primaria neta al incrementarse las tasas respiratorias.

Para Ecuador muy pocos estudios referentes a la dinámica de lagunas amazónicas y el comportamiento del fitoplancton se han realizado. Steinitz-Kannan *et al*, (1983) reportan que las estratificaciones térmicas entre otros factores, y para el caso de los lagos tropicales, dependen también de los factores climáticos y de las condiciones propias y específicas de cada lago o laguna.

En el caso de la laguna de Limoncocha, y muchas otras lagunas de regiones tropicales, la actividad fotosintética de las algas causa que durante el día disminuya la cantidad de CO₂ disuelto en el agua, provocando un aumento en el pH de la laguna y del oxígeno disuelto de la superficie. Limoncocha por ejemplo, es una laguna poco profunda, las frecuentes tormentas y fuertes vientos fácilmente mezclan el agua de la laguna y traen nutrientes del fondo a la superficie. Estos nutrientes, en particular los fosfatos, contribuyen a una alta productividad. En general la estratificación termal que aparece en la laguna durante el día se pierde en la noche, pero si no hay lluvias o vientos fuertes, es posible que la estratificación dure algunos días (Steinitz-Kannan *et al*, 1983). Este patrón podría esperarse que ocurra en el resto de sistemas lacustres de la Amazonía ecuatoriana. Sin embargo, un sinnúmero de parámetros exógenos y de la propia naturaleza de los cuerpos de agua podrían modificar lo esperado.

1.2 Planteamiento del problema

La producción primaria es una medida que indica la tasa de incorporación del carbono inorgánico durante la fotosíntesis por parte del fitoplancton; dicha medida es útil para determinar los efectos de los contaminantes y los nutrientes en la comunidad acuática (Roldán y Ramírez, 2008), manifestando la condición trófica de un cuerpo de agua.

Entre los indicadores biológicos comúnmente utilizados en la clasificación de los lagos de zonas templadas se destacan los representantes del fitoplancton. En dicha región, estos organismos están fuertemente ligados a las condiciones ambientales reinantes en cada

tipo de lago. Para los lagos tropicales, las investigaciones de esta naturaleza se encuentran en sus inicios (Roldán y Ramírez, 2008).

Actualmente existen muy pocos estudios referentes a la distribución de fitoplancton en la columna de agua en las lagunas de la RPFC (Reserva de Producción Faunística Cuyabeno). Por tal motivo, se realizó un estudio que contribuyó con la información necesaria para conocer los patrones de distribución de la comunidad fitoplanctónica en tres lagunas tropicales de la Amazonía Ecuatoriana.

Los lagos amazónicos tienen características específicas que hacen que sea posible la identificación del pulso de inundación como una función de fuerza responsable de los cambios de variables abióticas y los cambios en los patrones de la estratificación y mezcla que, de acuerdo con Tilzer y Goldman (1978), constituyen los dos principales factores que controlan la estructura de la comunidad fitoplanctónica.

Con este estudio se espera corroborar los resultados reportados en el resto de la cuenca Amazónica (Zalocar de Domitrovic, (2004); Melo *et al.*, (2004), Passarinho *et al.*, (2013) y Ramírez, J. (2015), pero a su vez contribuir con elementos que permitan entender mejor la dinámica ecológica de estos cuerpos de agua y sus comunidades, a través de los patrones de variación del oxígeno y la estratificación térmica a lo largo de la columna de agua de estas lagunas.

1.3 Justificación

Los productores primarios capturan gran parte de la energía que fluye a través de las redes tróficas de agua dulce y estos organismos son responsables de la mayor parte de los flujos biogeoquímicos de transformación, incluyendo la descomposición y el reciclaje de nutrientes en los sistemas acuáticos (Dodds, 2002).

La transparencia y la temperatura del agua tienen un peso preponderante para explicar los cambios espaciales y temporales del fitoplancton (Zalocar de Domitrovic, 2004) además del recambio y los flujos de corriente que son elementos importantes para explicar estos cambios.

La estratificación térmica de las masas de agua permite a las algas mantener su distribución vertical, mientras que al mismo tiempo no interfiere con su migración. En contraste, la mezcla vertical distribuye fitoplancton en toda la columna de agua, además de transportar nutrientes hacia las capas previamente agotadas (Tilzer y Goldman, 1978).

Las lagunas de inundación tropicales pasan por dos fases distintas, las cuales dependen en mayor medida de la dinámica hidrológica de sus principales afluentes (Passarinho *et al.* 2013). La fase potamológica, que se produce durante aguas altas, se caracteriza por la conectividad de ambientes lénticos al canal principal e incluye agua naciente, inundaciones y períodos de lluvia intensos; mientras que la limnofase, que se produce durante las aguas bajas, donde los ambientes lénticos no se conectan al canal principal. Ambas fases comprenden el ciclo hidrosedimentológico, el cual es el principal factor que influye en los diferentes hábitats de estos ecosistemas y se caracteriza por fluctuaciones del nivel del agua y las variables abióticas y los cambios en las comunidades acuáticas (Neiff, 1990).

Las fluctuaciones estacionales de los niveles de agua señalan ser el principal factor que regula la periodicidad del fitoplancton. Sin embargo, se sabe poco sobre la dinámica del fitoplancton en las lagunas amazónicas (Melo *et al.*, 2004).

Este estudio examina las variaciones temporales y espaciales de la comunidad fitoplanctónica de tres lagunas Amazónicas, en dos períodos hidrológicos (aguas altas y aguas bajas) identificando las principales características ambientales responsables de la variabilidad de la comunidad fitoplanctónica. Una de las razones más importantes por las cuales se realiza este estudio es el evaluar la capacidad de los ecosistemas amazónicos en términos de productividad primaria a través de la dinámica ecológica del fitoplancton.

1.4 OBJETIVOS

Objetivo General

- Determinar la estructura y composición de las comunidades de fitoplancton en tres lagunas de la Reserva de Producción Faunística Cuyabeno, con el fin de comprender su dinámica ecológica y la importancia en el funcionamiento de los ecosistemas amazónicos.

Objetivos Específicos

- Determinar los patrones de distribución y abundancia de las comunidades de fitoplancton con relación a la estratificación térmica y sus principales variables físicas y químicas del agua.
- Determinar los patrones de estratificación térmica que gobiernan la distribución espacial y temporal del fitoplancton en la columna de agua.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1 Área de estudio

La Reserva de Producción Faunística Cuyabeno (RPFC) se encuentra ubicada en las provincias de Sucumbíos y Orellana. La RPFC es considerada como un santuario de vida silvestre y una de las áreas de mayor diversidad específica de la Cuenca Amazónica (Borbor, 2000). En la Reserva se encuentran los sistemas lacustres tropicales más grandes del país: el del río Cuyabeno, que se localiza al noroeste de la RPFC, y el del río Lagarto ubicado en el extremo sureste de la Reserva (Rivadeneira, 2007).

El presente estudio se llevó a cabo en el sistema lacustre del río Cuyabeno, específicamente en tres lagunas: Laguna Grande, Canangüeno y Mateococha, conectadas entre sí cercanamente (Figura 1) (Tabla 1).

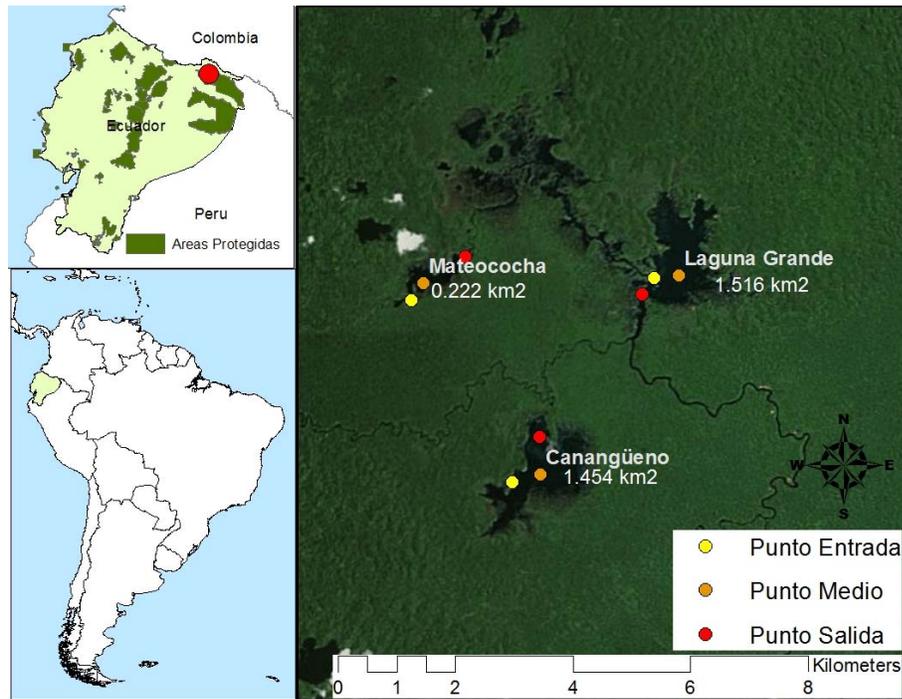


Figura 1. Mapa de ubicación de la RPFC, en la Amazonía nororiental del Ecuador, enfatizando los tres puntos de muestreo en cada laguna seleccionada

Tabla 1. Coordenadas de los puntos de muestreo (Datum WGS84)

Laguna	Ubicación del punto de muestreo	Coordenada
Mateococha	Punto Entrada	18 M 0364263 UTM 9998058
	Punto Medio	18 M 0364471 UTM 9998345
	Punto Salida	18 M 0365188 UTM 9998787
Laguna Grande	Punto Entrada	18 M 0368401 UTM 9998426
	Punto Medio	18 M 0368827 UTM 9998481
	Punto Salida	18 M 0368200 UTM 9998151
Canangüeno	Punto Entrada	18 M 0365980 UTM 9994979
	Punto Medio	18 M 0366473 UTM 9995100
	Punto Salida	18 M 0366449 UTM 9995735

2.2 Laguna Grande

Con 214 m.s.n.m y 1,5 km² de superficie aproximadamente, es una laguna de aguas negras (Figura 2) con alto flujo turístico y por ende un uso excesivo de motores fuera de borda. También presenta un alto riesgo de intervención petrolera por la presencia del mismo en el fondo de la laguna. La vegetación en la zona de ribera de esta laguna está conformada por los llamativos macrolobium (*Macrolobium acaciifolium*) y varias especies de flora inundable. Con una pequeña isla en la desembocadura del Río Hormiga y la bocana del Río Cuyabeno llamada “La Isla de los Pájaros” donde llegan cientos de turistas a admirar la diversidad de aves como hoatzines, garzas, cormoranes, vencejos, y la presencia de delfines rosados de los varios lodges que prestan servicios turísticos (Boada, 2009). En Laguna Grande existe una corriente principal que le cruza por la mitad, se sabe de su existencia ya que las canoas son arrastradas en sentido oeste-este cuando el motor fuera de borda se encuentra apagado. Ocasionalmente se puede observar manatíes y nutrias gigantes, particularmente en aguas altas donde la laguna alcanza los 6 metros de profundidad.



Figura 2. Laguna Grande de Cuyabeno

2.3 Laguna Canangüeno

Canangüeno es una laguna de aproximadamente 1,4 km² de superficie (Figura 2), conectada al Río Cuyabeno, se asienta a una altitud de 220 m.s.n.m, declarada como zona de conservación por su flora y fauna tanto acuática como terrestre. Está prohibido el acceso a turistas y se requiere un permiso emitido por el Ministerio del Ambiente para realizar cualquier tipo de investigación. La vegetación de ribera se caracteriza por bosque inundable y palma. La presencia de *Macrobium acaciifolium* es mucho más alta que en Laguna Grande, los mismos que dan hogar a cientos de especies de aves, entre las más representativas se encuentran el Hoatzin (*Opisthocomus hoazin*), la garza tigre (*Tigrisoma lineatum*) entre otras, además de caimanes (*Melanosuchus niger*) y mamíferos los cuales habitan esta laguna. Muy poco profunda, de aguas negras y muy conocida por su mitología en comunidades cercanas (Boada, 2009).



Figura 3. Laguna Canangüeno

2.4 Laguna Mateococha

Mateococha (214 m.s.n.m y 0,2 km² de superficie) también llamada “cocha larga” es una laguna de aguas negras (Figura 3) con acceso turístico casi nulo, ornitólogos hacen recorridos por el sector ya que por ausencia de ruido es más fácil el avistamiento de especies de aves, tales como garzas, tucanes, guacamayos, trogones, entre otros. El pequeño pero profundo afluente que alimenta esta laguna proviene de la zona norte de la Reserva Cuyabeno, éste afluente trae consigo diversidad de peces entre ellos el Paiche (*Arapaima gigas*), el mismo que se registró durante la fase de muestreo en campo. No existieron avistamientos de reptiles ni mamíferos, pero si gran variedad de aves (Boada, 2009).



Figura 4. Laguna Mateococha

2.5 Vegetación del lugar

En la RPFC se pueden observar cinco formaciones vegetales:

1. Bosque siempreverde de tierras bajas: exhibe tres estratos de vegetación (dosel, subdosel, y sotobosque), no existe dominancia de ninguna especie de planta en particular.

2. Bosque siempreverde de tierras bajas inundable por aguas blancas (várzea): se encuentra a lo largo de los ríos Aguarico y San Miguel y en las crecidas se inundan por varios días. Las especies más importantes pertenecen a las Familias *Rubiaceae*, *Moraceae* y *Arecaceae*.

3. Bosque siempreverde de tierras bajas inundable por aguas negras (igapó): son áreas relativamente planas cubiertas por árboles de 25 metros. Las redes hidrográficas más representativas de estos bosques son los ríos Cuyabeno, Lagarto, Zancudo y Sábalo con sus respectivos complejos de lagunas y riberas. Presenta una alta diversidad de plantas como las orquídeas, heliconias y bromelias.

4. Bosque inundable de palmas de tierras bajas (bosque de pantano): bosques de superficie plana con suelos de mal drenaje, su vegetación está dominada por el morete (*Mauritia flexuosa*). (Rivadeneira, 2007). Terneus (2007) reporta cuatro formas de vida:

las plantas enraizadas flotantes, que dominan (43% de las especies), las enraizadas emergentes (32%), las flotantes libres (14%) y las enraizadas sumergidas (11%).

Valencia *et al.* (2000) registra un total de 47 especies endémicas de flora, agrupadas en 19 familias. Entre las especies que sobresalen están: Chambira (*Astrocaryum urostachys*), Punta lanza (*Columnnea tenensis*) y 10 especies pertenecientes a la Familia Orchidaceae tales como: *Eltroplectris rosii*, *Maxillaria neilli*, *Palmorchis imuyaensis*, entre otras.

2.6 Vegetación Acuática

Terneus (2007) reporta 17 familias y 28 especies de plantas acuáticas para el sistema lacustre-riberino Lagartococha, sistema lacustre similar al de Cuyabeno. La mayoría de especies son plantas con flores. Dentro de los tipos de vegetación, los gramalotes están dominados en su mayoría por vegetación emergente de Poaceae y Cyperaceae [*Hymenachne aplexicaulis* (Rudge) Nees, *Paspalum repens* Bergius, *Panicum mertensii* Roth (Poaceae); *Luziola subintegra* Swallen y *Cyperus virens* Michx. (Cyperaceae)] (Terneus, 2007).

La vegetación de ribera se encuentra conformada por cerca de quince especies, en su mayoría libre flotadora y enraizada sumergidas; gran parte de la vegetación acuática ocupa aguas poco profundas (<2,5 m), y se encuentran creciendo a las orillas de la mayoría de lagunas (Terneus, 2007).

2.7 Fauna del lugar

La RPFC posee una alta variedad de microhábitats lo cual promueve el establecimiento de una gran diversidad de fauna. Se estima que existen alrededor de 1320 especies, de las cuales 165 son mamíferos, siendo los más abundantes los murciélagos; 493 aves, de las cuales 17 son consideradas como amenazadas, 31 son raras y 3 son muy raras; 96 anfibios, 91 reptiles y 475 de peces (Rivadeneira, 2007).

La ictiofauna de la RPFC es rica y diversa por la gran cantidad de recursos hídricos, pero toda esta riqueza se ve influenciada de forma negativa por la presencia de especies introducidas como la tilapia (*Oreochromis* spp.) y por la contaminación de las aguas. (Rivadeneira, 2007).

Las especies mejor representadas son las pirañas (*Serrasalmus* spp.), Paco (*Colossoma macropomum*) y Sabaletas (*Brycon* sp.) (Rivadeneira, 2007).

2.8 Estacionalidad

Los patrones estacionales de la región amazónica siempre se mantuvieron marcados por meses, Azansa (1985) indica que la época seca iba de fines de diciembre a marzo, la época lluviosa de abril a julio y la época de fluctuación de agosto a mediados de diciembre; mientras que de la Torre *et al.* (2003) publican que los meses de abril a noviembre tienden a ser los meses más húmedos, mientras que diciembre y enero es la época más seca.

Utreras (1996) señala que el ciclo anual de estas épocas o estaciones no se cumplen con rigurosidad año a año, ya que varían en intensidad y en ocasiones pueden pasar prácticamente desapercibidas, como sucedió en diciembre de 1992 e inicios de 1993, donde no se presentó la esperada época seca.

Los muestreos se llevaron a cabo en dos períodos hidrológicos distintos: “época lluviosa” (septiembre 2014) y finales de la “época seca” (abril 2015). Por las irregularidades hidrológicas que se presentan cada año, se mantendrá el uso de la terminología: aguas altas y aguas bajas para cada muestreo.

2.9 Ubicación de los puntos de muestreo

Se establecieron tres puntos en cada laguna, los cuales fueron muestreados durante aguas altas y aguas bajas. Los puntos de muestreo de las lagunas se establecieron en base a la corriente de entrada, salida de agua y el centro de cada laguna. Cada punto se identificó como Punto Entrada, Medio y Salida en cada laguna.

2.10 Datos de campo

Para los datos de campo se diseñó una ficha (Anexo 5) en la que se consignó la información referente a la posición del punto de muestreo, factores abióticos y estratificación de la columna de agua.

2.11 Procedimiento de muestreo

En cada punto de muestreo se recopilaron datos bióticos y abióticos de la columna de agua (Figura 5). Todas las muestras se recolectaron desde una canoa y en cada punto se realizaron muestreos estratificados con una Botella Van Dorn (Figura 6), la cual tiene una capacidad de dos litros. La muestra es recogida de forma horizontal a diferentes profundidades de la columna de agua. La estratificación se da en base a la visibilidad que se tiene a lo largo de la columna de agua, con la ayuda de un Disco Secchi se determinó y se dividió en tres partes la zona fótica. Se filtraron los dos litros de la Botella Van Dorn de cada estrato de muestra utilizando una red de fitoplancton de 60 micras, a la cual se encontraba adaptado un frasco extraíble de 250 ml. para el almacenamiento y preservación de la muestra en formalina al 4% (Figura 7).

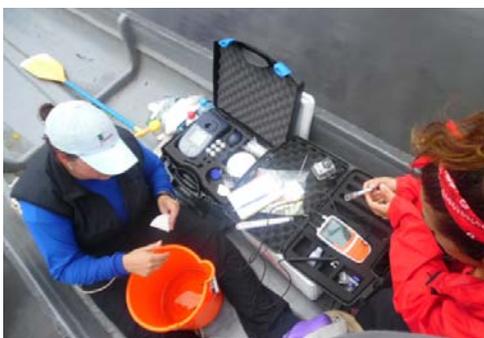


Figura 5. Obtención de factores abióticos de cada punto de muestreo.

Para el registro de color y turbidez se utilizó un espectrofotómetro (Marca YSI/Modelo 9300 Eco Sense) y se realizaron muestras compuestas de toda la columna

de agua (muestra de fondo, muestra de superficie y muestra de la mitad de la columna de agua).

Los datos físico químicos que se obtuvieron fueron temperatura, saturación y concentración de oxígeno, sólidos totales disueltos y conductividad; los mismos fueron medidos con un multiparámetros marca Lab-Din (Medidor portátil Modelo LI900P-CN).



Figura 6. Recolección de muestras con botella Van Dorn.



Figura 7. Proceso de filtración de las muestras colectadas con la botella Van Dorn a través de una red de fitoplancton.

2.12 Análisis de laboratorio

La identificación de fitoplancton se realizó en el laboratorio de la Universidad Internacional del Ecuador (UIDE). Se procesaron 36 muestras de 250 ml, 18 para aguas altas y 18 para aguas bajas. Para el respectivo conteo de fitoplancton se utilizó un microscopio marca Olympus CX21FS1 y una cámara de Neubauer en donde se colocaron dos gotas previamente centrifugadas (K-Centrífuge PLC SERIES) (10 mL de la muestra completa).

Para obtener el estimado del número total de individuos y géneros por muestra, se promedió los resultados de las dos gotas, luego de obtener al menos tres réplicas de cada muestra; finalmente este resultado se extrapola de la siguiente manera:

$$N: \frac{\#de\ individuos\ por\ género \times 12\ gotas\ (1\ ml)}{2\ gotas} \times 250\ ml\ (muestra\ total)$$

En Ecuador no existe mucha información, tampoco bases de datos de las especies de fitoplancton de agua dulce en la Amazonía, por lo que se usaron recursos externos para la caracterización de los géneros, tales como claves para la identificación de algas de agua dulce en otros países como la descrita por Bellinger y Sigeo (2010), colección de diatomeas de los Estados Unidos (2016), Phytoplankton Identification Catalogue (2001), colección de algas de agua dulce y estuarinas, departamento de Ciencias Biológicas de la Universidad de New Hampshire (2013), Instituto de estudio de agua dulce, Western Washington University (2015), Guía de identificación de algas microscópicas de agua dulce del Sur de África (2006).

2.13 Análisis de datos

Para entender los patrones de distribución de fitoplancton y su interacción con las variables abióticas entre las tres lagunas se utilizó el análisis de correlaciones múltiples de Pearson y la Distancia euclidiana; para el análisis de los factores bióticos (las similitudes y diferencias en la estructura y composición del fitoplancton de las tres lagunas), se utilizaron los siguientes índices: índice de tolerancia a la contaminación

de Palmer, índice de similitud de Steinhaus (Bray-Curtis) y el índice de Shannon-Wiener. El Análisis Canónico de Correspondencias (ACC) identifica la interacción de las variables abióticas con las bióticas, por lo que ayudará a determinar qué variables son importantes de acuerdo con la época y cómo estas afectan la presencia y distribución de las comunidades fitoplanctónicas.

2.13.1 Análisis de factores abióticos:

- Análisis de correlaciones múltiples (Pearson): se utiliza para abordar variables por categorías, en este caso se utilizará para las variables abióticas, la prueba confronta las variables para determinar qué valor de correlación comprendido entre -1 y 1 existe entre las variables (Addinsoft, 2004) y cuáles de ellas expresan mejor la variación de los resultados.

- Distancia euclidiana: calcula la distancia entre dos puntos dentro de un espacio multidimensional (Hill y Lewicki, 2006), para esta caracterización se toman en cuenta únicamente los parámetros abióticos de acuerdo a los puntos donde se tomaron las muestras y así se determina las similitudes abióticas entre los diferentes sitios. La distancia euclidiana aumenta conforme la disimilitud de las variables lo hacen, además su valor también depende de la escala de cada variable; por lo tanto, estas deben estar estandarizadas (Addinsoft, 2004).

2.13.2 Análisis de factores bióticos:

- Índice de tolerancia a contaminación orgánica de Palmer: En 1969, Palmer determinó 20 géneros como los más tolerantes a contaminación orgánica (Tabla 2). Llegó a esta conclusión luego de analizar 165 reportes de varios autores comparando los géneros que mayor tolerancia presentaron en todos estos estudios y les asignó un índice de tolerancia basado en su ocurrencia (Taylor *et al.*, 1979). Estos índices se suman y de acuerdo al valor total se determina qué tanta carga orgánica hay en un sitio, Palmer determinó que un valor superior a 20, como total de la suma de los índices, es un indicador de alta carga orgánica, un resultado

entre 15 y 19 se toma como evidencia probable de alta contaminación orgánica y valores inferiores pueden indicar poca carga orgánica, muestra no representativa o que ciertos factores están influenciando sobre la presencia de fitoplancton (Taylor *et al.*, 1979).

Tabla 2. Valores para el cálculo del Índice de Palmer

Género	Valor
<i>Euglena</i> y <i>Oscillatoria</i>	5
<i>Chlamydomonas</i> y <i>Scenedesmus</i>	4
<i>Chlorella</i> , <i>Navicula</i> y <i>Nitzschia</i>	3
<i>Ankistrodesmus</i> , <i>Phacus</i> , <i>Stigeoclonium</i> y <i>Synedra</i>	2
<i>Aphanocapsa</i> , <i>Closterium</i> , <i>Cyclotella</i> , <i>Gomphonema</i> , <i>Lepocynclis</i> , <i>Aulacoseira</i> , <i>Micractinium</i> , <i>Pandorina</i> y <i>Phormidium</i>	1

(Fuente: Roldán, 2008)

- o Índice de disimilitud de Steinhaus (Bray-Curtis): Se usa para determinar similitudes entre sitios en términos de abundancia, principalmente cuando la presencia de organismos es significativa (Goslee y Urban, 2007). Es de mucha utilidad cuando se manejan datos con diferentes valores de abundancia para cada especie, de esta manera se pueden determinar las similitudes entre puntos de muestreo con relación a su estructura a través de un valor que va de 0 a 1 (Yoshioka, 2008).
- o Índice de Shannon – Wiener: este índice toma en cuenta los dos componentes de la diversidad: número de especies y equitatividad o uniformidad de la distribución del número de individuos de cada especie; de acuerdo con esto, un mayor número de especies incrementará la diversidad y, además, una mayor uniformidad también lo hará. La uniformidad de la distribución para una comunidad puede medirse comparando la diversidad observada en esta con la diversidad máxima posible para una comunidad hipotética con el mismo número de especies (Franco, 2011). El valor del índice va de entre 0,5 a 5, el valor normal del índice está entre 2 y 3; valores inferiores a 2 se consideran bajos en diversidad y superiores a 3 son altos en diversidad de especies (Roldán y Ramírez, 2008).

2.13.3 Análisis Canónico de Correspondencias - ACC

- El análisis canónico de correspondencias es ampliamente utilizado en ecología acuática. Está diseñado para identificar qué variables abióticas presentes en un ecosistema determinado afectan la composición y estructura de una comunidad. Además, muestra los gradientes en donde se encuentran los organismos en dicho ecosistema, es decir, los nichos que ocupan de acuerdo a las condiciones ambientales que requieren (ter Braak y Verdonschot, 1995). Se utilizó el programa estadístico XLSTAT Premiun (Copyright © 2015 Addinsoft) para efectuar todos los análisis antes descritos, con distintos factores determinados por la estratificación y la interacción de las variables abióticas con las bióticas. Todos estos valores se manejan por época para establecer las diferencias en cada período estacional.

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

La RPFC se encuentra dentro del Bosque Húmedo Tropical. Estos bosques son conocidos por poseer el mayor número de especies vivientes, aunque las razones para tan alta diversidad son ecológicamente complicadas (Vitt y Zani, 1996), presenta una asociación compleja de muchas especies que tienen más afinidad con las especies de flora correspondientes a la Cuenca del Amazonas (Boada, 2009).

El ecosistema amazónico forma parte de un refugio del pleistoceno, estos refugios se formaron durante los cambios climáticos drásticos que tuvieron lugar en el período cuaternario. En este período hubo una alteración entre climas secos y húmedos, en los que las selvas amazónicas crecían o se encogían. En los períodos secos, se formaron islas de vegetación que sirvieron de refugio de especies de flora y fauna, y que constituyeron centros de formación de nuevas especies. Por lo tanto, en estos refugios, emergieron especies nuevas y endémicas que poco a poco repoblaron la cuenca del Amazonas (Rodríguez, 1998).

La mayor parte de la cuenca amazónica está ocupada por el bosque lluvioso de tierra firme. Pero con la llegada de las lluvias, todo cambia. El agua invade ciertas áreas de bosque cuando las lluvias aumentan y se retiran durante los meses de mengua (bosques inundables). La presencia del agua durante buena parte del año hace que la vegetación y las relaciones ecológicas de estos bosques sean totalmente diferentes a las que presenciemos en el bosque de tierra firme. En general, los bosques lluviosos de la Amazonía están considerados como uno de los ecosistemas más biodiversos del mundo (García *et al.*, 2014).

La verdadera riqueza de este ecosistema no está en el suelo si no en la capa vegetal, ésta es muy delgada pues mide pocos centímetros de espesor; sin embargo, en ella se encuentra un increíble ejército de seres que procesan constantemente todo pedazo de materia orgánica que cae al suelo del bosque. De la misma manera, la inundación estacional en determinadas áreas es una perturbación que condiciona la vida. Las aguas de color negro que inundan muchas de las planicies amazónicas deben esta coloración

y apariencia al alto contenido de taninos, producto de la descomposición de materia vegetal. La acidez de las aguas de Igapó y su carencia de oxígeno disuelto presentan un ambiente hostil para las especies vegetales, por lo que estas han desarrollado características especiales para sobrevivir, como raíces aéreas parecidas a las de los manglares y tejidos con células especiales en la corteza de los troncos y de las raíces (García *et al.*, 2014).

3.1 Interacción del fitoplancton con variables abióticas

La estabilidad y productividad de la vida en un lago están determinadas por una red compleja de factores que van desde la penetración de la luz, su origen geológico, su morfología y su posición latitudinal, hasta el efecto que el hombre ejerce sobre el a causa de las prácticas culturales que realiza en su área de influencia (Roldán y Ramírez, 2008).

Los sistemas lénticos permiten la precipitación de sólidos suspendidos que arrastran grandes concentraciones de fósforo. En la precipitación del fósforo hacia los sedimentos intervienen elementos tales como el aluminio, los sulfatos, el hierro (en condiciones ácidas) y el calcio (en condiciones básicas). También participan compuestos orgánicos y arcillas, así como las características de óxido - reducción del sistema (Ramírez y Viña, 1998).

De esta manera los ambientes de aguas estancadas tienden a enriquecerse con nutrientes, en especial en las aguas de fondo. Este tipo de sistemas presentan las condiciones apropiadas para que se desarrollen comunidades planctónicas y de plantas acuáticas enraizadas y flotantes, lo cual atrae una abundante ictiofauna, componente que es relevante tanto a nivel ecológico como económico (Ramírez y Viña, 1998). Circunstancias tales como una baja turbidez permiten el paso de la luz en la columna de agua, lo que favorece el desarrollo del fitoplancton en la zona fótica de estos sistemas acuáticos.

La importancia del fitoplancton es incuestionable, la producción primaria planctónica proporciona la base sobre la cual las cadenas alimentarias acuáticas se basan; además

generan alrededor del 70% del suministro de oxígeno atmosférico del mundo (Reynolds, 1984).

Los efectos ecológicos de la luz y la temperatura sobre la fotosíntesis y el crecimiento de las algas son inseparables, debido a las interrelaciones entre metabolismo y saturación de luz. El crecimiento de las algas y las tasas de fotosíntesis están directamente relacionados con la intensidad cuantitativa de la luz (Wetzel, 1981).

3.2 Dinámica espacial del fitoplancton

La primordial característica de las comunidades fitoplanctónicas es la coexistencia simultánea de numerosas poblaciones de especies en un mismo hábitat lacustre. Cada especie tiene un nicho basado en sus necesidades fisiológicas en relación con las variaciones de los factores del hábitat (Wetzel, 1981).

Las ventajas competitivas óptimas de una especie sobre otra son relativas en períodos muy dinámicos de las condiciones físicas y biológicas. Lo cual no permite el crecimiento extraordinario que cabría esperar (Wetzel, 1981).

El análisis de las características del desarrollo estacional y espacial de las algas fitoplanctónicas debe enmarcarse en una serie dinámica de interacciones entre los parámetros ambientales y las características fisiológicas de los organismos. Es obligado un estudio detallado de los factores interaccionantes que regulan el crecimiento y la sucesión, en particular de la luz, la temperatura, los mecanismos que permiten a los organismos mantenerse dentro de la zona fótica ante alteraciones de las tasas de sedimentación, los nutrientes inorgánicos, los micronutrientes orgánicos y las interacciones entre compuestos orgánicos y nutrientes inorgánicos disponibles y los factores biológicos de competencia por los recursos disponibles requeridos y la depredación por otros organismos (Wetzel, 1981).

La distribución vertical de la productividad fitoplanctónica es determinada principalmente por la intensidad de la radiación luminosa, la disponibilidad de nutrientes, la transparencia y la mezcla (Esteves, 1998). Los lagos tropicales de

moderada profundidad presentan una gran inestabilidad diaria (Esteves, 1988), producto de la interacción entre el comportamiento térmico y el efecto de la energía externa producida por el viento, que conlleva a una reorganización periódica de las variables físicas y químicas del sistema en el eje vertical (Gavilán-Díaz, 1990).

Esto afecta la distribución vertical del fitoplancton, ya que las diferentes especies ocupan ciertas profundidades de la columna de agua, de acuerdo con la temperatura, la intensidad de luz, y el oxígeno disuelto entre otros factores físicos, químicos y biológicos (Erkan *et al.*, 2000).

Los ritmos diarios de la distribución y desplazamiento vertical se conocen como “migración vertical diaria” (MVD), observada frecuentemente en los diferentes grupos fitoplanctónicos y en múltiples ecosistemas acuáticos (Bo-Ping y Straskraba, 2001). Existen numerosas investigaciones que la documentan y establecen diversas causas, como acumulación de energía (Sekino y Yamamura, 1999), disponibilidad y calidad del alimento (Sterner y Schwalbach, 2001) y evasión a la depredación por peces (Zaret y Suffern, 1976) e invertebrados (Neill, 1990). Sin embargo, las últimas investigaciones señalan que los cambios en la intensidad lumínica son el principal inductor de las variaciones en la disposición vertical y que factores adicionales modifican la intensidad de la respuesta (Ringelberg y Van Gool, 2003).

Es evidente que las variaciones en la disposición vertical de los organismos a nivel de ecosistema son impredecibles desde el punto de vista de la actividad y de la selección individual (Margalef, 1983), ya que son producto de respuestas fisiológicas específicas a las fluctuaciones de los factores bióticos y abióticos que se presentan en cada sistema (Ranta y Nuutinen, 1985), los cuales son particulares para cada laguna y están determinados por las características morfológicas, topográficas y latitudinales (Ramírez y Díaz, 1995).

3.3 Composición y estructura del fitoplancton

El fitoplancton se clasifica según su tamaño en macroplancton que mide más de 2mm, mesoplancton que mide entre 200 micrómetros y 2 mm, microplancton que mide de 20 a 200 micrómetros, nanoplancton que está entre 2 y 20 micrómetros y picoplancton que mide menos de 2 micrómetros (Reynolds, 1997).

Las algas planctónicas o microalgas de la columna de agua son las principales responsables de sintetizar materia orgánica en ambientes acuáticos. Son organismos suspendidos en el agua que, como producto secundario de la fotosíntesis, también generan oxígeno. Absorben nutrientes disueltos de varias fuentes y son autótrofas. Las microalgas son las principales contribuyentes a la producción de biomasa en los estuarios, océanos, lagos y embalses (Bellinger y Sigeo, 2010).

El fitoplancton y las macrófitas constituyen los principales componentes autótrofos presentes en los sistemas lénticos (Tabla 3). Así, los diferentes compuestos inorgánicos y los iones disueltos en el agua son captados por estas comunidades y convertidos en materia orgánica, la cual va a constituir la base de casi todas las comunidades presentes en todo el cuerpo de agua (Ramírez y Viña, 1998).

Tabla 3. Grupos de algas que predominan en los cuerpos de agua dulce tropicales (Ramírez & Viña, 1998):

Chrysophyta:	Algas coloniales, unicelulares y flageladas. La literatura las asocia con ambientes oligotróficos.
Bacillariophyta:	Son diatomeas, que presentan diversas formas y tamaños; la mayoría están asociadas con el perifiton y en consecuencia cuando se presentan en el plancton son señal inequívoca de muestras tomadas en aguas de alta turbulencia.
Xanthophyta:	Conocidas también como algas verde-amarillas, se presentan en formas unicelulares, son coloniales o filamentosas. A veces flageladas, aunque tienden a agruparse en colonias de filamentos simples o ramificados.

Pyrrhophyta:	Son dinoflageladas; las especies pertenecientes a este grupo se encuentran cubiertas por placas de celulosa con prolongaciones llamativas; presentan flagelos, lo cual incide positivamente en su capacidad de movimiento.
Chlorophyta:	Son llamadas algas verdes por su “intenso brillo en los cloroplastos”; se pueden encontrar tanto formas coloniales como unicelulares. Miden entre 5 micrones y 1 milímetro y pueden ser móviles o inmóviles. Los estudios realizados las asocian con sistemas eutróficos.
Cyanophyta o algas verde-azules:	Debido a la ausencia de una membrana nuclear definida se consideran cianobacterias, que es la denominación más aceptada actualmente. Presentan desde formas coloniales hasta unicelulares. Algunas de estas especies fijan nitrógeno de la atmósfera, por lo cual muchos autores las asocian con aguas que presentan déficit de nitrógeno y alto contenido de fósforo.
Cryptophyta:	Son biflageladas, unicelulares y bastante comunes e importantes por sus hábitos mixotróficos; en zonas templadas son muy importantes en épocas de invierno.
Euglenophyta:	Morfológicamente pueden ser desnudas o lorigadas, flageladas y sus células son generalmente pequeñas. Además, se consideran como indicadores de aguas ricas en materia orgánica en descomposición, que generalmente se presenta en sistemas eutróficos (Ramírez & Viña, 1998).

3.4 Dinámica hidrológica de los cuerpos de agua en la Amazonía

Los sistemas tropicales de agua dulce estacional son ecosistemas muy productivos. Su biomasa es importante para la conservación de numerosas especies vegetales y animales. Contribuyen al desarrollo sostenible de la zona al preservar una alta biodiversidad en flora y fauna silvestres, ofrecen protección contra erosión y favorecen la recarga de acuíferos subterráneos, la purificación del agua y la estabilización de las condiciones de lluvia y

temperaturas locales. Además, generan beneficios económicos como un hábitat rico para el crecimiento de peces y el impulso de opciones de recreación y turismo (UICN, 2002).

Las lagunas tropicales son especialmente susceptibles a la acumulación de materia orgánica en sedimentos y la escasez de oxígeno disuelto en la columna de agua, dada la baja solubilidad del oxígeno a temperatura elevada, situación común en este tipo de lagunas (Roldán y Ramírez, 2008).

En los lagos de regiones templadas, la zona de mezcla presenta un espesor bastante constante, perturbado únicamente por el avance de la estación fría, que disminuye la temperatura y aumenta la densidad de las capas superiores, produciendo como resultado la erosión de la termoclina y el consiguiente aumento de la zona de mezcla (Ramírez, 2015). Con respecto a los lagos tropicales y ecuatoriales se ha dicho que este mecanismo no es tan claro, y que el espesor de la zona de mezcla es muy variable (Beadle, 1974; Lewis, 1987).

Como se cita en Ramírez (2015), según varios autores (Talling, 1963; Beadle, 1974; Cole, 1983; Lewis, 1983; Lehmusluoto *et al.*, 1999; Umaña *et al.*, 1999; León-López *et al.*, 2012), los lagos ecuatoriales y tropicales presentan pequeñas diferencias verticales de temperatura, suficientes para generar una estratificación estable. Álvarez-Cobelas (1992) propone que un gradiente térmico de 0,3 °C es suficiente para el desarrollo de una estructura térmica estable.

En general, la profundidad de la mezcla del epilimnion está en función de la velocidad y la frecuencia media del viento. Se considera que un estrés de viento con una velocidad mayor de 3,5 m/s produce un flujo de energía cinética que genera turbulencia, la cual distribuye el flujo neto de calor a través de la capa mezclada hasta cuando disminuye la velocidad y alcanza el equilibrio (Ramírez, 2015).

Román *et al.*, (2013) realizaron un estudio en un embalse tropical colombiano en donde plantean que el aumento del caudal natural de los afluentes durante las épocas de lluvia y la ausencia de entrada de agua en estos períodos, disminuyen el gradiente térmico debido a la incursión de dichos afluentes, y a que, probablemente, el agua del

fondo es reemplazada por las aguas frías producto de las crecientes, favoreciendo así la mezcla vertical. La creciente, en términos de nivel de agua, es para estos autores la responsable de esos cambios verticales en la columna de agua de un embalse tropical.

Datos provenientes de lagos tropicales muestran que la mezcla causada únicamente por la convección es probablemente superficial. Lewis (1973) denominó a este patrón atelomixis (atelo = incompleto, mixis = mezcla), y lo describió como el calentamiento térmico diurno y el enfriamiento nocturno, lo cual produce variaciones diurnas de temperatura que pueden exceder las estacionales (anuales).

Tales variaciones térmicas y de densidad ocurren en toda la columna de agua, no solamente en el epilimnio, cuando las estratificaciones son estables con termoclinas primarias bien establecidas. En ese caso, la atelomixis se denomina parcial y puede considerarse un fenómeno común en lagos tropicales (Talling y Lemoalle, 1998; Barbosa y Padisák, 2002). Este es un fenómeno de importancia fundamental en la reorganización vertical de la estructura térmica y la densidad de los lagos y sus interacciones con la distribución vertical del fitoplancton y los nutrientes (Tundisi y Matsumura-Tundisi, 2008).

3.5 La físico-química de agua en ecosistemas acuáticos

Factores abióticos, bajo este término se designan todos aquellos factores ambientales que influyen en la estabilidad y productividad de los ecosistemas acuáticos (Roldán y Ramírez, 2008), los cuales tienen una relación directa con la composición físico-química del agua.

El efecto abiótico más importante de la absorción de la luz en el agua es el calentamiento y, el efecto biótico más importante es la fotosíntesis (Roldán y Ramírez, 2008). La físico-química de agua en ecosistemas acuáticos depende de varios factores abióticos, los cuales son indispensables para saber la calidad de agua y las variaciones que tienen dependiendo del componente biótico.

El pH por ejemplo, es importante debido a que el fitoplancton necesita de ciertas condiciones para vivir, muchas especies toleran solamente ciertos rangos de pH mientras otras pueden soportar extremos, debido a que este parámetro afecta directamente la producción de biomasa del fitoplancton ya que estas variaciones pueden alterar los nutrientes esenciales, cambiar la distribución de carbono en el agua y su disponibilidad además de ocasionar daños fisiológicos directos sobre los organismos si los cambios son extremos en relación a los niveles normales que cada especie requiere (Chen y Durbin, 1994).

Los cambios en el pH también pueden indicar el ingreso de fertilizantes, particularmente cuando se registran mediciones continuas junto con la conductividad del cuerpo de agua; también hay cambios de pH cuando existen procesos de eutrofización en el caso de que estén asociadas con los ciclos de fotosíntesis y respiración de las algas. (Pérez y Rodríguez, 2008). Valores mayores a 9.0 y menores de 5.8 producen limitaciones al desarrollo y a la fisiología de los organismos acuáticos (Chapman, 1996).

La conductividad, mide la cantidad total de iones presentes en el agua y es una de las variables que mejor discriminan la calidad de agua, entre los puntos de muestreo y su grado de protección hacia alteraciones antropogénicas (Primavesi *et al.*, 2002).

Los sólidos disueltos se refieren a las partículas disueltas y en ciertos casos suspendidas en una cantidad de agua. Estos pueden ser de origen orgánico e inorgánico. La importancia de este control en ecosistemas de agua dulce es porque permite identificar posibles problemas con la calidad de agua; sin embargo, no es un índice directo de contaminación, solamente funciona como un indicador de carga orgánica o inorgánica en el agua, lo cual puede ser parte de procesos naturales de la laguna (Alberta Environment, 2006).

3.6 El papel del oxígeno y la temperatura en los patrones de estratificación de agua

El oxígeno y el dióxido de carbono son los gases más importantes en el agua: el primero es producto de la fotosíntesis, y el segundo, de la respiración. Ambos son esenciales para que haya un adecuado balance en el metabolismo global del ecosistema. La concentración de oxígeno en el agua varía con la temperatura y la salinidad. El agua dulce alcanza saturaciones hasta de $14,0\text{mgL}^{-1}$ cuando la temperatura es 0°C . el oxígeno se difunde lentamente en el agua y si no fuera por los procesos de mezcla de las capas de agua superficiales y profundas, a causa del viento y los cambios de densidad, el oxígeno por debajo de la zona eufótica (fotosintética) sería cercano a cero (Roldán y Ramírez, 2008).

La temperatura determina la producción del fitoplancton en términos de biomasa de acuerdo al rango de adaptación de cada especie. Tiene una fuerte influencia sobre la tasa de reproducción de estos organismos debido a que actúa sobre los procesos enzimáticos y sobre la composición celular tanto en rangos de temperatura altos como bajos, es difícil determinar dichos rangos de manera general ya que la forma en que la temperatura influye sobre otros organismos es específica de cada especie (Goldman, 1977).

El oxígeno disuelto es también importante porque tiene una dinámica definida en la laguna ya que en la superficie se produce debido a la fotosíntesis mientras que el consumo se incrementa conforme la profundidad aumenta debido a que todos los organismos necesitan del elemento (Molina, 2013).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1 Comunidades fitoplanctónicas registradas en Laguna Grande, Mateococha y Canangüeno

Los tres cuerpos de agua mostraron diferente riqueza fitoplanctónica durante el muestreo de las dos épocas estacionales. Durante aguas altas en Mateococha se registraron 29 géneros, en Laguna Grande 40 géneros y en Canangüeno 35 géneros (Anexo 1); mientras que en aguas bajas se registró 5 géneros en Mateococha, 3 géneros en Laguna Grande y en Canangüeno 15 géneros y 3 morfotipos (Anexo 2). Se registró un total de 80 géneros para aguas altas, y 16 géneros identificados y 3 morfotipos para aguas bajas.

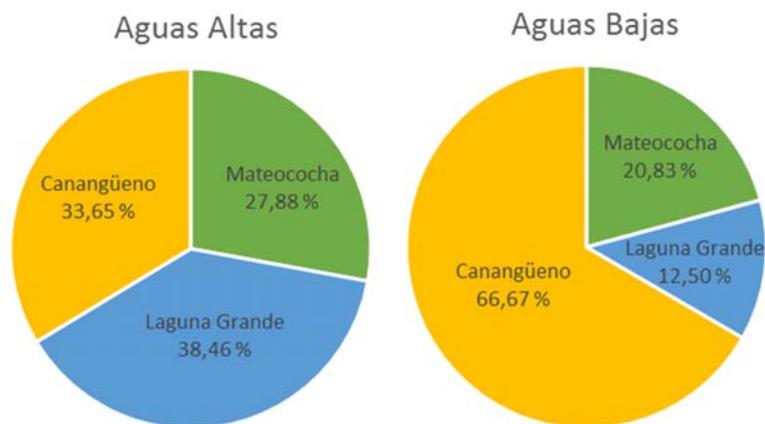


Figura 8. Porcentaje de géneros identificados en las lagunas muestreadas durante las dos épocas estacionales

Los órdenes más representativos en las tres lagunas durante aguas altas fueron: Chlorellales, Euglenales, Eunotiales, Melosirales y Pennales. Mientras que, en aguas bajas los más representativos fueron, el orden Chroococcales en Mateococha y Laguna Grande (ausente en Canangüeno), Peridiniales en Laguna Grande y Canangüeno (ausente en Mateococha) y Euglenales y el morfotipo 1 solamente en Canangüeno.

4.2 Análisis de las variables abióticas

4.2.1 Prueba de Correlación de Pearson

Se realizó la prueba de correlación de Pearson, para determinar el nivel de correlación existente entre las variables abióticas, y de esta manera seleccionar aquellas que por su valor estadístico expresen mejor la variación de los resultados (Tabla 4). La correlación entre variables abióticas marcó una correlación alta entre 8 de las 12 variables obtenidas en campo.

Las variables abióticas que presentaron altas correlaciones entre sí y las que fueron utilizadas para el análisis estadístico fueron: profundidad, pH, conductividad, sólidos totales disueltos, temperatura y concentración de oxígeno. Los registros de color y turbidez se descartaron ya que los mismos fueron muestras compuestas de toda la columna de agua. Además, se utilizaron los datos registrados de temperatura y concentración de oxígeno para graficar los patrones de estratificación.

Tabla 4. Correlación entre variables abióticas

	Altitud (msnm)	Disco Secchi (m)	Profundidad Total (m)	pH (unidades)	Conductividad (uS)	Sólidos Totales Disueltos (ppm)	Color (mg/l Pt)	Turbidez (FTU)	Temperatura (agua) (°C)	Oxígeno saturación (%)	Oxígeno concentración (mg/l)
Altitud (msnm)		0,60755	0,62119	0,7138	0,13446	0,17104	0,50814	0,43142	0,57305	0,052409	0,15223
Disco Secchi (m)	0,1299		0,0090579	0,95735	0,047597	0,067067	0,78211	0,61804	0,00040081	0,048921	0,038362
Profundidad Total (m)	0,125	0,59592		0,054241	0,0049412	0,0078844	0,50823	0,87523	0,0054491	0,0002438	0,019084
pH (unidades)	-0,0929	-0,013579	-0,46088		0,27668	0,32391	0,80253	0,53145	0,98444	0,055061	0,15031
Conductividad (uS)	0,3667	0,47268	0,63148	-0,27102		2,79E-17	0,80935	0,89521	0,023103	9,10E-05	0,14562
STD (ppm)	0,3373	0,44086	0,60443	-0,2466	0,99477		0,78981	0,92107	0,031456	0,0002333	0,19074
Color (mg/l Pt)	-0,1669	0,070143	-0,16682	-0,063439	-0,061207	-0,06761		3,50E-07	0,72977	0,93145	0,60285
Turbidez (FTU)	-0,1978	0,12611	-0,039855	-0,15791	0,033438	0,025159	0,90059		0,47975	0,66518	0,51291
Temperatura (°C)	-0,1424	-0,74392	-0,62601	-0,0049533	-0,53185	-0,50777	-0,08755	-0,17801		0,046442	0,068508
Oxígeno saturación (%)	-0,464	-0,47024	-0,76114	0,45949	-0,79154	-0,7626	0,021839	-0,10956	0,47486		0,0039793
Oxígeno concentración (mg/l)	-0,3518	-0,49138	-0,54596	0,35336	-0,3572	-0,32324	-0,13155	-0,16501	0,43879	0,64323	

*En amarillo se muestra la alta correlación existente entre variables abióticas seleccionadas para el análisis.

Los datos marcados en amarillo son los valores que mostraron tener una alta correlación entre sí, estas seis variables abióticas (pH, Sólidos Totales Disueltos, temperatura, concentración de oxígeno, conductividad y transparencia) son las que estadísticamente expresan la mayor variación de los resultados.

4.2.2 Distancia euclidiana

Se presentan los resultados del análisis de clasificación utilizando medidas de distancia euclidiana para cada época; manejando los nueve puntos de muestreo para cada laguna y las seis variables abióticas representativas para los analisis (transparencia, pH, conductividad, sólidos totales disueltos, temperatura del agua y concentración de oxígeno).

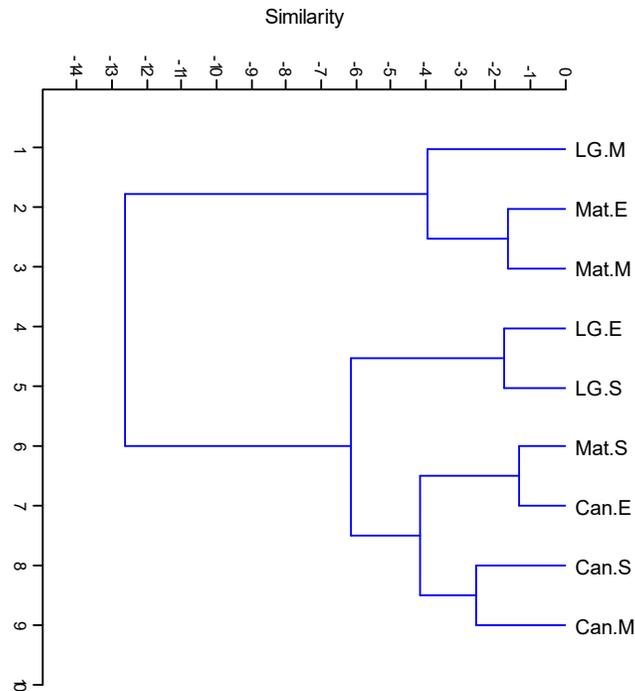


Figura 9. Análisis de conglomerados de los sitios muestreados en aguas altas; basado en los datos abióticos registrados (Anexo 3-4), utilizando medidas de distancia euclidiana.

En la Figura 9 se observan los patrones de aglomeración de las distintas lagunas en función de los patrones de similitud de las condiciones abióticas en aguas altas, la figura muestra la conformación de dos grupos distintos entre si (LG.E, LG.S, Mat.S, Can.E, Can.S y Can.M) y un tercero similar al primero (LG.M Mat.E, Mat.M).

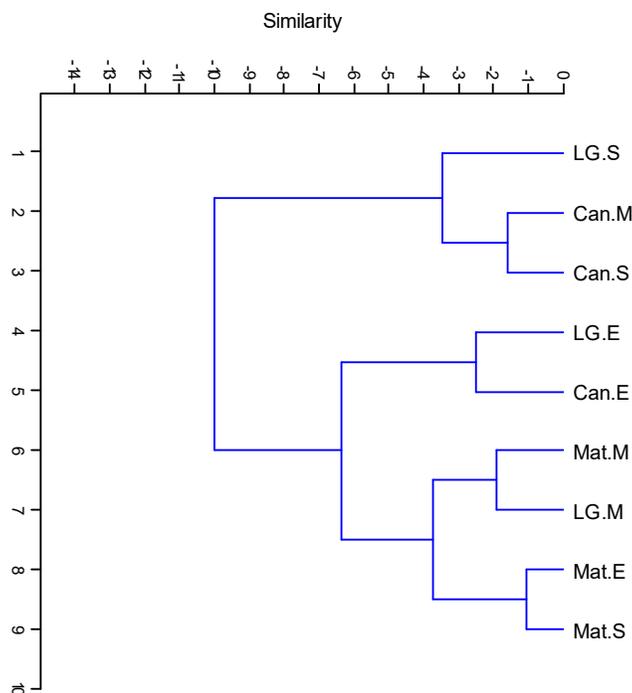


Figura 10. Análisis de conglomerados de los sitios muestreados en aguas bajas; basado en los datos abióticos registrados (Anexo 3-4), utilizando medidas de distancia euclidiana.

Durante la época de aguas bajas se mantienen dos agrupaciones, pero los sitios muestreados se agrupan diferente que en la época de aguas altas (Figura 10). El primer grupo por (LG.S, Can.M, Can.S) y la segunda agrupación por (Mat.E, Mat.M, Mat.S y LG.M).

4.3 Análisis de factores bióticos

4.3.1. Índice de tolerancia a contaminación orgánica de Palmer

Para el análisis de los niveles de carga orgánica se utilizó el índice de tolerancia a contaminación orgánica de Palmer en función de los patrones de riqueza de las especies fitoplanctónicas (Taylor *et al.*, 1979). Este determina, de acuerdo a la suma de los valores de tolerancia asignados a cada género, si un sitio presenta contaminación orgánica. Se aplicó el índice de Palmer a las tres lagunas muestreadas (Mateococha, Laguna Grande y Canangüeno).

Tabla 5. Suma total de los valores asignados por Palmer (IP) a los géneros de fitoplancton sensibles a la carga orgánica, con los datos bióticos acumulados de las dos épocas estacionales en Mateococha, Laguna Grande y Canangüeno.

Géneros	Mateococha	Laguna Grande	Canangüeno
<i>Aphanocapsa</i>	1	-	-
<i>Chlorella</i>	3	3	3
<i>Closterium</i>	-	1	1
<i>Cyclotella</i>	-	1	-
<i>Eudorina</i>	-	1	1
<i>Euglena</i>	-	5	5
<i>Lepocinclis</i>	1	1	1
<i>Melosira</i>	1	1	1
<i>Navicula</i>	3	3	3
<i>Nitzschia</i>	3	3	3
<i>Phacus</i>	-	-	2
<i>Scenedesmus</i>	-	-	4
<i>Synedra</i>	2	2	2
TOTAL (IP)	14	21	26

IP>20: Alta contaminación orgánica

IP entre 15 y 19: Probable contaminación orgánica (media a alta)

IP<15: No hay indicio de contaminación orgánica

(-) No existe presencia de estos géneros en las lagunas muestreadas

La laguna de Mateococha (14) indica que no hay indicio de contaminación orgánica; mientras que, si el OPI (Índice de Polución Orgánica) da un valor de 20 o mayor, se considera que existe una alta contaminación orgánica, como en Laguna Grande (21) y Canangueno (26) (Tabla 5).

4.3.2 Índice similitud de Steinhaus (Bray-Curtis)

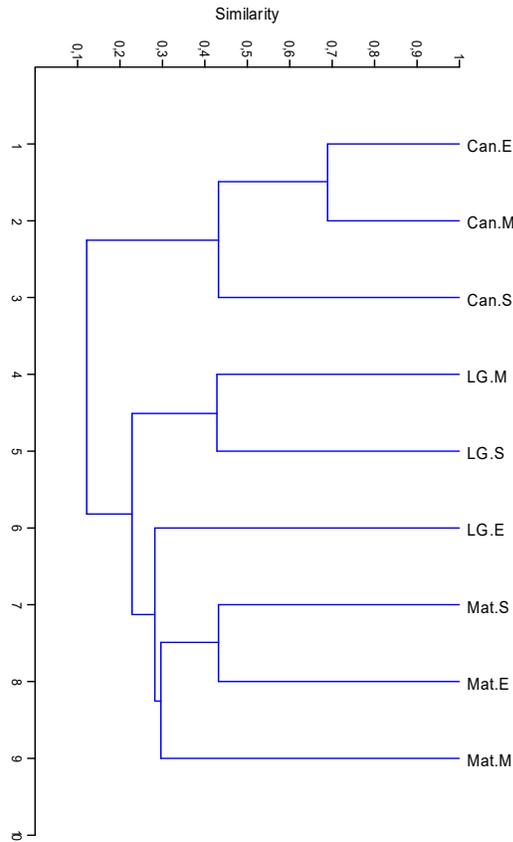


Figura 11. Análisis de conglomerados de los sitios muestreados en aguas altas; basado en las abundancias de fitoplancton registradas por puntos de muestreo (Anexo 1), utilizando el índice de similitud de Steinhaus.

La Figura 11 muestra dos agrupaciones marcadas para la época de aguas altas, la más grande comprende (LG.M, LG.S, LG.E, Mat.S, Mat.E y Mat.M) y la otra agrupación comprende la laguna de Canangueno (Can.E, Can.M y Can.S) de los cuales Can.E y Can.M son los sitios más similares del conglomerado.

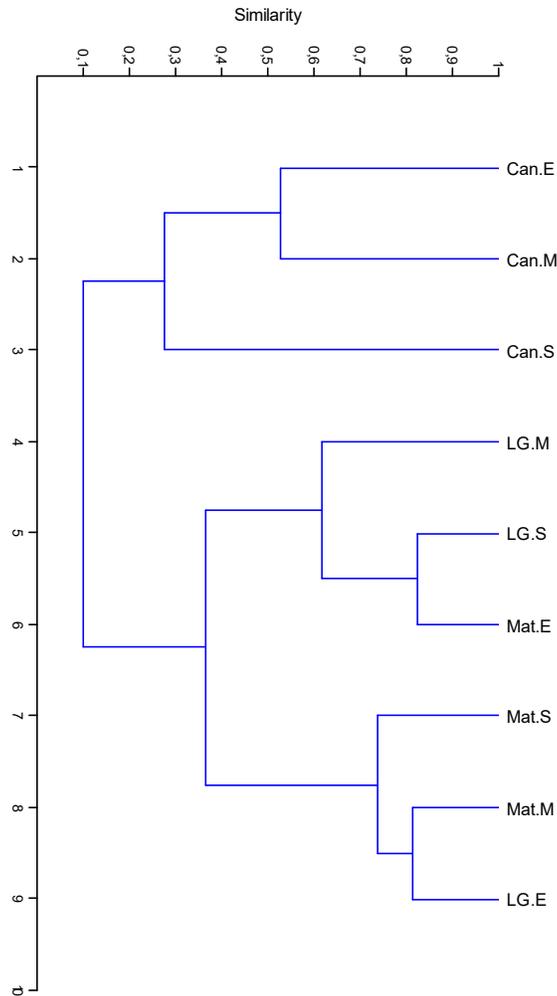


Figura 12. Análisis de conglomerados de los sitios muestreados en aguas bajas; basado en las abundancias registradas por puntos de muestreo (Anexo 2), utilizando el índice de similitud de Steinhaus.

La Figura 12 muestra dos agrupaciones marcadas para la época de aguas bajas, la primera comprende la laguna de Canangüeno (Can.E, Can.M y Can.S), mientras que la otra agrupación del conglomerado agrupa a (LG.M, LG.S, Mat.E, Mat.S, Mat.M y LG.E).

4.3.3 Índice de Shannon Wiener

Los puntos muestreados durante la época de aguas altas indica un índice de 2,88; mientras que los puntos muestreados durante la época de aguas bajas muestra un valor

de 1,89 que indica que la diversidad es baja según el Índice de Shannon-Wiener; estos resultados muestran valores en base al número de especies encontradas en los lugares muestreados y a la uniformidad, mientras más especies se registran en un sitio, el valor del índice será mayor. Por lo tanto, es importante tener en cuenta que estos valores dependen mucho de la influencia de las variables abióticas en el ecosistema.

4.4 Patrones de abundancia de los órdenes fitoplanctónicos encontrados durante las dos épocas estacionales (Aguas Altas – Aguas Bajas) en cada laguna muestreada

La Figura 13 muestra los órdenes presentes en la laguna de Mateococha durante aguas altas (10 órdenes) y aguas bajas (5 órdenes); se puede observar que en la época de aguas altas existe una mayor presencia de órdenes fitoplanctónicos como el orden Pennales y Melosirales; mientras que en aguas bajas el único orden que sobresale de los otros es Chroococcales, el cual en aguas altas no se encuentra presente. En cuanto al rango de temperatura, Mateococha mantiene una temperatura poco variable entre 24,7°C y 27,2°C en ambas épocas estacionales.

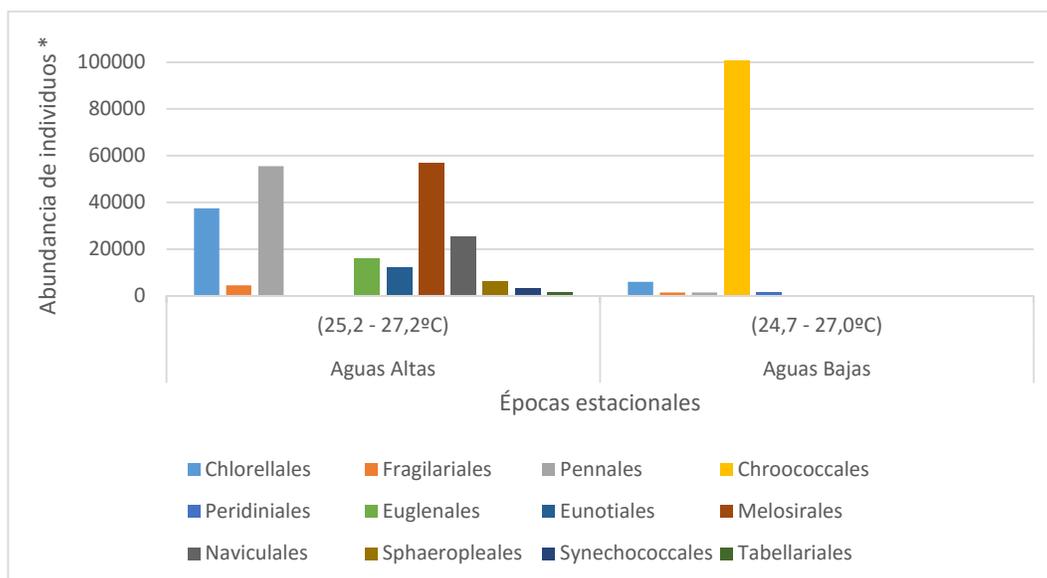


Figura 13. Órdenes de Fitoplancton presentes en la laguna de Mateococha durante las dos épocas estacionales.

* Las abundancias de cada orden indican las muestras obtenidas en los tres puntos de muestreo, los mismos que tienen tres submuestras de 250 mL.

Los datos de la Figura 14 muestra los órdenes presentes en Laguna Grande; 13 órdenes para aguas altas y tres órdenes para aguas bajas. Se puede ver que solamente los órdenes Peridiniales y Melosirales se encuentran presentes en las dos épocas. Cabe recalcar que la época de aguas altas muestra un rango de temperatura de entre 25,4-25,8°C en donde existen más ordenes fitoplanctónicos, mientras que en aguas bajas donde solo hay presencia de tres órdenes.

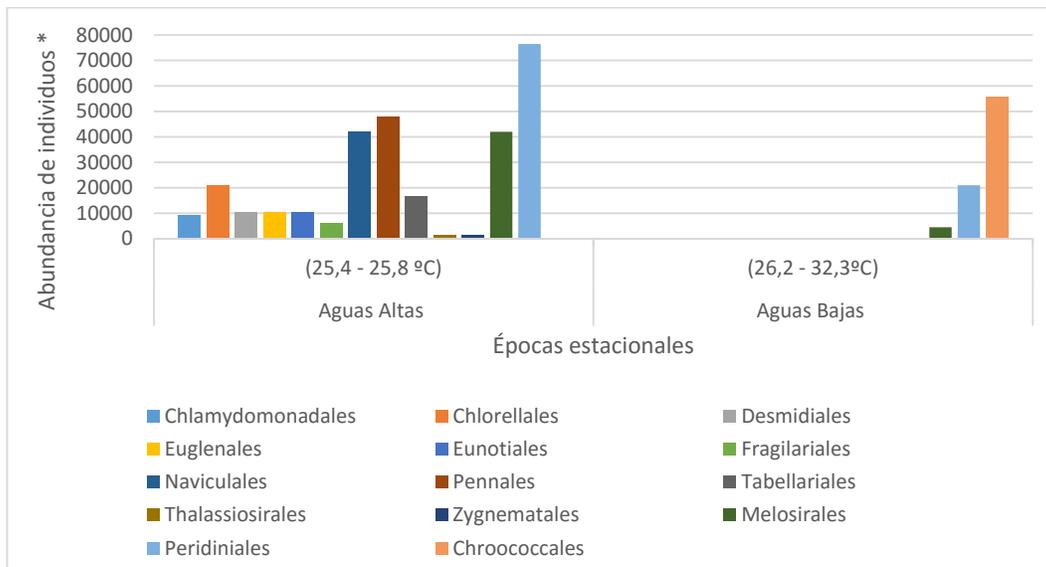


Figura 14. Órdenes de Fitoplancton presentes en la laguna Grande durante las dos épocas estacionales.

* Las abundancias de cada orden indican las muestras obtenidas en los tres puntos de muestreo, los mismos que tienen tres submuestras de 250 mL.

En la Figura 15, los órdenes Desmidiiales, Melosirales y Euglenales marcan la diferencia en abundancia en la época de aguas altas en la Laguna de Canangüeno, mientras que en la época de aguas bajas el orden Desmidiiales no está presente y solo hay presencia de seis órdenes. Los patrones de temperatura de la laguna de Canangüeno son totalmente diferente a las otras lagunas de muestreo, ésta, presenta una temperatura muy marcada para las dos diferentes épocas estacionales.

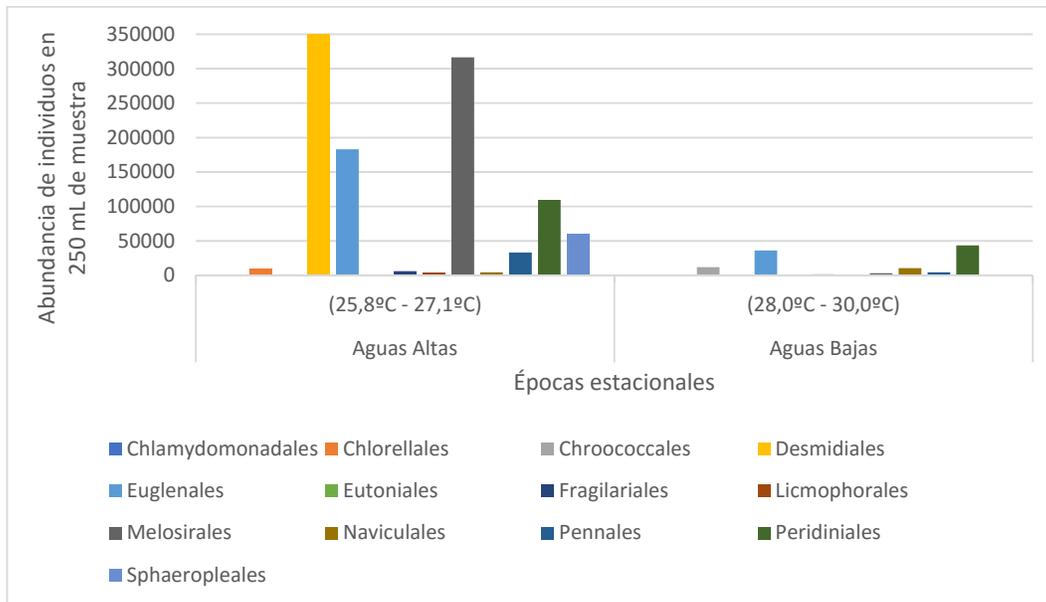


Figura 15. Órdenes de Fitoplancton presentes en la Laguna de Canangüeno durante las dos épocas estacionales.

* Las abundancias de cada orden indican las muestras obtenidas en los tres puntos de muestreo, los mismos que tienen tres submuestras de 250 mL.

4.5 Análisis Canónico de Correspondencias ACC

4.5.1 ACC en las tres lagunas muestreadas durante aguas altas.

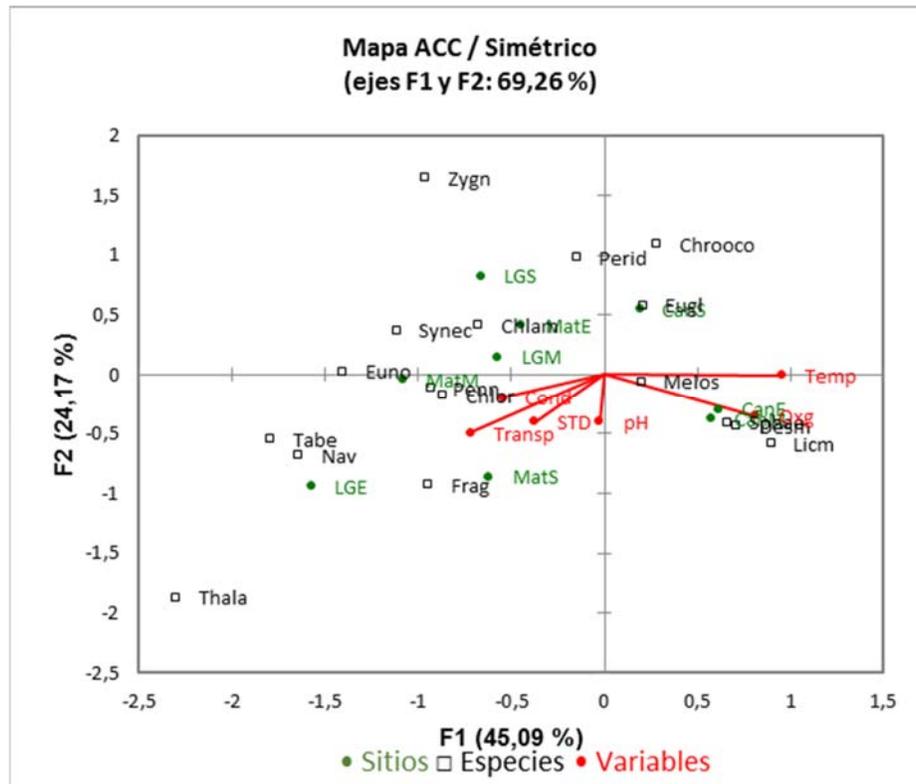


Figura 16. Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) generado para aguas altas por seis variables abióticas y 17 órdenes fitoplanctónicos.

Leyenda: Variables: pH, Temp (Temperatura del agua - °C), Transp (Transparencia del agua - Disco Secchi), O_{xg} (Concentración de oxígeno - ppm), STD (Sólidos disueltos totales - ppm) y Cond (Conductividad - μs).

Puntos de muestreo: MatE - MatM - MatS (Laguna de Mateococha: Entrada - Medio - Salida), LGE - LGM - LGS (Laguna Grande: Entrada - Medio - Salida) CanE - CanM - CanS (Laguna de Canangüeno Entrada - Medio - Salida).

Órdenes: Chlam (Chlamydomonadales), Chlor (Chlorellales), Chrooco (Chroococcales), Desm (Desmidiáles), Eugl (Euglenales), Euno (Eunotiales), Frag (Fragilariales), Licm (Licmophorales), Melos (Melosirales), Nav (Naviculales), Penn (Pennales), Perid (Peridinales), Sphae (Sphaeropleales), Synecc (Synechococcales), Tabe (Tabellariales), Thala (Thalassiosirales) y Zygn (Zygnematales).

El análisis de correspondencia canónica (CCA) para aguas altas muestra una separación entre la laguna de Canangüeno con las otras dos lagunas, Mateococha y Laguna Grande. Esto se puede relacionar a la poca profundidad que posee la laguna de Canangüeno; por esta razón existe una relación directa de la temperatura y la variación de la concentración de oxígeno. Para aguas altas las variables más

representativas son la temperatura y la concentración de oxígeno; los órdenes relacionados con las variables abióticas son: Melosirales, Desmidiáles, Licmophorales, Sphaeropleales, Euglenales y Chroococcales, mostrando que estos géneros no se ven afectados por la transparencia, la conductividad, los sólidos totales disueltos y el pH; mientras que los órdenes Chlamydomonadales, Chlorellales, Eunotiales, Fragilariales, Naviculales, Pennales, Peridinales, Synechococcales, Tabellariales, Thalassiosirales y Zygnematales son independientes de la temperatura y del oxígeno del agua. Los puntos de muestreo entrada y salida de Laguna Grande y Matecocha tienen una distribución atípica ya que se encuentran ubicados al extremo uno del otro, mientras que los puntos de muestreo del medio están ubicados cercanamente.

4.5.2 ACC en las tres lagunas en aguas altas

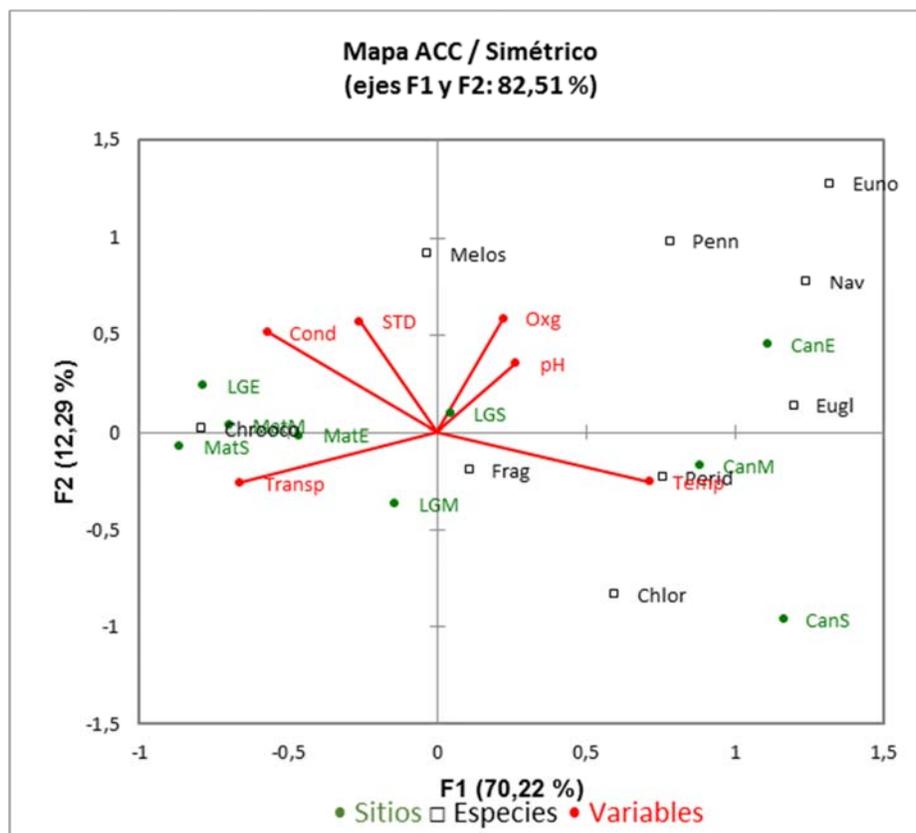


Figura 17. Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) generado para aguas bajas por seis variables abióticas y 17 órdenes fitoplanctónicos.

Leyenda: Variables: pH, Temp (Temperatura del agua - °C), Transp (Transparencia del agua - Disco Secchi), O_{xg} (Concentración de oxígeno - ppm), STD (Sólidos disueltos totales - ppm) y Cond (Conductividad - μs).

Puntos de muestreo: MatE - MatM - MatS (Laguna de Mateococha: Entrada - Medio - Salida), LGE – LGM -LGS (Laguna Grande: Entrada - Medio - Salida) CanE – CanM-CanS (Laguna de Canangüeno Entrada – Medio - Salida).

Órdenes: Chlor (Chlorellales), Chrooco (Chroococcales), Eugl (Euglenales), Euno (Eunotiales), Frag (Fragilariales), Melos (Melosirales), Nav (Naviculales), Penn (Pennales) y Perid (Peridiniales).

El análisis de correspondencia canónica (CCA) para aguas bajas muestra, una vez más que la laguna de Canangüeno es distinta a laguna Grande y Mateococha. En aguas bajas las variables abióticas tienen una mayor representatividad en el CCA, la temperatura por ejemplo tiene más influencia sobre el fitoplancton de Canangüeno, quizá por su bajo nivel de profundidad demostrado por algunos grupos afines a esta condición como: Chlorellales, Peridiniales y Fragilariales Figura 17; mientras que los órdenes Euglenales, Naviculales, Pennales, Eunotiales, y Melosirales muestran mayor dependencia por las variaciones en la concentración de oxígeno y el pH del agua con el punto entrada de la laguna de Canangüeno y el punto salida de Laguna Grande.

4.6 Patrones de estratificación térmica y concentración de oxígeno de las lagunas muestreadas en aguas altas

Los valores mínimos y máximos que se muestran en la Tabla 6 y las figuras 20-37, fueron obtenidos de forma independiente en cada laguna de estudio.

Tabla 6. Valores máximos y mínimos registrados durante el estudio en aguas altas

Valores máximos y mínimos	Temperatura (°T)	Concentración de oxígeno (ppm)
Laguna Grande	25 – 32,2 °C	1,83 – 9,6 ppm
Canangüeno	25,6 – 30 °C	3 – 8,9 ppm
Mateococha	20,3 – 27,2 °C	1,98 – 6,05 ppm

Cada figura muestra los patrones de variación térmica (línea azul) y la variación de la concentración de oxígeno (línea verde) con respecto a la profundidad de cada punto

de muestreo, en los sitios de entrada, medio y salida de cada laguna. La profundidad máxima de las lagunas en aguas altas fue de 5,80 metros, además cabe indicar que la temperatura de estas lagunas amazónicas en aguas altas no muestra una marcada estratificación térmica, por lo que el epilimnion, hipolimnion y termoclina no se encuentran bien definidos ya que existe un gran recambio en el cuerpo de agua y la temperatura se mantiene casi constante en toda la columna de agua.

Con base a los resultados obtenidos, las lagunas en estudio son lagunas polimícticas cálidas. Roldán y Ramírez (2008) mantienen que las variaciones anuales de temperatura de lagos polimícticos son muy pequeñas, y el calentamiento diurno seguido del rápido enfriamiento nocturno, conjugado a veces con el viento, rompen fácilmente la débil estratificación que se forma por períodos cortos.

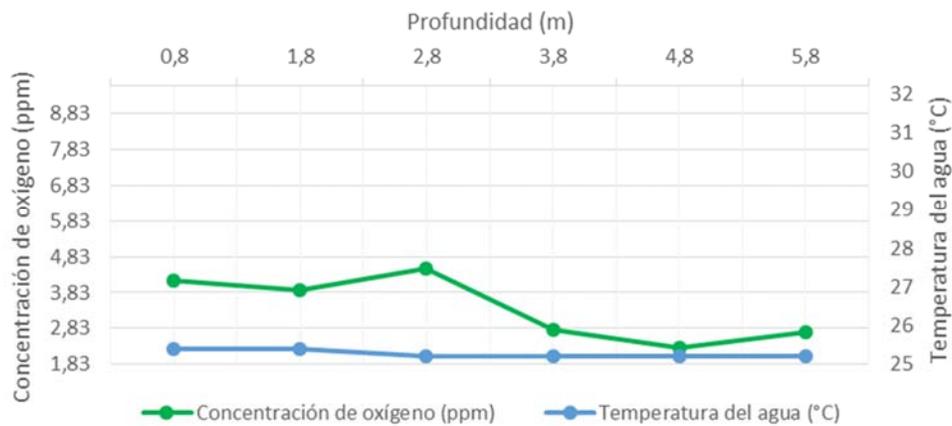


Figura 18. Dinámica térmica y concentración de oxígeno en el punto entrada de Laguna Grande durante aguas altas.

La Figura 18 muestra la concentración de oxígeno en el punto entrada tiende a decrecer desde los 2,8 metros de profundidad. Sin embargo, a partir de los 5 metros de profundidad el oxígeno vuelve a incrementarse, mientras la variación de temperatura se mantiene bastante regular a lo largo del gradiente de profundidad.

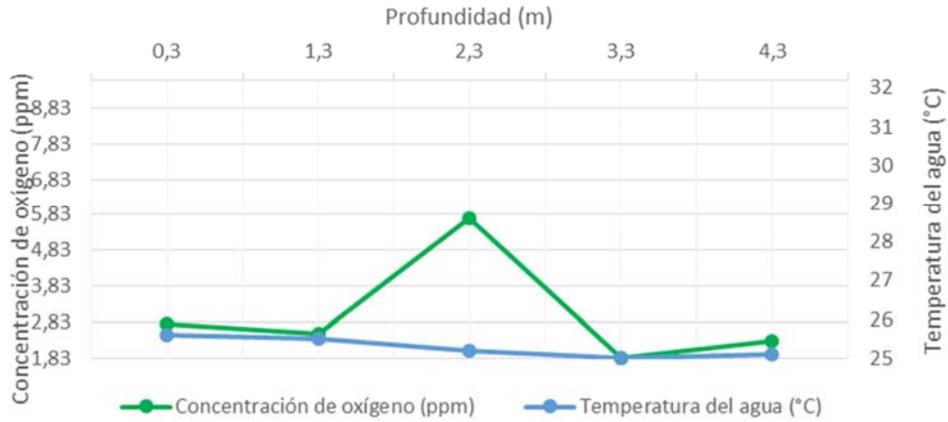


Figura 19. Dinámica térmica y concentración de oxígeno en el punto medio de Laguna Grande durante aguas altas.

La Figura 19 modela el punto medio donde la temperatura mantiene su valor al igual que en el punto entrada, mientras que la concentración de oxígeno se dispara de 2,50 a 5,73 ppm entre 1,3 y 2,3 m de profundidad.

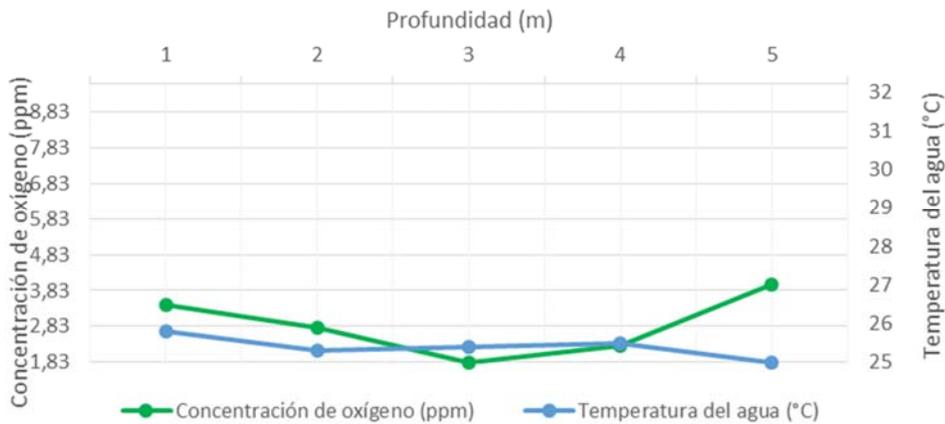


Figura 20. Dinámica térmica y concentración de oxígeno en el punto salida de Laguna Grande durante aguas altas.

La variación de temperatura en el punto salida de Laguna Grande durante aguas altas Figura 20 es mínima, oscila entre 25 y 26°C y se mantiene estable hasta la mayor profundidad donde se contempla el incremento de la concentración de oxígeno de 2,3 a 4 ppm.

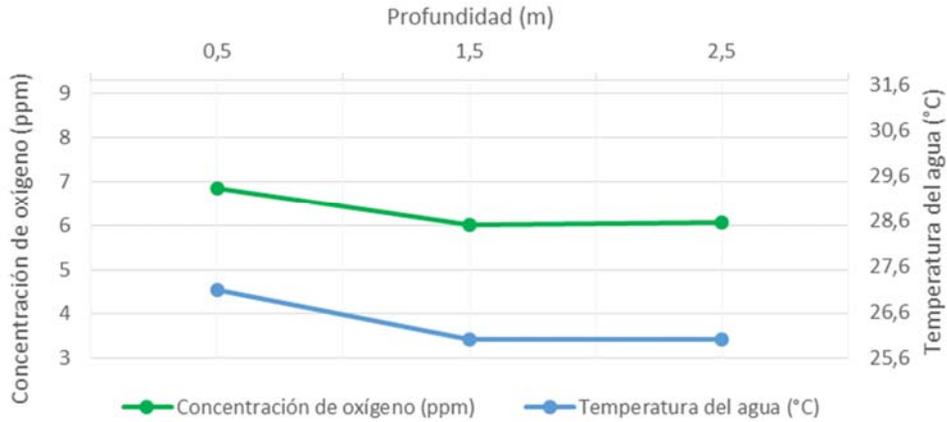


Figura 21. Dinámica térmica y concentración de oxígeno en el punto entrada de Canangüeno durante aguas altas.

Canangüeno es una laguna que alcanza los 3 m de profundidad total, por lo tanto, no existen patrones de estratificación térmica definidos, la temperatura del punto entrada se mantiene entre los 25,5 y 27°C (Figura 21); mientras que la concentración de oxígeno varía entre 6 y 7 ppm, lo que muestra un patrón de equilibrio entre las dos variables.

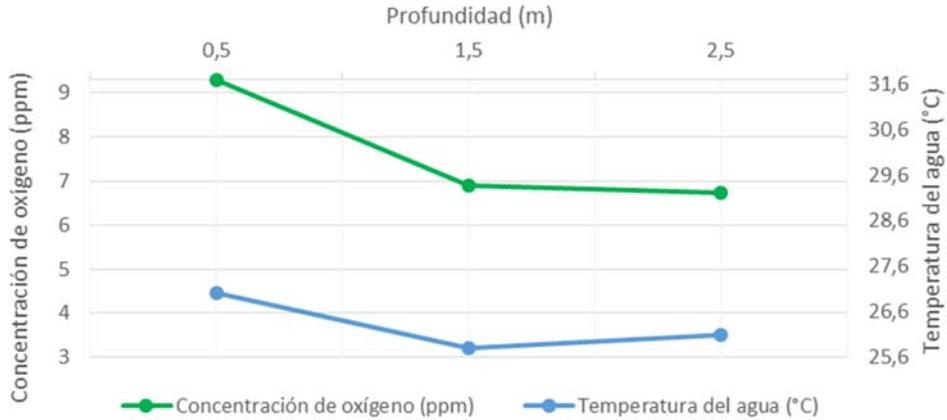


Figura 22. Dinámica térmica y concentración de oxígeno en el punto medio de Canangüeno durante aguas altas.

El punto medio de Canangüeno muestra una mayor concentración de oxígeno en la superficie, 9,3 ppm y baja hasta 6,8 ppm a una profundidad de 2,5 metros (Figura 22). Cabe indicar que la concentración de oxígeno en Canangüeno es mucho más alta que en las otras lagunas debido a la baja profundidad que esta laguna posee; no solamente se marcan diferencias en la concentración de oxígeno si no también en la temperatura del

agua. La temperatura apenas varía un grado centígrado a lo largo de todo el gradiente de profundidad.

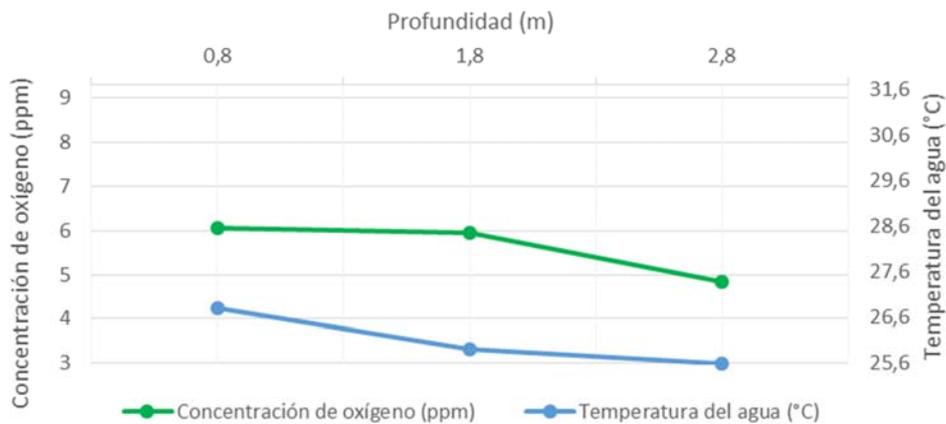


Figura 23. Dinámica térmica y concentración de oxígeno en el punto salida de Canangüeno durante aguas altas.

La temperatura del punto salida en Canangüeno varía de 26,8 a 25,6 °C entre 0,80 y 2,80 m (Figura 23), mientras que la concentración de oxígeno se mantiene en 6 ppm hasta 1,80 m de profundidad y disminuye a 4,84 ppm en la zona más profunda, 2,80 m.

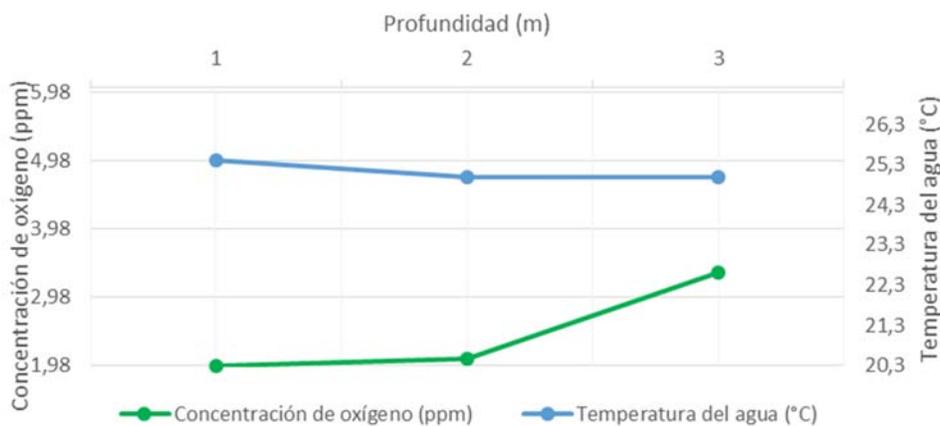


Figura 24. Dinámica térmica y concentración de oxígeno en el punto Entrada de Mateococha durante aguas altas.

En aguas altas en Mateococha el punto entrada mantiene uniforme su temperatura, mientras que la concentración de oxígeno incrementa desde los 2 a 3 m de 2,07 ppm a 3,35 ppm (Figura 24).

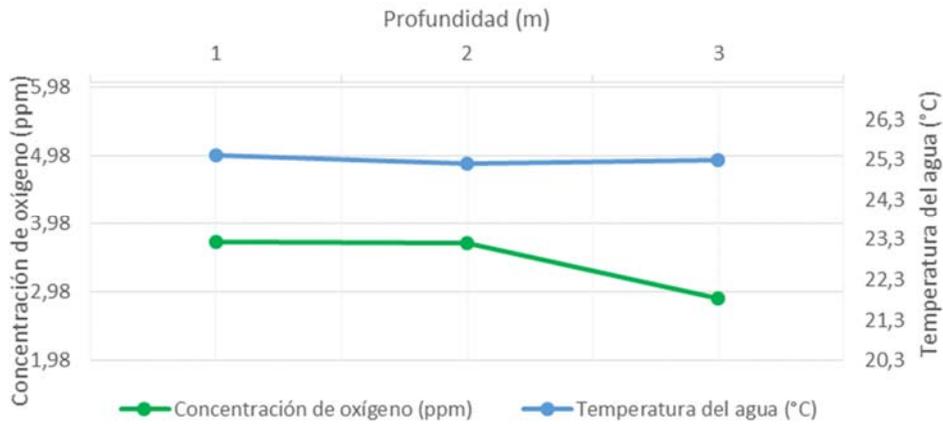


Figura 25. Dinámica térmica y concentración de oxígeno en el punto medio de Mateococha durante aguas altas.

En el punto medio la temperatura se mantiene entre 25,4 y 25,2 °C (Figura 25), mientras que la concentración de oxígeno disminuye de 3,70 a 2,89 ppm desde los 2 a 3 metros.

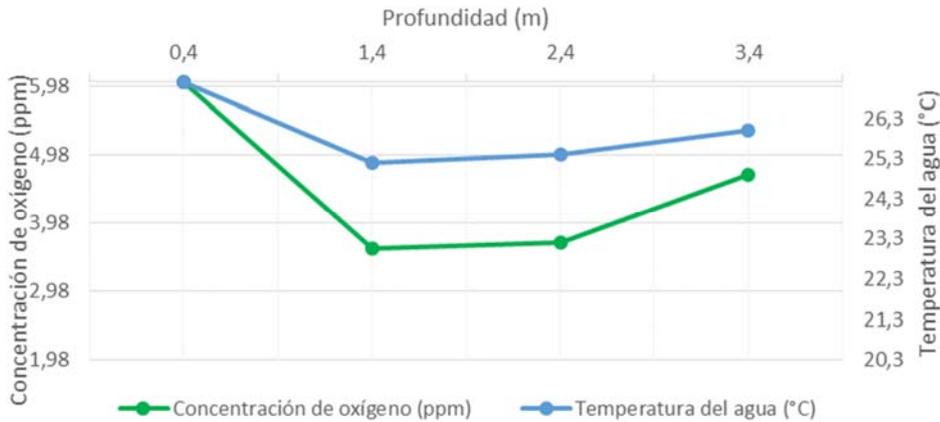


Figura 26. Dinámica térmica y concentración de oxígeno en el punto salida de Mateococha durante aguas altas.

El punto salida muestra un patrón muy diferente, la temperatura varía 2°C (de 27,2 a 25,2°C) (Figura 26) desde la superficie hasta 1,40 m de profundidad, mientras que la concentración de oxígeno presenta 6,05 ppm a 0,40 m y a 1,40 m disminuye a 3,60 ppm donde mantiene su valor hasta los 2,40 m y finalmente a los 3,4 m aumenta a 4,7 ppm.

4.7 Patrones de variación térmica y concentración de oxígeno en aguas bajas

Durante la época de aguas bajas en el área de estudio, la profundidad máxima registrada fue de tres metros, influyendo de sobremanera las variaciones de temperatura y la concentración de oxígeno en Laguna Grande y Canangüeno, mientras que Mateococha no presentó cambios considerables. Se han registrado épocas de aguas bajas en donde la Laguna Grande se ha secado por completo, planteando así la intriga de cuál es la dinámica que existe en aguas bajas. Las figuras de estratificación térmica y de concentración de oxígeno en aguas bajas presentan cambios en su estructura, identificando así en algunos casos las tres fases de estratificación de un cuerpo de agua: epilimnion, hipolimnion y termoclina.

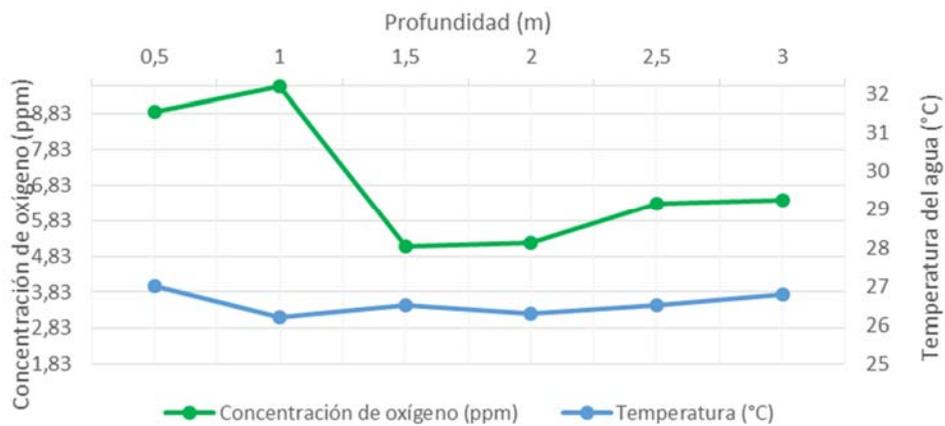


Figura 27. Dinámica térmica y concentración de oxígeno en el punto entrada de laguna Grande durante aguas bajas.

El punto entrada de la Laguna Grande muestra una variación en la concentración de oxígeno de 8,9 ppm en medio metro de profundidad a 9,6 ppm en un metro (Figura 27), mientras que, a una profundidad de metro y medio, la concentración de oxígeno disminuye a 5,1 ppm y vuelve a incrementar su concentración, pero en cambios más pequeños. La temperatura se mantiene constante entre 26 y 27°C.

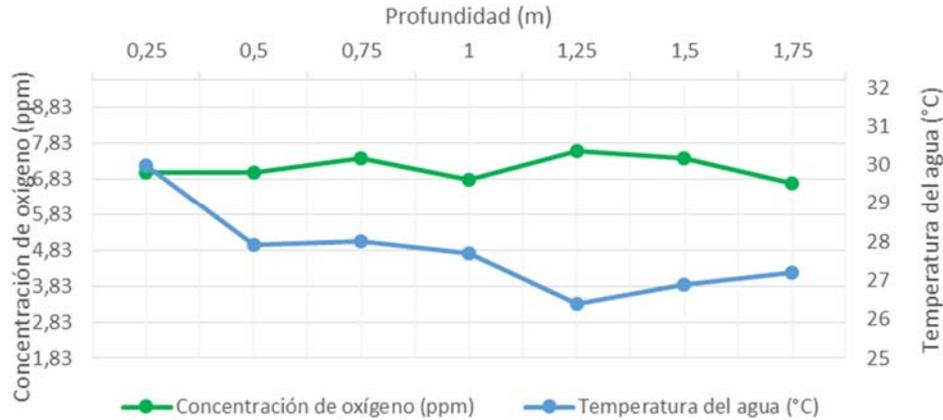


Figura 28. Dinámica térmica y concentración de oxígeno en el punto medio de laguna Grande durante aguas bajas.

En el punto medio de Laguna Grande es totalmente distinto, la concentración de oxígeno se mantiene constante entre 6 y 7 ppm (Figura 28) mientras que la temperatura marca un epilimnion de 30°C hasta 28°C (0,25-0,75 m), una termoclina de 28°C a 26,9°C (0,75-1,50 m) y un hipolimnion que va en aumento desde 26,9°C a 27,2°C.

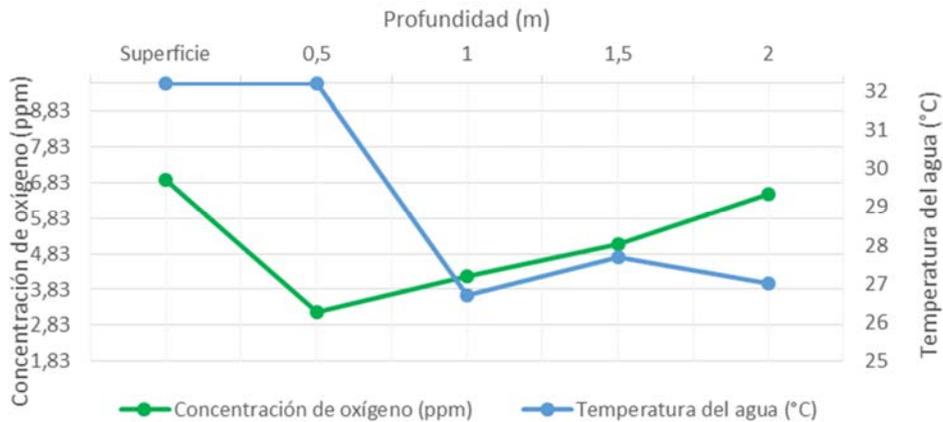


Figura 29. Dinámica térmica y concentración de oxígeno en el punto salida de laguna Grande durante aguas bajas.

El punto salida evidencia el cambio de temperatura y concentración de oxígeno que existe en la columna de agua, marcando así el epilimnion en la superficie con 32°C, la termoclina de 32,2°C a 26,7°C entre 0,5 y 1 m, y un “hipolimnion” no determinado que incrementa a 27,7°C a 1,5 m y desciende de nuevo a 27°C a los 2 m de profundidad (Figura 29).

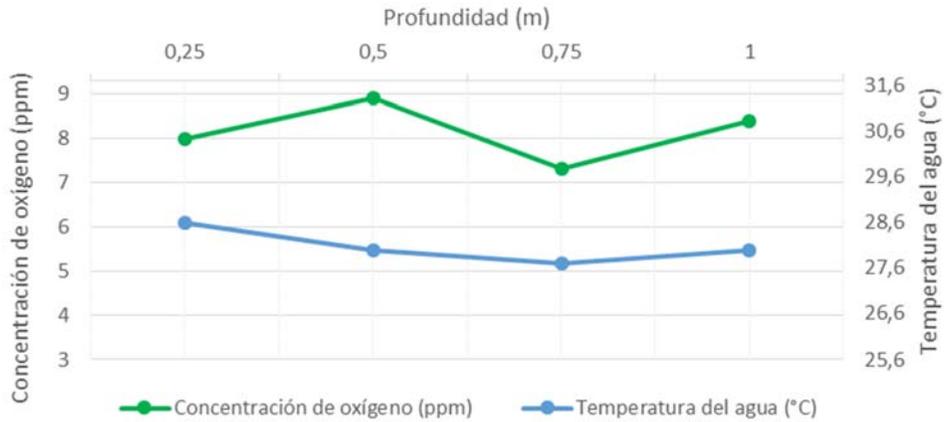


Figura 30. Dinámica térmica y concentración de oxígeno en el punto entrada de Canangüeno durante aguas bajas.

Canangüeno tiene una dinámica única en comparación con las otras lagunas en estudio, ésta siendo una laguna muy poco profunda (3 metros aproximadamente en su zona más profunda) con variación de tan solo 1 metro de profundidad entre aguas altas y aguas bajas, en el punto entrada mantiene un equilibrio de temperatura entre los 27,7°C y 28,6°C (Figura 30); mientras que las concentraciones de oxígeno presenta cambios irregulares entre 7,3 ppm y 8,9 ppm.

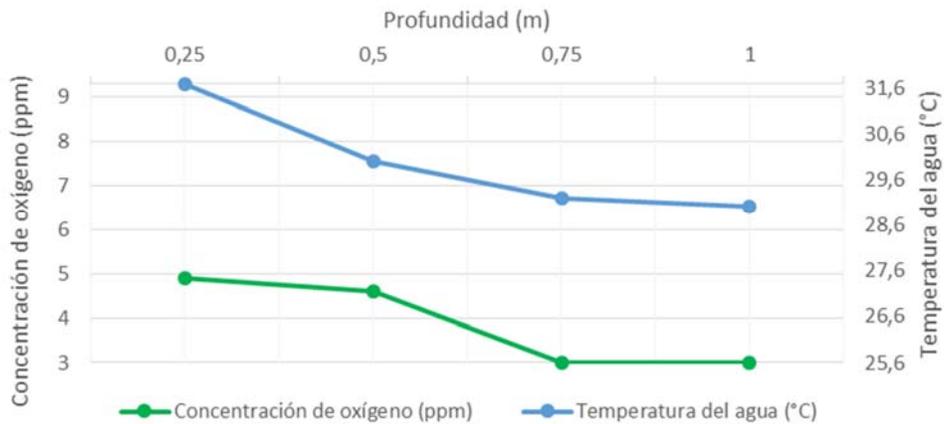


Figura 31. Dinámica térmica y concentración de oxígeno en el punto medio de Canangüeno durante aguas bajas.

La dinámica térmica en el punto medio desciende uniformemente desde los 31,6°C a los 29°C en la zona más profunda (1m) (Figura 31), mientras que la concentración

de oxígeno disminuye de 4,9 ppm a una profundidad de 0,25 m a 3 ppm a un metro de profundidad.

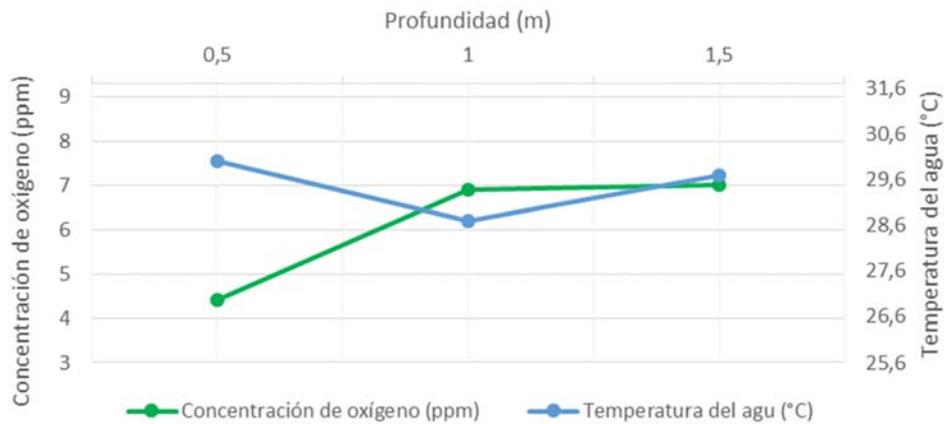


Figura 32. Dinámica térmica y concentración de oxígeno en el punto salida de Canangueno durante aguas bajas.

El punto salida muestra una estrecha dinámica entre la temperatura y la concentración de oxígeno, la temperatura marca los 30°C (0,5 m) (Figura 32) y desciende a los 28,6°C al metro de profundidad, mientras que en la zona más profunda (1,50 m) aumenta a 29,7°C. La concentración de oxígeno marca un incremento desde la superficie hasta la profundidad total (de 4,4 ppm a 7,0 ppm).

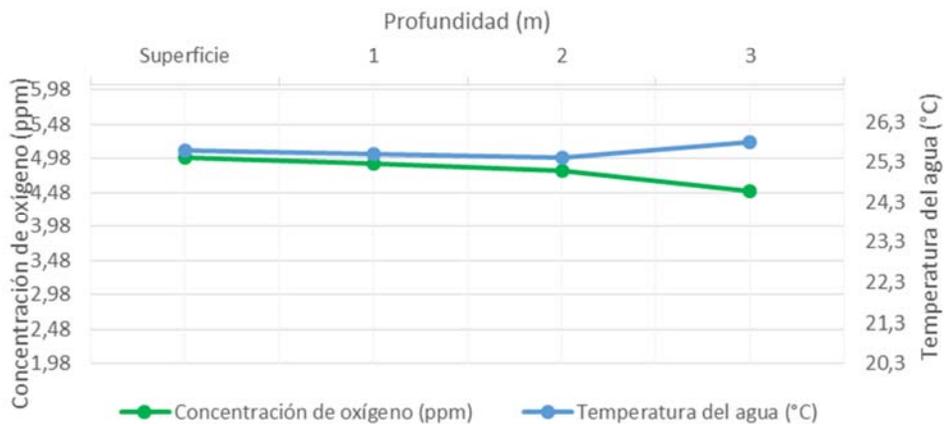


Figura 33. Dinámica térmica y concentración de oxígeno en el punto entrada de Mateococha durante aguas bajas.

El punto entrada de Mateococha muestra una temperatura mantenida entre los 25,4°C y los 25,8°C a lo largo de la columna de agua (3 m) (Figura 33), y la concentración de oxígeno varía muy poco (4,5 ppm a 5,0 ppm).

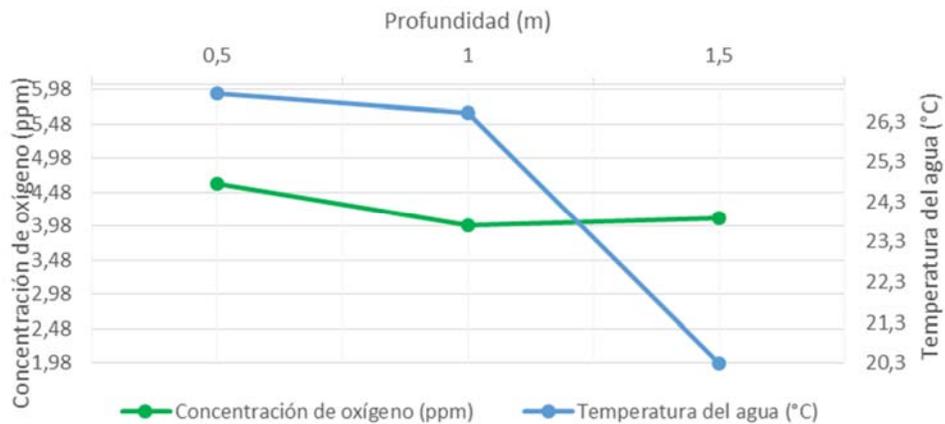


Figura 34. Dinámica térmica y concentración de oxígeno en el punto medio de Mateococha durante aguas bajas.

El punto medio marca un cambio abrupto de temperatura de 26,3°C (1 m) a 20,3 °C (1,5 m) (Figura 34) marcando así la termoclina con un cambio de 6°C y la concentración de oxígeno se mantiene relativamente igual en toda la columna de agua (4,6 ppm a 4,1 ppm).

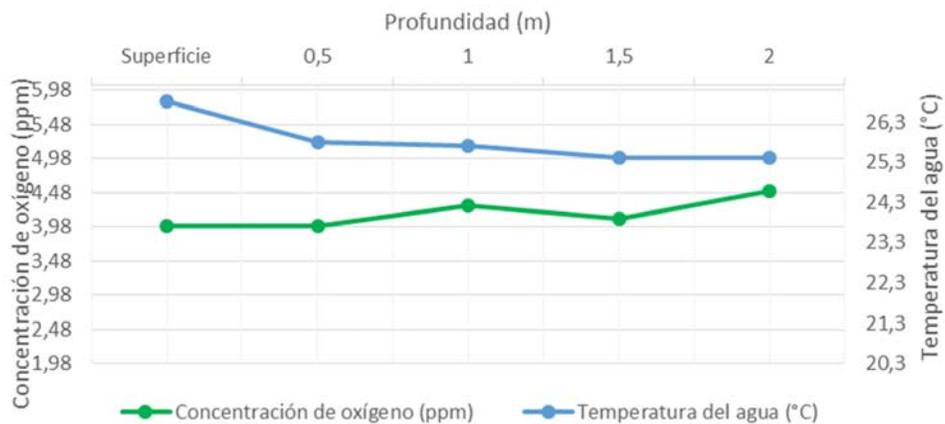


Figura 35. Dinámica térmica y concentración de oxígeno en el punto salida de Mateococha durante aguas bajas.

Mateococha marca una temperatura y concentración de oxígeno constante para el punto salida, su temperatura varía entre 25,4°C y 26,8°C (Figura 36), mientras que la concentración de oxígeno se mantiene entre 4 y 4,5 ppm.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN

5.1 Patrones de distribución y abundancia de comunidades fitoplanctónicas

Durante el muestreo de aguas altas se registraron 80 géneros, siendo los órdenes más representativos: Chlorellales, Euglenales, Eunotiales, Melosirales y Pennales. Mientras que, el muestreo de aguas bajas marcó un considerable descenso de géneros registrados (16 géneros identificados), siendo los siguientes órdenes los más representativos: Chroococcales, Euglenales y Peridinales, además de tres morfotipos que no pudieron ser identificados. La (Figura 10) muestra el porcentaje de grupos fitoplanctónicos en la Laguna de Canangüeno durante la época de aguas bajas (66,67%) por ser poco profunda los fuertes vientos mezclan el agua fácilmente lo que provoca una resuspensión de nutrientes hacia la superficie, contribuyendo al enriquecimiento de la laguna.

El estudio realizado por Passarinho *et al.* (2013) muestra resultados muy similares a los obtenidos para el presente estudio; la riqueza de las especies durante aguas bajas fue menor que en aguas altas y la riqueza de especies varió ampliamente durante los días de muestreo de aguas altas. El autor atribuye a la estratificación térmica la principal causa. Sin embargo, en el presente estudio se muestran muy pocas estratificaciones en los cuerpos de agua, pero si existe una gran disponibilidad de nutrientes causada por el pulso de inundación y en algunas ocasiones por el viento, elementos influyentes que sí podrían tener consecuencias sobre este fenómeno. Por ejemplo, Cardoso y Marques (2003), consideraron la acción del viento como un factor de perturbación para la comunidad fitoplanctónica, también reportan que la tasa de cambio durante aguas altas varía significativamente, lo que indica cambios importantes en la comunidad.

Otros estudios también reportan una alta incidencia de géneros en aguas altas y pocos registros durante aguas bajas, (Ibáñez, 1998; Train y Rodríguez, 2004; Melo *et al.*, 2005; Bovo-Scomparin y Tarin, 2008; Phlips *et al.*, 2008); pero Passarinho *et al.* (2013) difiere mucho en cuanto a las profundidades de las lagunas, abundancias en la comunidad fitoplanctónica y variables abióticas (temperatura, concentración de

oxígeno, pH y sólidos totales suspendidos). Como habíamos mencionado antes la transparencia y la incidencia de luz también tienen un peso preponderante para explicar los cambios espaciales y temporales del fitoplancton.

Por ejemplo, las Bacillariophyceae (Diatomeas) son excelentes bioindicadoras autotróficas de los efectos en la calidad del agua por acción de los nutrientes, pH y conductividad al afectar su estructura y ensamblaje (Silva *et al.*, 2006).

5.2 Influencia de las variables abióticas sobre el fitoplancton

Las seis variables abióticas (transparencia, pH, conductividad, sólidos totales disueltos, temperatura y concentración de oxígeno) que mostraron mayor correlación fueron esenciales para determinar los diferentes cambios que pueden influir sobre la biota de los sitios muestreados; la variación de los datos registrados por época estacional o por alguna otra alteración pudo haber influenciado la dinámica ecológica de la laguna, y por ende de las especies fitoplanctónicas.

Por ejemplo, la transparencia es una de las variables más importantes en la dinámica ecológica de una laguna, ya que ésta marca la zona fótica de la columna de agua, en la cual se da lugar el mayor crecimiento fitoplanctónico. Durante aguas altas se registró una transparencia de entre 0,8 y 1,5 metros (Anexo 3); mientras que en aguas bajas la transparencia registrada fue de entre 0,4 y 1,5 metros (Anexo 4).

Hay que recalcar que la transparencia está relacionada con los sólidos suspendidos, estos acarrearán el material por escorrentía de agua lluvia (Pérez y Rodríguez, 2008). El rango registrado de sólidos suspendidos para aguas altas fue de (3,2 - 11,9 ppm) (Anexo 3), mientras que para aguas bajas fue de (0 - 2 ppm) (Anexo 4).

Todas las variables abióticas tienen una estrecha relación entre sí, la concentración de los sólidos suspendidos y la calidad del agua, debido a su capacidad de adsorción de contaminantes como metales pesados y nutrientes, y el control que ejercen sobre la turbiedad del agua y a su vez la absorción de calor que aumenta la temperatura del agua (Dagne *et al.*, 2005). Por ejemplo, una de las variables abióticas que registra un cambio

notable en los muestreos realizados, es la conductividad; dando registros en aguas altas de entre 6,5 μs y 22,8 μs , mientras que en aguas bajas los valores de conductividad bajan notablemente (1 μs -5 μs) (Anexo 3-4). Primavesi *et al.*, (2002) señalan a la conductividad como una de las variables que mejor analiza la calidad del agua, entre los puntos de muestreo y las alteraciones antropogénicas.

Las variables abióticas durante aguas altas y aguas bajas (Anexo 3-4), muestran valores diferentes para cada época, por ejemplo, los valores de pH, particularmente cuando se registran mediciones continuas junto con la conductividad del cuerpo de agua y de procesos de eutrofización, si se asocian con los ciclos de fotosíntesis y respiración de las algas (Pérez y Rodríguez, 2008); valores mayores a 9.0 y menores a 5.8 producen limitaciones al desarrollo y a la fisiología de los organismos acuáticos (Chapman, 1996). En este estudio el rango registrado de valores de pH en AA aguas altas fue de entre 3,4 y 7,2; mientras que en AB aguas bajas fue de entre 4,5 y 7,5, los cuales no producen limitaciones al desarrollo de los organismos acuáticos (el valor de 3,4 es único en la época de AA y en un solo punto de muestreo).

En el caso de la temperatura, ésta es una de las variables más estudiadas en cuerpos de agua, (Pérez y Rodríguez, 2008) plantea que las temperaturas dentro del ámbito $27,2^{\circ}\text{C} \pm 1,4^{\circ}\text{C}$, corresponden a una condición normal para las lagunas de inundación, razón por la cual se les asigna la categoría de excelente. Mientras que el doble de la máxima variación diaria de la temperatura marca a los valores $30,0^{\circ}\text{C}$ y $24,4^{\circ}\text{C}$, como los límites hasta los cuales la temperatura se asocia con una buena condición para el ecosistema amazónico. Los valores registrados para este estudio entran en los rangos establecidos por Pérez y Rodríguez (2008), teniendo muy en cuenta los valores máximos de temperatura en que algunas especies fitoplanctónicas pueden sobrevivir. Además, es muy importante recalcar que mientras el nivel de agua es menor, la temperatura del agua aumenta debido a una mayor exposición del agua al sol y al menor flujo de corriente, lo que también influye sobre los organismos (Manjare *et al.*, 2010.)

La última variable registrada fue la concentración de oxígeno, la cual marcó rangos bastante parecidos durante las dos épocas estacionales (AA: 1,8 – 9,3mg/l) y (AB: 3 – 8,9 mg/l. La concentración de oxígeno disuelto es importante porque tiene una

dinámica definida en la laguna, ya que se produce en la superficie debido a la fotosíntesis mientras que el consumo se incrementa conforme la profundidad aumenta debido a que todos los organismos necesitan del elemento (Molina, 2013).

5.3 Distancia euclidiana

Según Naselli-Flores *et al.* (2007), la variabilidad morfológica es reconocible tanto a nivel de población como de ensamblaje. Una población se mantiene cuando el parámetro ambiental no excede la capacidad de adaptación morfológica de esa población; si los cambios ambientales fueran lo suficientemente fuertes, el reemplazo de especies tiene lugar, ofreciendo una mayor adaptación a un nivel de organización más alto.

En este caso, algunas especies se mantienen, otras desaparecen y aparecen algunas nuevas, señalando que los valores abióticos tienen un cambio significativo en cuanto a sus rangos de registro, dando como resultado que algunos puntos de muestreo marquen similitudes significativas con base a sus resultados de registros abióticos y abundancias bióticas. Por ejemplo, en el análisis de cluster de variables abióticas durante aguas altas, los tres puntos de muestreo de la laguna de Canangüeno (Can.S-Can.M-Can.E) se agrupan con el punto de muestreo Mat.S por sus registros similares en cuanto a pH, conductividad, sólidos totales disueltos y concentración de oxígeno, mientras que el punto de muestreo LG.E y LG.S se agrupan por valores similares en temperatura y concentración de oxígeno, dejando así agrupado a Mat.E, Mat.M y LG.M por la transparencia del punto de muestreo y la temperatura que comparten. Mientras que durante aguas bajas los puntos de muestreo que se agrupan son los de la laguna de Mateococha (Mat.E-Mat.M-Mat.S) con el punto LG.M por la transparencia de la laguna, la conductividad y la temperatura. En cambio los puntos entrada de Laguna Grande y Canangüeno, se agrupan por su similitud en cuanto a conductividad, transparencia y temperatura, dejando a los puntos (LG.S-Can.M y Can.S) agrupados por la transparencia y la temperatura.

Se puede observar que la laguna de Canangüeno, tanto en aguas altas como en aguas bajas tiene una dinámica totalmente diferente que las otras lagunas, en su mayor parte se agrupan independientemente; y de la misma manera mantiene su similitud en los registros

bióticos en las dos épocas estacionales. Mientras que Laguna Grande y Mateococha comparten puntos de muestreo similares entre ellos, tanto bióticos como abióticos, solamente en aguas bajas, los registros abióticos de la laguna de Mateococha se agrupan independientemente de las otras.

El cambio en la dinámica natural de los períodos de potamofase puede haber influido la riqueza local del fitoplancton, ya que las inundaciones, junto con la heterogeneidad del hábitat, son responsables del mantenimiento de la biodiversidad en la llanura inundable (Neiff, 1990).

5.4 Determinación de grupos sensibles a la contaminación orgánica

El fitoplancton es un excelente indicador alternativo debido a sus ciclos biológicos reducidos que son un reflejo de los cambios en los parámetros abióticos y del estrés ambiental (Silva *et al.*, 2006, Amador *et al.*, 2011). Por ejemplo, el género *Navicula* es considerado tolerante a la contaminación y su dominancia señala sitios altamente perturbados (Bellinger y Sigee, 2010) como en el caso de Laguna Grande durante aguas altas, donde su abundancia es significativa por el uso excesivo de canoas a motor y gran afluencia de turismo.

Los resultados del índice de contaminación de Palmer muestran que la única laguna en donde no existe indicio de contaminación orgánica es Mateococha que tiene un valor de 14; cabe recalcar que es una laguna con ingreso de embarcaciones casi nulo, mientras que Laguna Grande y Canangueno muestran valores considerables para una alta polución orgánica: (21) (26) respectivamente muestran valores considerables para una alta polución orgánica. El valor obtenido para Laguna Grande es uno de los resultados de la alteración ecosistémica de la zona, por el turismo y el uso descontrolado de embarcaciones a motor, en este caso las algas más tolerantes son las que permanecen en la zona de muestreo. El caso de la laguna de Canagüeno es muy contradictorio, indica el valor más alto de polución orgánica, pero por temas de conservación el ingreso se encuentra prohibido, por ende no existe explotación del recurso turístico. El valor del índice de contaminación (26) puede explicarse debido a la ecología y dinámica de la laguna, su baja profundidad y las condiciones favorables

que ofrece para el crecimiento fitoplanctónico, por tales razones, las algas, incluidas las más tolerantes forman parte de la comunidad fitoplanctónica de la laguna de Canangüeno.

5.5 Patrones de riqueza de fitoplancton

Bortolini y Train, (2016) indican que el incremento de la diversidad fitoplanctónica en la época de aguas altas sugiere la disponibilidad de nichos hábitats y vertientes que se encontraban aislados durante aguas bajas, por lo tanto, confirman que una mayor amplitud en la potamofase favorece la abundancia y diversidad del fitoplancton. Esto se ratifica con los resultados obtenidos en este estudio, donde la riqueza de géneros es mayor en aguas altas; mientras que aguas bajas, restringe el crecimiento fitoplanctónico y sus resultados sugieren que esta época es insuficiente para la acumulación de fitoplancton (Schemel *et al.*, 2004), confirmando el resultado de la baja presencia de géneros durante aguas bajas en las lagunas muestreadas, resaltando la importancia del ingreso de afluentes cargados de sólidos suspendidos, los cuales infieren un patrón sobre la abundancia de la comunidad fitoplanctónica. Además, Vuorio *et al.* (2007) señalan que la estructura y composición de las comunidades fitoplanctónicas proporcionan más información del estado productivo del ecosistema que los nutrientes o que la clorofila. Por ejemplo, en la laguna de Canangüeno durante la época de aguas altas se registran géneros tales como *Scenedesmus*, *Spondylosium* y *Staurastrum*, que, aunque se desarrollen en aguas ácidas bajas en calcio y magnesio (Roldán, 2008), éstas pueden dominar la comunidad fitoplanctónica de aguas muy productivas.

5.6 Patrones ecológicos y de diversidad del fitoplancton

El índice de Shannon-Wiener indica un valor de 2,88, el mismo que representa una diversidad alta; mientras que los puntos muestreados durante la época de aguas bajas muestra un valor de 1,89 que indica que la diversidad es baja según el Índice de Shannon-Wiener; estos resultados muestran valores en base al número de especies encontradas en los lugares muestreados y a la uniformidad, mientras más especies se registran en un sitio, el valor del índice será mayor. Por lo tanto, es importante tener en cuenta que estos valores dependen mucho de la influencia de las variables abióticas en el ecosistema (Roldán y Ramírez, 2008).

Los resultados del análisis canónico de correspondencias para aguas altas, muestran a la laguna de Canangüeno agrupada independientemente de las otras lagunas lo cual concuerda con lo discutido anteriormente en cuanto a la diferencia de esta laguna con respecto a las otras dos; las variables más representativas son la temperatura y la concentración de oxígeno. Mientras que los órdenes relacionados con las variables abióticas son: Melosirales, Desmidiáles, Licmophorales, Sphaeropleales, Euglenales y Chroococcales, los cuales no se encuentran relacionados por la transparencia, la conductividad, los sólidos totales disueltos y el pH; mientras que la temperatura y la concentración de oxígeno del agua son variables independientes de los siguientes órdenes: Chlamydomadales, Chlorellales, Eunotiales, Fragilariales, Naviculales, Pennales, Peridinales, Synechococcales, Tabellariales, Thalassiosirales y Zygnematales.

Igualmente, el resultado del análisis de correspondencia canónica para aguas bajas muestra, una vez más que la laguna de Canangüeno es distinta a Laguna Grande y Mateococha. En aguas bajas las variables abióticas que tienen una mayor representatividad en el ACC son el pH, la concentración de oxígeno y la temperatura; la misma por ejemplo tiene más influencia sobre la comunidad fitoplanctónica de Canangüeno, quizá por su bajo nivel de profundidad, demostrado por algunos grupos afines a esta condición como: Chlorellales, Peridinales y Fragilariales (Figura 32); mientras que los órdenes Euglenales, Naviculales, Pennales, Eunotiales, y Melosirales muestran mayor dependencia por las variaciones en la concentración de oxígeno y el pH del agua con el punto entrada de la laguna de Canangüeno y el punto salida de Laguna Grande. Por otro lado, el orden Chroococcales (el cual muestra claramente que la temperatura, la concentración de oxígeno y el pH no son variables abióticas dependientes del mismo) concierne a los puntos de muestro de entrada y medio de Laguna Grande y Mateococha, además del punto de muestreo salida de Mateococha; estos puntos se ven representados por las variables abióticas restantes como la conductividad, los sólidos disueltos totales y la transparencia.

Bortolini *et al.*, (2016), indica que la mayor persistencia del fitoplancton se relacionó con una menor variabilidad ambiental, corroborando el criterio de Rojo y Álvarez-Cobelas (2003), donde revela que la época de aguas bajas no se la puede

considerar estable; la misma que en el presente estudio registra valores mucho menores en cuanto a abundancia de géneros fitoplanctónicos. Por ende, se puede considerar y junto con los resultados de la estratificación térmica, que la época de aguas altas mantiene un mejor equilibrio limnológico que la época de aguas bajas, además de los cambios positivos en las variables abióticas para el mejor funcionamiento de la dinámica ecológica de cada laguna.

5.7 Estratificación térmica

La estratificación es considerada como el factor hidroclimático más importante que dirige los procesos bióticos en ambientes lacustres. La mezcla vertical regula las partículas en suspensión y la distribución iónica en la columna de agua, siendo un factor clave para determinar la estructura y la sucesión del fitoplancton (Reynolds, 1984; Lewis, 1996).

Las figuras de estratificación térmica de este estudio dan como resultado varios patrones, no todos se encuentran definidos por algunas variables ambientales tales como la profundidad, el ingreso de afluentes, la temperatura, la concentración de oxígeno, el viento y en general por el comportamiento de cada laguna. Mientras que otros puntos de muestreo no marcan ningún patrón definido para la columna de agua, puede deberse a la poca profundidad de la laguna, al viento o simplemente a la dinámica de la misma.

En lagunas templadas se puede apreciar claramente la estratificación térmica a lo largo de la columna de agua, en los resultados del presente estudio la estratificación térmica en lagunas amazónicas no es marcada durante aguas altas y en aguas bajas y el patrón que se distingue es casi imperceptible; la bibliografía indica que solo las lagunas ecuatoriales parecen estar dominadas por variaciones diarias (Ganf, 1974).

Melo *et al.*, (2004) sugieren que existe un fuerte enlace entre los patrones de mezcla y la distribución del fitoplancton, además de la localización geográfica de las lagunas y su conexión al río principal. Laguna Grande durante la época de aguas altas, mantiene un equilibrio en los registros de temperatura y pequeñas variaciones en la concentración de oxígeno, no se puede distinguir ninguna de las fases de la estratificación térmica a lo largo

de la columna de agua. En aguas bajas, en el muestreo del punto entrada, mantiene su temperatura y un descenso de la concentración de oxígeno, mientras que en el punto medio y punto salida se identifica una termoclina, epilimnion y un “hipolimnion” (no determinado) que incrementa después de la termoclina en la columna de agua, además el punto salida durante aguas bajas registra el valor de temperatura más alto en todo el muestreo (32,2°C). Se puede inferir que estos resultados se obtienen por la baja influencia de motores fuera de borda en la laguna, ya que siendo época de aguas bajas no hay mucha afluencia turística.

La laguna de Mateococha, por la ausencia de turismo en la zona, registra un equilibrio en cuanto a la dinámica de la misma, durante la época de aguas altas no registra ninguna estratificación térmica en ningún punto de muestreo y solamente en la época de aguas bajas se registra la presencia de termoclina en el punto medio (26,3°–20,3°C). Su transparencia no varía entre épocas, mientras que su profundidad total si lo hace (Anexo 4), además presenta diferentes valores de concentración de oxígeno en las dos épocas muestreadas, pero sin embargo mantiene valores similares en los registros de temperatura de la columna de agua. Devercelli (2006) manifiesta que la combinación de anomalías hidrológicas y climáticas intensivas afecta la dinámica de la estructura de la comunidad de fitoplancton y causa una mayor persistencia de abundancia para algunos taxones.

En el caso de la laguna de Canangüeno, los valores abióticos registrados, en su gran mayoría, son distintos a los de las otras lagunas muestreadas, varían tanto en la concentración de oxígeno, la transparencia y la temperatura del agua, la misma que mantiene un equilibrio durante aguas altas, mientras que en aguas bajas los valores registrados de temperatura varían entre 28-31,7°C. Hay que destacar que la concentración de oxígeno en la laguna de Canangüeno es considerablemente más alta que en las otras lagunas debido a la baja profundidad de la laguna, lo que influiría en la abundancia de la comunidad fitoplanctónica; Melack (1979) describe tres eventos que podrían conducir a cambios abruptos en la comunidad fitoplanctónica: las épocas estacionales, tales como cambios en los patrones hidrológicos, el pulso de inundación o mezcla y la ausencia de épocas estacionales marcadas, fomentando así la competencia entre organismos.

CONCLUSIONES

No existe una estratificación térmica definida en la columna de agua de las lagunas muestreadas (Laguna Grande, Mateococha y Canangüeno), como se muestra en las figuras de estratificación térmica. Epilimnion, termoclina e hipolimnion definidos en las figuras son registros no congruentes para los resultados esperados como en los estudios que se han realizado en lagunas templadas. La dinámica ecológica de las lagunas amazónicas es totalmente diferente de las alto andinas, las lagunas amazónicas no presentan una estratificación regular diaria, se puede deber a efectos como el viento, el ingreso de afluentes, corrientes, recambio, pulso de inundación, épocas estacionales y alteraciones antropogénicas.

Durante la época de aguas altas se observa la presencia de mayor abundancia de géneros fitoplanctónicas que durante la época de aguas bajas (Anexos 1-2), esto se puede atribuir a las variables ambientales que influyen en el crecimiento de la comunidad fitoplanctónica de las lagunas, además de la tolerancia de algunos géneros de fitoplancton por cuestiones de contaminación. Además, el ingreso de afluentes, la transparencia y la temperatura del agua explicaron los cambios espacio-temporales del fitoplancton.

Se considera que la laguna más rica y abundante en términos fitoplanctónicos es la Laguna de Canangüeno, tanto en aguas altas como en aguas bajas muestra valores superiores que las otras lagunas (Anexo 1-2) y muestra órdenes tales como Euglenales, Melosirales, Pennales, Peridinales y Desmidiales; es importante recalcar que las abundancias fitoplanctónicas están relacionadas con las variables abióticas de cada laguna, incluyendo la época estacional y alteraciones antropogénicas.

La época de inundación (aguas altas) es un componente y un factor regulador del ecosistema que beneficia el mantenimiento de los procesos ecológicos y la biodiversidad de lugar, la capa limnofásica interfiere con la riqueza del fitoplancton e influye en el patrón de dominancia de las especies (Bartolini *et al.*, 2016). En este estudio se observó una fuerte distinción de la riqueza y abundancia del fitoplancton entre los dos períodos analizados.

Como se ha expuesto, la zona fótica muestra que tiene las condiciones para albergar vida a pesar de los cambios ambientales (Molina, 2013), las profundidades, la transparencia, la concentración del oxígeno y muchas otras variables que fueron analizadas en este estudio; la dinámica de cada laguna muestreada es diferente una de la otra, cada laguna tiene su comportamiento, su ubicación y sus variables ambientales hacen que la dinámica ecológica cumpla su función de acuerdo a las necesidades de la misma.

LITERATURA CITADA

- Addinsoft. (2004). Xlstat Pro Manual. Addinsoft.
- Alberta Environment. (2006). Aquatic Ecosystems Field Sampling Protocols. Environmental Monitoring and Evaluation Branch: Alberta Environment, 1(1), 1-149. Citado en: (Molina, 2013).
- Álvarez-Cobelas, M. (1992). Temperature and heat in a hypertrophic, gravel pit lake. Arch. Hydrobiol. 125: 279-294. Citado en: Ramírez (2015).
- Alverson, W., Vriesendorp, C., del Campo, A., Moskovits, D., Stotz, D., García, M y Borbor, L. (2008). Ecuador-Perú: Cuyabeno-Güepí. Rapid Biological and Social Inventories Report 20. The Field Museum, Chicago.
- Amador, V., Álvarez, S y Gallardo, G. (2011). Potencialidades de las cianobacterias planctónicas como bioindicadores de estrés ambiental en ecosistemas costeros. Serie Oceanológica, 9:112-117. Citado en: (Iannacone *et al.* 2013).
- Amoros, C y Bornette, G. (2002). Connectivity and biocomplexity in riverine floodplains. Freshwater Biology, vol. 47pp. 761-776. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2427.2002.00905.x>
- Baker, A.L. (2013). An Image-Based Key: Algae (PS Protista), Cyanobacteria, and other aquatic objects. <http://cfb.unh.edu/phycokey/phycokey.htm>
- Barbosa, F y Padisák, J. (1992). The forgotten lake stratification pattern: Atelomixis, and its ecological importance. Verhandlungen Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie. 28: 1385-1395. Citado en: Ramírez (2015).
- Beadle, L.C. (1974). The inland waters of tropical Africa. An introduction to tropical limnology. London: Longman. Citado en: Ramírez (2015).
- Belling, E y Sigee, D. (2010). Freshwater Algae Identification and Use as Bioindicators. Wiley-Blackwell. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9780470689554.ch3/summary>

- Birdlife, 2006. Fundación Aves y conservación del Ecuador. Citado en: Tapia y Naranjo (2014).
- Boada, C. (2009). Reserva de Producción Faunística Cuyabeno (RPFC). Ministerio de Turismo del Ecuador (MINTUR). Pág.: 4-52.
- Borbor, I. (2000). Generalidades y Problemas de la Reserva de Producción Faunística Cuyabeno. En: Comisión Europea y Ministerio del Ambiente. 2000. Gestión Ambiental: Explotación Petrolífera y Desarrollo Sostenible en la Amazonía Ecuatoriana. Taller Prioridades de Investigación en la Reserva de Producción Faunística Cuyabeno. Proyecto Petramaz. Quito, Ecuador.
- Bortolini, J., Train, S y Rodríguez, L. (2016). Extreme hydrological periods: effects on phytoplankton variability and persistence in a subtropical floodplain. *Hydrobiologia* 763: 223-236.
- Botes, L. (2001). Phytoplankton Identification Catalogue. Saldanha Bay. South Africa. <http://globallast.imo.org/wp-content/uploads/2014/11/Mono7.pdf>
- Bo-Ping, H y Straskraba, M. (2001). Control mechanism of diel vertical migration: Theoretical assumptions. *J. Theor. Biol.*, 210: 305-318. Citado en: (González, *et al.*, 2007).
- Cardoso, LS y Marques, DM. (2003). Rate of change of the phytoplankton community in Itapeva Lake (North Coast of Rio Grande do Soul, Brazil). Based on a wind driven hydrodynamic regime. *Hydrobiologia*, vol. 497, p.1-12.
- Chapman, D. (1996). Water quality assessment: A guide to use of biota, sediments and water in environmental monitoring. E y FN Spon, Londres, Inglaterra. 626 p. Citado en: (Pérez y Rodríguez, 2008).
- Cole, G.A. (1983). Textbook of Limnology. (3ra Ed). Saint Louis: The Mosby Co. Citado en: Ramírez (2015).
- Chen, C., y Durbin, E. (1994). Effects of pH on the growth and carbon uptake of marine phytoplankton. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 109(1): 83-94. Citado en: (Molina, 2013).
- Dagne, D y Tchounwou, P. (2005). Comparative assesment of the physico-chemical and bacteriological qualities of selected streams in Louisiana. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2:94-100. Citado en: (Pérez y Rodríguez, 2008).

- De la Torre, S., de la Torre, L y Oña, A. (2003). Zonificación de las cabeceras del Río Aguas Negras, Reserva de Producción Faunística Cuyabeno – Ecuador, para su uso y manejo por el pueblo Secoya. *Lyonia* 5(1): 1-8 pp
- Devercelli, M. (2006). Phytoplankton os the Middle Paraná River during an anomalous hydrological period: a morphological and funtional approach. *Hydrobiologia* 563: 465-478. Citado en: (Bortolini *et al*, 2016).
- Diario Hoy. (2014). El derrame de crudo afecta a 200 familias en Sucumbíos. 3 de Julio de 2014. Disponible en: <http://www.hoy.com.ec/noticias-ecuador/el-derrame-de-crudo-afecta-a-200-familias-en-sucumbios-609459.html>
- Dodds, W. (2002). Freshwater Ecology. Concepts and Environmental Applications. Academic Press. Aquatic Ecology Series. USA.
- Esteves, F. (1998). Fundamentos de limnología. 2ª ed. Ed. Interciencia. Sao Paulo. pp. 409. Citado en: (González, *et al.*, 2007).
- Erkan, F., Gugu, A. y Zagorodnyaya, J. (2000). The diel vertical distribution of zooplankton in the Southeast Black Sea. *Turk. J. Zool.*, 24: 417-427. Citado en: (González, *et al.*, 2007).
- Fonseca, B y Bicudo, C. (2008). Phytoplankton seasonal variation in a shallow stratified eutrophic reservoir (Garcas Pond, Brazil). *Hydrobiologia*. 600:267-282.
- Fonseca, B y Bicudo, C. (2011). Phytoplankton seasonal and vertical variations in a tropical shallow reservoir with abundant macrophytes (Ninfeias Pond, Brazil). *Hydrobiologia*. 665: 229-245.
- Ganf, G. (1974). Diurnal mixing and the vertical distribution of phytoplankton in a shallow equatorial lake (Lake George, Uganda). *Journal of Ecology* 62: 611-629. Citado en: (Fonseca y Bicudo, 2008).
- García de Emiliani, M. (1997). Effects of water level fluctuations on phytoplankton in a river-floodplain lake system (Paraná River, Argentina). *Hydrobiology*, vol. 357, p. 1-15.
- García, M., Parra P. y P. Mena V. (2014). El País de la Biodiversidad: Ecuador. Fundación Botánica de los Andes, Ministerio del Ambiente y Fundación EcoFondo. Quito.

- Gavilán, R. (1990). Fluctuaciones Nictemerales dos Factores Ecológicos na Represa de Barra Bonita-Medio Tiete-SP. Dissertação de Mestre, Universidade Federal de São Carlos. 157pp. (González, *et al.*, 2007).
- Goldman, J. (1977). Temperature effects on phytoplankton growth in continuous culture. Woods Hole Oceanographic Institution, 22(5), 932-936. Citado en (Molina, 2013).
- González, S., Gavilán-Díaz, R y Estrada, A. (2007). Cambios nictemerales en la distribución vertical de algunos microcrustáceos en un lago artificial del neotrópico (Colombia). *Limnetica*, 26(1): 75-88.
- Goslee, S., y Urban, D. (2007). The Ecodist Package for Dissimilarity-based Analysis of Ecological Data. *Journal of Statistical Software*, 22(7), 1-19.
- Hill, T., y Lewicki, P. (2006). *Statistics: methods and applications: a comprehensive reference for science, industry, and data mining* (1 Ed.). Statsoft. Tulsa, USA.
- Innacone, J., Alvarino, L., Jimenez, R y Argota, G. (2013). Diversidad del Plancton y macrozoobentos como indicador alternativo de calidad de agua del Rio Lurín en el distrito de Cieneguilla, Lima-PERU. *The biologist*, 11(1): 79-95.
- Lehmusluoto, P., Machbub, B., Terangna, N., Achmad, F., Boer, L., Brahmana, S.S., et al. (1999). Limnology in Indonesia: From the legacy of the past to the prospects for the future. En: R. G. Wetzel & B. Gopal (Eds). *Limnology in Developing Countries*, 2. New Delhi: International Association for Limnology (SIL). p. 119-234. Citado en: Ramírez (2015).
- León-López, N., Rivera-Rondón, C.A., Zapata, A., Jiménez, J., Villamil, W. Arenas, G., et al. (2012). Factors controlling phytoplankton in tropical high-mountain drinking-water reservoirs. *Limnetica*. 31: 305-322. Citado en: Ramírez (2015).
- Lewis, W.M. Jr. (1987). Tropical limnology. *An. Rev. Ecol. Syst.* 18: 159-184. Citado en: Ramírez (2015).
- Lewis, W.M. Jr. (1983). Temperature, heat, and mixing in Lake Valencia, Venezuela. *Limnol. Oceanogr.* 28: 273-286. Citado en: Ramírez (2015).

- Lewis, W.M. Jr. (1973). The thermal regime of Lake Lanao (Philippines) and its theoretical implications for tropical lakes. *Limnol. Oceanogr.* 18: 200-217. Citado en: Ramírez (2015).
- Lewis, W.M. Jr. (1996). Tropical lakes: how latitude makes a difference. In Schiemer, F y K. T. Boland (eds), *Perspectives in Tropical Limnology*: 43-64. Citado en: (Fonseca y de Mattos, 2011).
- Manjare, S., Vhanalakar, A., y Muley, D. (2010). Analysis of Water Quality using physico-chemical parameters Tamdolge Tank in Kolhapur district, Maharashtra. *International Journal of Advanced Biotechnology and Research*, 1(2), 115-119.
- Margalef, R. (1983). *Limnología*. Barcelona: Ed. Omega 1010 pp. Citado en: (González, *et al.*, 2007).
- Matthews, R. A., "Freshwater Algae in Northwest Washington, Volume II, Chlorophyta and Rhodophyta" (2016). A Collection of Open Access Books and Monographs. Book 1. <http://cedar.wvu.edu/cedarbooks/1>.
- Melack, JM. (1979). Temporal variability of phytoplankton on tropical lakes. *Oecologia*, vol 44, p.1-7. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00346388>. Citado en: (Passarinho *et al.*, 2013).
- Melo, S., Huszar, V., Roland, F., Esteves, F y Bozelli, R. (2004). Phytoplankton diel variation and vertical distribution in two Amazonian floodplain lakes (Batata Lake and Mussurá Lake, Pará-Brasil) with different mixing regimes. *Amazoniana*. 18(1/2):1-10.
- Molina, M. (2013). Efectos del derrame de petróleo sobre la comunidad fitoplanctónica de la laguna de Papallacta y sus principales afluentes. Tesis de grado. Universidad Internacional del Ecuador.
- Naselli-Flores, L., Padisák, J y Albay, M. (2007). Shape and size of phytoplankton ecology: do they matter? *Hydrobiologia* 578: 157-161. Citado en:
- Neiff, J. (1990). Ideas para la interpretación ecológica del Paraná. *Interciencia*, vol. 156, p. 424-441.
- Neill, W. (1990). Induced vertical migration in copepods as a defense against invertebrate predation. *Nature*, 345: 524-526. Citado en: (González, *et al.*, 2007).

- Palmer, G. (1969). A composite rating of Algae Tollerating Organic pollution. *Phycol.* 5: 78-82.
- Passarinho, K., Marques, M y Train, Sueli. (2013). Diel responses of phytoplankton of an Amazon floodplain lake at two main hydrological phases. *Acta Limnológica Brasiliensia*, vol 25, no 4, p. 361-374.
- Pérez, A y Rodríguez, A. (2008). Índice físico químico de la calidad de agua para el manejo de lagunas tropicales de inundación. *Rev. Biol. Top.* Vol. 56(4): 1905-1918.
- Petroecuador, (2006). Examen de control ambiental al derrame de crudo ocurrido en el área de Reserva Cayambe-Coca por la ruptura de la tubería del Sistema de Oleoducto Transecuatoriano (SOTE), a cargo de Petroecuador. Quito. Reporte disponible en www.environmental-auditing.org.
- Primavesi, B., Ribeiro, A., de Freitas, A y Torres de Oliveira, H. (2002). Water quality of the Canchim's Creek watershed in Sao Carlos, SP, Brazil, occupied by beef and dairy cattle activities. *Braz. Arch. Biol. Technol.* 45: 209-217. Citado en: (Pérez y Rodríguez, 2002).
- Ramírez, J. y Díaz, A. (1995). Cambios diurnos de temperatura y variables físicas y químicas en dos épocas del año en la Laguna del Parque Norte, Colombia. *Act. Limnol. Brasil.*, 7: 87-104. Citado en: (González, *et al.*, 2007).
- Ramírez, J. (2015). Comportamiento diario y estacional de las estructuras óptima y térmica en un embalse tropical colombiano. *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat.* 39(150): 77-90.
- Ranta, E y Nuutinen, V. (1985). Daphnia exhibit diurnal vertical migration in Shallow RockPools. *Hydrobiologia*, 127: 253-256. Citado en: (González, *et al.*, 2007).
- Reynolds, C.S. (1984). The ecology od freshwater phytoplankton. Cambridge University Press. Cambridge.
- Ringelberg, J y Van Gool, E. (2003). On the combined analysis of proximate and ultimate aspects in diel vertical migration (DVM) research. *Hydrobiologia*, 491: 85-90. Citado en: (González, *et al.*, 2007).

- Rivadeneira, C. (2007). Reserva de Producción de Fauna CUYABENO. En: ECOLAP Y MAE. (2007). Guía del Patrimonio de Áreas Protegidas Naturales del Ecuador. ECOFUND, FAN. Pág.: 243-251.
- Rodríguez, L. (1998). Guía de Parques Nacionales y Reservas del Ecuador. Proyecto INEFAN-GEF para la Protección de la Diversidad. 256 pp.
- Rojo, C y Álvarez, M. (2013). Are there steady-state phytoplankton assemblages in the field? *Hydrobiologia*, vol. 502, p. 3-12. Citado en: (Passarinho *et al.* 2013).
- Roldán, G., y Ramírez, J. (2008). Fundamentos de Limnología Neotropical (2 ed.). Editorial Universidad de Antioquia. Antioquia, Colombia.
- Román, R., Gómez, A y Toro, M. (2013). Efecto estacional de los afluentes en la estructura térmica de un pequeño embalse neotropical, La Fe-Colombia. *Dyna*. 177: 152-161. Citado en: Ramírez (2015).
- Schemel, L., Sommer, A., Muller, S y Harrell, C. (2004). Hydrological variability, water chemistry, and phytoplankton biomass in a large floodplain of the Sacramento River, CA, USA. *Hydrobiologia* 513: 129-139.
- Sekino, T y Yamamura, N. (1999). Diel vertical migration of zooplankton: optimum migrating schedule based on energy accumulation. *Evolutionary Ecology*, 13: 267-282. (González, *et al.*, 2007).
- Silva, G., Castro, G y Gonzales, I. (2006). Bioindicadores como herramienta para determinar la calidad del agua, *ContactoS*, 60:41-48. Citado en: (Innacone *et al.*, 2013)
- Spaulding, S.A., Lubinski, D.J. y Potapova, M. (2010). Diatoms of the United States. <http://westerndiatoms.colorado.edu> Accessed on 30 September 2016.
- Steinitz-Kannan M., Colinvaux, P. y Kannan, R. (1983). Limnological studies in Ecuador: a survey of chemical and physical properties of Ecuadorian Lakes. Ecuador. *Hydrobiology* 65:61-103.
- Sterner, R y Schwalbach, M. (2001). Diel integration of food quality by *Daphnia*: Luxury consumption by a freshwater planktonic herbivore. *Limnol. Oceanography*, 46(2): 410-416. Citado en: (González, *et al.*, 2007).

- Tapia, M. (2012). Variabilidad estacional del fitoplancton y su relación con los parámetros ambientales en el estuario interior de Esmeraldas durante los años 2004 – 2005. Síntesis del Trabajo presentado previo a la obtención del título de Magister. Universidad de Guayaquil- Facultad de Ciencias Naturales durante diciembre de 2010. Guayaquil – Ecuador. Acta Oceanográfica del Pacífico. Vol.17, No 1:41-65.
- Tapia, M.E. y Naranjo, C. (2014). Plancton continental en el Río Napo ecuatoriano durante abril de 2010. Acta Oceanográfica del Pacífico. Vol. 19, N°2. Instituto Oceanográfico de la Armada. INOCAR.
- Talling, J.F. (1963). Origins of stratification in an African Rift Lake. *Limnol. Oceanogr.* 8: 68-78. Citado en: Ramírez (2015).
- Talling, J.F. y Lemoalle, J. (1998). Ecological dynamics of tropical inland waters. Cambridge: University Press. Citado en: Ramírez (2015).
- Taylor, W., Williams, L., Hern, S., y Lambou, V. (1979). Phytoplankton water quality relationships in U.S. Lakes (1 ed., Vol. 1). EPA. Las Vegas, USA.
- Ter Braak, C., y Verdonschot, P. (1995). Canonical correspondence analysis and related multivariate methods in aquatic ecology. *Aquatic Sciences*, 57(3), 1015-1621.
- Terneus, E. (2007). Las plantas acuáticas en el sistema lacustre-riberino Lagartococha, Reserva de Producción Faunística Cuyabeno, Ecuador. *Actual Biol* 29 (86):97-106.
- Tilzer, M y Goldman, C. (1978). Importance of mixing, thermal stratification and light adaptation for phytoplankton productivity in Lake Tahoe (California-Nevada). *Ecology*, vol. 59, p. 810-821. <http://dx.doi.org/10.2307/1938785>
- Train, S y Rodrigues, L. (2004). Phytoplanktonic Assemblages. The Upper Paraná River and its Floodplain: Physical aspects, Ecology and Conservation. Leiden: Backhuys. p. 103-124.
- Tundisi, J y Matsumura-Tundisi, T. (2008). *Limnología*. São Paulo: Oficina de Textos. Citado en: Ramírez (2015).
- UICN. 2002. Seguimiento de las directrices de la Convención RAMSAR en la planificación de los humedales de importancia internacional en Centroamérica.

- Unión Mundial para la Naturaleza, Oficina regional para Mesoamérica, Gobierno de Noruega, San José, Costa Rica. 72 p.
- Ulloa, R. (1988). Estudio Sinicológico de primates en la Reserva de Producción Faunística Cuyabeno. Universidad Católica del Ecuador. Quito, Ecuador.
- Umaña, G., Haberyan, K.A., Shorn, S.P. (1999). Limnology in Costa Rica. En: Wetzel, R.G. y Gopal, B. (Eds.). *Limnology in Developing Countries*, 2. International Association for Limnology (SIL), New Delhi. p. 33-62. Citado en: Ramírez (2015).
- Valencia, R., Pitman, N., León-Yáñez S. y Jorgensen, P. (2000). Libro Rojo de Plantas Endémicas del Ecuador. Herbario QCA, Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito, Ecuador. Valdebenito, H. 2004. Flora de Galápagos. En: ECOLAP. 2004
- Vitt, L y Zani, P. (1996). Organization of a taxonomically diverse lizard assemblage in Amazonian Ecuador. *Can. J. Zool.* 74: 1313–1335.
- Vuorio, K., Lepisto, L y Holopainen, A.L. (2007). Intercalibrations of freshwater phytoplankton analyses. *Boreal Environmental Research*, 12:561-569. Citado en: (Iannacone *et al*, 2013).
- Wetzel, R. (1981). *Limnología*. Ediciones Omega. España. 259-319 pp.
- Yoshioka, P. (2008). Misidentification of the Bray-Curtis similarity index. *Marine Ecology Progress Series*. 368, 309–310.
- Zalocar de Domitrovic, Y. (2004). Distribución del fitoplancton en el eje potámico Paraguay-Paraná en dos periodos del ciclo hidrológico. Universidad Nacional del Nordeste. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas.
- Zaret, T y Suffern. (1976). Vertical migration in zooplankton as a predator avoidance mechanism. *Limnol. Oceanogr.*, 21(6): 804-813. Citado en: (González, *et al.*, 2007).

ANEXO 3. Detalle de las variables abióticas registradas durante el muestreo de aguas altas.

Sitios	Mateococha												Laguna Grande												Canangüeno										
	Punto Entrada			Punto Medio			Punto Salida			Punto Entrada			Punto Medio			Punto Salida			Punto Entrada			Punto Medio			Punto Salida										
Ubicación geográfica (UTM)-18M	0364263/9998058			0364471/9998345			0365188/9998787			0368401/9998426			0368827/9998481			0368200/9998151			0365980/9994979			0366473/9995100			0366449/9995735										
Altitud (msnm)	284			220			220			225			220			216			218			222			211										
Disco Secchi (m)	1,2			1,2			1,5			1,3			1			1			0,8			1			0,8										
Profundidad Total (m)	3,2			3,3			3,8			5,8			4,3			5			2,5			2,5			2,8										
Profundidades (m)	3	2	1	3	2	1	3,4	2,4	1,4	0,4	5,8	4,8	3,8	2,8	1,8	0,8	4,3	3,3	2,3	1,3	0,3	5	4	3	2	1	2,5	1,5	0,5	2,5	1,5	0,5	2,8	1,8	0,8
Color (mg/l Pt)	25			280			140			80			0			210			25			210			90										
Turbidez (FTU)	4			78			42			10			0			60			2			38			52										
pH (unidades)	5,7	6,1	5,7	5,5	5,65	5,5	5,51		5,6	5,9	3,4		5,72		7,24	6,8		5,37		6,67	5,36		5,4		5,4	7,01	6,6	7,1	7,12	6,3	5,5	7	5,9	5,8	
Oxígeno saturación (%)	34,7	25,6	25,2	30	42,7	38,4	43	38,5	32,2	52,4	29,8	32,7	32,6	43,5	41,5	51,3	30,6	21,7	34,6	35	35,2	43,8	26,4	21,7	28,7	39,1	59,6	65,1	72,3	77,5	69,6	97,7	56,5	69,5	76,3
Conductividad (uS)	16,82	12,29	11,95	14,26	13,84	13,36	17,23		14,28	8,7	14,8		8,93		9,07	20,9		13,84		16,42	7,85		7,14		7,8	14,07	13,68	9,6	22,8	9,19	6,69	10,9	7,5	6,5	
Sólidos Totales Disueltos (ppm)	7,3	6,13	5,96	7,1	6,93	6,67	8,63		5,62	4,24	6,8		4,5		11,9			6,48		8,36	3,82		3,53		3,96	7,17	6,84	4,76	11,47	4,6	4,83	5,45	3,74	3,21	
Temperatura (agua) (°C)	25	25	25,4	25,3	25,2	25,4	26	25,4	25,2	27,2	25,2	25,2	25,2	25,4	25,4	25,1	25	25,2	25,5	25,6	25	25,5	25,4	25,3	25,8	26	26	27,1	26,1	25,8	27	25,6	25,9	26,8	
Oxígeno concentración (mg/l)	3,35	2,07	1,98	2,89	3,7	3,71	4,7	3,7	3,6	6,05	2,73	2,3	2,8	4,49	3,89	4,17	2,32	1,85	5,73	2,5	2,76	4	2,3	1,83	2,8	3,43	6,06	6,02	6,85	6,75	6,91	9,3	4,84	5,96	

ANEXO 4. Detalle de las variables abióticas registradas durante el muestreo de aguas bajas.

Sitios	Mateococha												Laguna Grande												Canangüeno																
	Punto Entrada			Punto Medio			Punto Salida			Punto Entrada			Punto Medio			Punto Salida			Punto Entrada			Punto Medio			Punto Salida																
Ubicación geográfica (UTM)-18M	0364274/9998046			0364680/999833			0365189/9998797			0368420/9998422			0368763/9998625			0368196/9998169			0366487/9995679			0366454/9995224			0365635/999476																
Altitud (msnm)	212			214			216			209			192			224			229			212			230																
Disco Secchi (m)	1,5			1			1			0,6			0,9			0,4			0,5			0,6			0,6																
Profundidad Total (m)	3			1,5			2			3			1,75			2			1			1			1,5																
Profundidades (m)	3	2	1	Superficie	1,5	1	0,5	2	1,5	1	0,5	Superficie	3	2,5	2	1,5	1	0,5	1,75	1,5	1,25	1	0,75	0,5	0,25	2	1,5	1	0,5	Superficie	1	0,75	0,5	0,25	1	0,75	0,5	0,25	1,5	1	0,5
Color (mg/l Pt)	0			390			60			30			80			15			85			220			145																
Turbidez (FTU)	6			76			10			4			16			10			22			36			26																
pH (unidades)	7,54		7,43	7,33	6,84		6,4	5,66		6,85		6,95	5,88		6,3		5,58		6,72			5,3		5,24	5,5		4,8		4,53	7,1		7,35	6,48	6,42	6,66		6,13				
Oxígeno saturación (%)	90,7	92,1	92,3	94,4	88,8	86,2	91,3	85,4	85,3	84,3	81,3	81,2	81,6	80,9	80,4	94,1	89,7	91,3	86,9	80,5	82,9	81,6	81,1	80,4	80	90,7	87,7	85,8	80,2	89,5	77,9	76,9	83,6	80,9	88,2	86,4	82,3	86,5	75,4	73,1	
Conductividad (uS)	2		2	2	2		3	2		2		2	3		5		3		2			3		2	3		3		3	3		2	2	2		2	2	2	2		1
Sólidos Totales Disueltos (ppm)	1		1	1	1		1	1		1		1	1		2		1		1			2		1	1		2		2	2		2	2	1	1		1	1	1		0
Temperatura (agua) (°C)	25,8	25,4	24,5	25,6	20,3	26,5	27	25,4	25,4	25,7	25,8	26,8	26,8	26,5	26,2	27	27,2	26,9	26,4	27,7	28	27,9	30	27	27,7	26,7	32,2	32,2	28	27,7	28	28,6	29	29,2	30	31,7	29,7	28,7	30		
Oxígeno concentración (mg/l)	4,5	4,8	4,9	5	4,1	4	4,6	4,5	4,1	4,3	4	4	6,4	6,3	5,2	5,1	9,6	8,9	6,7	7,4	7,6	6,8	7,4	7	7	6,5	5,1	4,2	3,2	8,4	7,3	8,9	8	3,01	3	4,6	4,9	7	6,9	4,4	

Glosario

Adsorción: es el proceso por el cual las partículas suspendidas son captadas o adheridas a la superficie de otro material, tanto por fuerzas físicas como químicas.

Atelomixis: es un proceso de mezcla incompleta causada por el calentamiento térmico diurno y el enfriamiento nocturno, lo cual produce variaciones diurnas de temperatura que pueden exceder las estacionales.

Botella Van Dorn: es un envase plástico con dos litros de capacidad, posee tapas en ambos extremos las cuales se cierran bajo el agua mediante un sistema especial, de esta manera se asegura que la muestra recolectada sea de la profundidad a la que se desea recoger la muestra.

Gramalote: es una hierba forrajera de la familia de las Gramíneas.

Nicho: es el papel que desempeña una especie dentro de una comunidad o ecosistema, está definido por factores bióticos como la alimentación, y físicos como el rango de temperatura.

Hábitat: es el espacio vital ocupado por una especie o individuo, donde habita una población determinada.

Apéndice 1.- Imágenes de las especies de fitoplancton más representativas registradas en las lagunas de Cuyabeno



Figura 1. *Euglena* sp.



Figura 2. *Lepocinclis* sp.

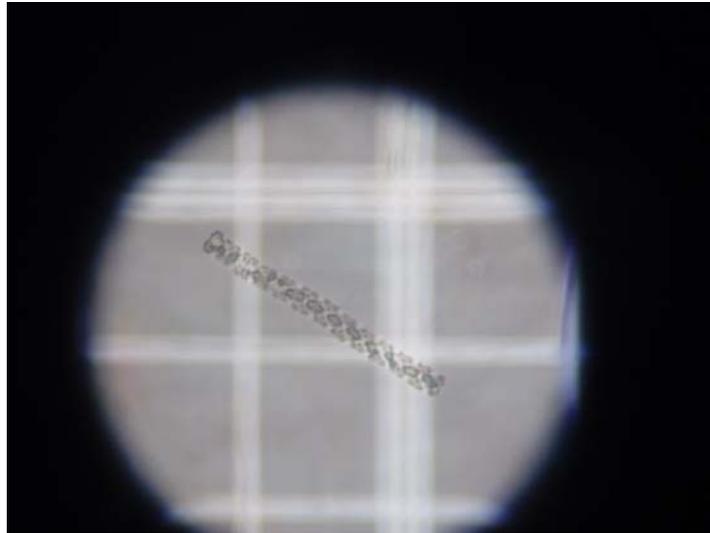


Figura 3. *Spondylosium* sp.



Figura 4. *Scenedesmus* sp.



Figura 5. *Melosira* sp.

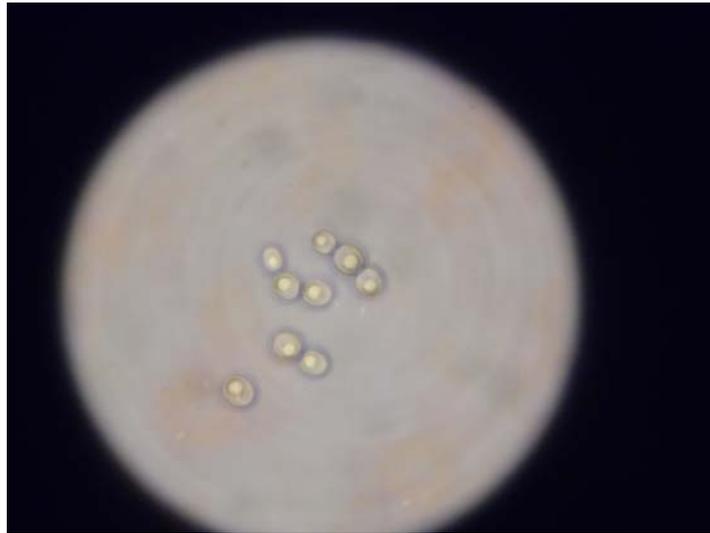


Figura 6. *Chlorella* sp.

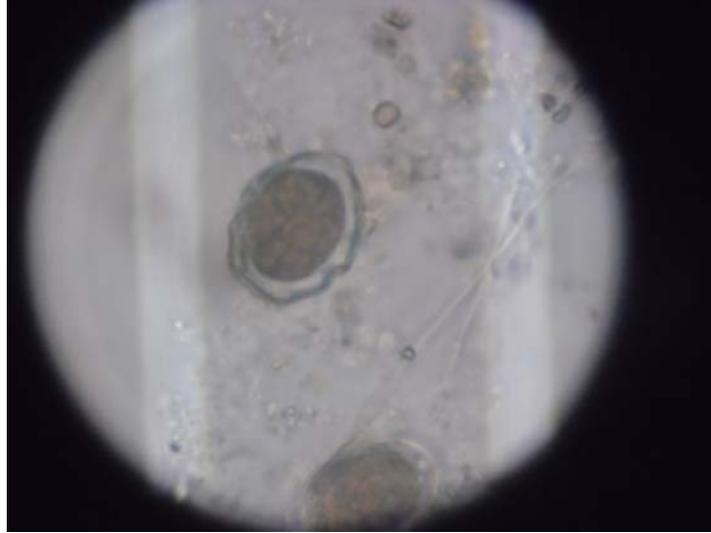


Figura 7. *Peridium* sp.



Figura 8. *Frustulia* sp.



Figura 9. *Staurastrum* sp.



Figura 10. *Coelastrum* sp.