



**Maestría Regional
Centroamericana en
Ciencias del Agua**
con énfasis en Calidad del Agua

Caracterización limnológica del Lago de Yojoa y Calidad del agua procedente del área de drenaje

Trabajo de Tesis para optar al grado de
Máster en Ciencias del Agua con énfasis en Calidad de Agua

Presentado por:

Ing. Keira Gissela Acosta Rivera

Tutor: MSc. Dimas García Guzmán

Managua, Noviembre 2018



DAAD

Deutscher Akademischer Austausch Dienst
Servicio Alemán de Intercambio Académico

AGRADECIMIENTOS

Al Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos CIRA/UNAN-Managua, que hizo posible este proyecto de investigación a través del Proyecto “Manejo Comunitario del Agua en Nicaragua y Centroamérica” de la Agencia Canadiense para el Desarrollo Internacional (ACDI-CIDA).

Al Servicio Alemán de Intercambio Académico (DAAD), organización que me otorgó una beca para realizar mis estudios de postgrado en la República de Nicaragua.

A Dimas García Guzmán, quien colaboró como asesor y tutor.

A las diferentes instituciones que colaboraron de alguna forma durante la realización de este proyecto a través de apoyo logístico, científico u otro, en particular a:

- La Autoridad de manejo del Lago de Yojoa (HONDULAGO).
- Asociación de municipios del Lago de Yojoa (AMUPROLAGO).
- Centro de Estudios y Control de Contaminantes (CESCCO).
- Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE).

Muchas gracias a mi familia en especial a mis hermanas, a mis hijos y mi esposo que me brindaron su apoyo y tiempo durante este proceso.

RESUMEN

El Lago de Yojoa es un ecosistema único en Honduras, es una reserva de agua dulce y conserva una gran diversidad biológica, por lo que fue declarado patrimonio nacional. Sin embargo, la calidad del agua se ha deteriorado por diversas actividades de desarrollo en la subcuenca como; el cultivo de peces en jaula a escala industrial, la actividad agrícola y pastoreo de ganado en los humedales del lago, además de vertidos de aguas residuales municipales y particularmente por vertidos de aguas residuales procedente de la industria minera con alto contenido de metales pesados. Asimismo, por la modificación de su morfología natural para la generación hidroeléctrica.

Este estudio se orientó a evaluar las características limnológicas del Lago de Yojoa y la influencia de los principales tributarios, con este propósito se realizaron varias campañas de muestreo. Se midieron variables fisicoquímicas en los tributarios, se evaluó la calidad microbiológica, se estimó la carga de nutrientes que ingresa al cuerpo de agua, en particular se midió el contenido de metales pesados en el agua del río Raíces. Se realizaron perfiles de variables fisicoquímicas, se midieron nutrientes, variables microbiológicas e hidrobiológicas (fitoplancton, zooplancton), granulometría, contenido de materia orgánica y metales pesados del sedimento. Además se estimó el estado trófico del cuerpo de agua.

Los resultados obtenidos muestran que las aguas de los tributarios estudiados son de buena calidad fisicoquímica. La composición hidroquímica fue determinada por los iones bicarbonato y calcio. Sin embargo, presentaron contaminación microbiológica siendo el río Raíces y el Varsovia los que presentaron mayor contaminación. En el río Raíces se determinó la presencia de metales pesados en el agua y en el sedimento, asimismo, transportó la mayor carga de nitrógeno y fósforo.

Se estimó que 258 y 992 Ton.a⁻¹ de fósforo y nitrógeno, respectivamente, ingresaron a través del cultivo de peces en jaulas flotantes.

El Lago de Yojoa presentó estratificación de las principales variables físicas y químicas medidas, apreciándose diferencias de temperatura con múltiples termoclinas que impidieron la mezcla completa de la masa de agua y una distribución clinógrada del oxígeno disuelto, se registraron condiciones alcalinas. Estas variables influyeron en la estratificación de los principales iones, del carbono orgánico disuelto y de los nutrientes.

El contenido de nutrientes en el Lago de Yojoa presentó distribución heterogénea, el nitrógeno registró valores mínimos de $0,4 \text{ mg.l}^{-1}$ en la superficie y hasta valores máximo de $3,3 \text{ mg.l}^{-1}$ en el fondo. Mientras que para el fósforo las concentraciones oscilaron desde $> 0,02$ hasta máximos de $0,13 \text{ mg.l}^{-1}$ en el fondo. Las bajas concentraciones de nutrientes se atribuyen al proceso de dilución en época lluviosa, la demanda, el consumo eficiente y la asimilación rápida por parte de organismos fotosintetizadores.

La comunidad fitoplanctónica estuvo representada por cinco divisiones algales: Chlorophyta, Cyanophyta, Bacillariophyta, Dinophyta y Euglenophyta, en las cuales se identificaron 42 taxas. Se registró una dominancia de Cyanophyta con densos florecimientos de *Microcystis*. Asimismo, el zooplancton estuvo representada por tres phylum: Rotífera, Artrópoda y Gastrotrichia, de estos grupos los Rótíferos fueron dominantes, también se presentó poca riqueza de especies en altas densidades, algunas de estas especies son características de ambientes eutrofizados como *Keratella americana*, *Thermocyclops* y *Artodiaptomus*.

La composición granulométrica del sedimento mostró en su mayoría una textura del tipo franco-limoso (58%), Este tipo de textura donde predomina limos y arcillas favoreció en la conservación de la materia orgánica y en la acumulación de metales pesados, siendo el zinc, plomo y cobre los que se encontraron en mayor concentración.

Se estimó que el Lago de Yojoa presenta un estado avanzado eutrofización producto de la alta concentración de nutrientes que recibe.

Palabras Clave: Calidad de agua; nutrientes; variables fisicoquímicas; hidrobiología; eutrofización.

Índice de contenido

I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Área de estudio.....	3
1.1.1. Descripción general del Lago de Yojoa	3
1.1.2. Clima y precipitación.....	4
1.1.3. Hidrología	5
1.1.4. Geomorfología.....	5
1.1.5. Geología.....	6
1.1.6. Cobertura y uso de suelo.....	7
1.1.7. Niveles del Lago de Yojoa	9
1.1.8. Actividades de desarrollo en la subcuenca.....	9
1.2. Antecedentes	13
1.3. Planteamiento del problema	15
1.4. Justificación	16
1.5. Objetivos	18
Objetivo general.....	18
Objetivos específicos	18
II. MARCO TEÓRICO.....	19
2.1. Características limnológicas	19
2.1.1. Variables físicas y químicas	19
2.1.2. Transparencia del agua al disco Secchi	23
2.1.3. Materia orgánica.....	23
2.1.4. Demanda bioquímica de oxígeno	24
2.1.5. Demanda química de oxígeno.....	24

2.1.6. Carbono orgánico disuelto	24
2.1.7. Nutrientes	25
2.1.8. Variables Hidrobiológicas	26
2.2. Carga de nutrientes	28
2.3. Metales pesados.....	28
2.4. Sedimentos: Granulometría y materia orgánica.....	28
2.4.1. Granulometría.....	28
2.4.2. Materia orgánica.....	29
2.5. Microorganismos patógenos.....	29
2.6. Eutrofización	30
III. DISEÑO METODOLÓGICO	31
3.1. Recopilación de la información primaria	31
3.2. Recopilación de información secundaria	31
3.3. Puntos de medición de caudales y colecta de muestras	31
3.4. Diseño del muestreo	33
3.5. Aforos y colecta de muestras.....	34
3.5.1. Aforos	34
3.5.2. Muestreo y variables a analizar	35
3.6. Técnica y procedimiento analítico utilizado.....	36
3.6.1. Toma de muestra, preservación y traslado.....	36
3.6.2. Análisis de datos	36
3.7. Estimación de carga de nutrientes.....	37
3.7.1. Carga instantánea	37
3.7.2. Cargas modeladas	37

3.8. Estimación del índice de estado trófico.....	40
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	41
4.1. Características fisicoquímicas y calidad del agua de los principales tributarios	41
4.1.1. Características físicas y químicas.....	41
4.1.2. Composición iónica.....	46
4.1.3. Tipo hidroquímico	49
4.1.4. Calidad microbiológica del agua de los tributarios principales.....	51
4.1.5. Metales pesados en agua y sedimento en el río Raíces	54
4.2. Carga de nutrientes que ingresa al lago a través del área de drenaje.....	57
4.2.1. Nutrientes: Cargas observadas	58
4.2.2. Estimación de cargas modeladas de nutrientes	62
4.3. Características fisicoquímicas, hidrobiológicas y calidad del agua del Lago de Yojoa.....	66
4.3.1. Características fisicoquímicas del Lago de Yojoa	66
4.3.2. Transparencia del agua al disco Secchi	80
4.3.3. Composición química del agua del Lago de Yojoa.....	81
4.3.4. Dureza y alcalinidad del agua del Lago de Yojoa.....	85
4.3.5. Carbono orgánico disuelto.....	85
4.3.6. Demanda bioquímica de Oxígeno y demanda química de oxígeno	86
4.3.7. Nutrientes en el Lago de Yojoa	88
4.3.8. Composición del fitoplancton en el Lago de Yojoa	94
4.3.9. Composición del Zooplancton en el Lago de Yojoa.....	103
4.3.10. Calidad microbiológica del agua del Lago de Yojoa	107
4.4. Caracterización de los sedimentos del Lago de Yojoa	109

4.4.1. Composición Granulométrica	109
4.4.2. Porcentaje de Materia Orgánica	110
4.4.3. Metales pesados y cianuro en los sedimentos	112
4.5. Condición trófica del Lago de Yojoa	116
V. CONCLUSIONES	123
VI. RECOMEDACIONES	125
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	127
VIII.ANEXOS.....	136

Índice de figuras

Figura 1. Subcuenca del Lago de Yojoa.	4
Figura 2. Niveles promedio mensuales del Lago de Yojoa	9
Figura 3. Puntos de muestreo en ríos y Lago.	32
Figura 4. Sección Transversal de un río.	34
Figura 5. Conductividad eléctrica y sólidos totales disueltos en los principales tributarios.	45
Figura 6. Composición iónica de los tributarios del Lago de Yojoa	48
Figura 7. Tipos hidroquímicos del agua de los tributarios del Lago de Yojoa.	51
Figura 8. Caracterización microbiológica de los ríos tributarios.	53
Figura 9. Metales pesados y cianuro en el río Raíces.	55
Figura 10. Metales pesados y cianuro en el sedimento del río Raíces.	57
Figura 11. Concentración promedio de fósforo total vs el caudal promedio de los tributarios principales.	58
Figura 12. Carga promedio anual de fósforo total de los principales tributarios....	59
Figura 13. Concentración promedio de nitrógeno total vs el caudal promedio de los tributarios principales.	60
Figura 14. Concentración promedio de nitrógeno de nitratos vs el caudal promedio de los tributarios principales.....	61
Figura 15. Carga de nutrientes de los principales tributarios del Lago de Yojoa. .	62
Figura 16. Exportación del fósforo total asociada al uso de suelo	63
Figura 17. Exportación del nitrógeno total asociada al uso de suelo.	64
Figura 18. Perfiles de temperatura en los diferentes sitios muestreados	69
Figura 19. Distribución vertical del oxígeno disuelto (%) en los tres sitios estudiados en el Lago de Yojoa.	72

Figura 20. Distribución vertical de pH en los tres sitios estudiados en el Lago de Yojoa.....	75
Figura 21. Distribución vertical de la conductividad eléctrica en los tres sitios estudiados en el Lago de Yojoa.....	78
Figura 22. Distribución espacial y temporal de la turbidez del Lago de Yojoa.	79
Figura 23. Transparencia del agua del Lago de Yojoa.....	80
Figura 24. Variación temporal de la transparencia secchi del Lago de Yojoa.....	81
Figura 25. Distribución espacial y temporal de los cationes medidos en el Lago de Yojoa.....	82
Figura 26. Distribución espacial y temporal de los aniones medidos en el Lago de Yojoa.....	84
Figura 27. Distribución espacial y vertical del COD en las tres épocas de muestreo en el Lago de Yojoa.	86
Figura 28. Distribución espacial y vertical del nitrógeno total en las tres épocas de muestreo en el Lago de Yojoa.	89
Figura 29. Distribución espacial y vertical del N-NH ₄ total en las tres épocas de muestreo en el Lago de Yojoa.	91
Figura 30. Distribución espacial y vertical del fósforo total en las tres épocas de muestreo en el Lago de Yojoa.	93
Figura 31. Aporte de los grupos del fitoplancton a la riqueza de especies para el periodo de estudio del Lago de Yojoa.....	95
Figura 32. Abundancia de los principales grupos de fitoplancton para el periodo de estudio en el Lago de Yojoa.....	98
Figura 33. Distribución estacional de los distintos grupos algales para el periodo de estudio en el Lago de Yojoa.....	100
Figura 34. Concentración de la biomasa algal del Lago de Yojoa.	102
Figura 35. Concentración de clorofila-a en el Lago de Yojoa.....	103

Figura 36. Distribución del zooplancton en el Lago de Yojoa.	107
Figura 37. Distribución espacial de la textura granulométrica del sedimento del Lago de Yojoa.	109
Figura 38. Distribución porcentual de la composición granulométrica del Lago de Yojoa.	110
Figura 39. Contenido de materia orgánica en los sedimentos del Lago de Yojoa.	111
Figura 40. Metales pesados y cianuro en los sedimentos del Lago de Yojoa.	115
Figura 41. Estado trófico resultante en el Lago de Yojoa.	122

Índice de fotos

Foto 1. Ganado pastando en los humedales, parte Noroeste Lago de Yojoa.	10
Foto 2. Ganado pastando en los humedales, parte Sureste Lago de Yojoa.	10
Foto 3. Aforo Quebrada El Cacao.	34
Foto 4. Medición de parámetros in situ.	35
Foto 5. Colecta de muestras.	35

Índice de Tablas

Tabla 1. Cobertura y uso de suelo en la subcuenca del Lago de Yojoa.	8
Tabla 2. Criterio de selección de los puntos de muestreo.....	33
Tabla 3. Actividades de campo realizadas durante el monitoreo de la subcuenca del Lago de Yojoa.	34
Tabla 4. Número de muestras colectadas para las diferentes matrices, en los ríos y en el Lago.	36
Tabla 5. Coeficientes de exportación del nitrógeno y fósforo.....	38
Tabla 6. Valor medio de las concentraciones de nutrientes por precipitación y por carga artificial.....	39
Tabla 7. Categoría trófica de acuerdo a criterio de IETC y IETM.....	40
Tabla 8. Valores límites propuestos por la OCDE para un sistema completo de clasificación trófica.	40
Tabla 9. Valores promedio de parámetros físicoquímicos medidos in situ en los tributarios.	42
Tabla 10. Composición iónica de los tributarios principales	46
Tabla 11. Tipos hidroquímicos del agua de los principales tributarios del Lago de Yojoa.....	50
Tabla 12. Demanda bioquímica de oxígeno en el Lago de Yojoa.....	87
Tabla 13. Demanda química de oxígeno en el Lago de Yojoa.....	87
Tabla 14. Relación DBO ₅ /DQO obtenido para el Lago de Yojoa.	88
Tabla 15. Aportes del fitoplancton durante las tres épocas de muestreo.....	97
Tabla 16. Resultados microbiológicos del Lago de Yojoa.....	108
Tabla 17. Concentraciones de metales pesados en el Lago de Yojoa.....	114

LISTA DE ACRÓNIMOS

AMUPROLAGO	Asociación de Municipios de la Subcuenca del Lago de Yojoa
CAPRE	Norma para la Calidad del Agua para consumo humano
Ca ²⁺	Calcio
CE	Conductividad eléctrica
Cd	Cadmio
CESCCO	Centro de Estudios y Control de Contaminantes
COD	Carbono orgánico disuelto
CO ₃ ²⁻	Carbonatos
CO ₂	Dióxido de carbono
Cl-	Cloruro
CV	Coeficiente de variación
Cr	Cromo
Cu	Cobre
DBO ₅	Demanda bioquímica de oxígeno
ERSAPS	Ente Regulador de los Servicios de Agua potable y Saneamiento
ENEE	Empresa Nacional de Energía Eléctrica
FAO	Organización para la Agricultura y la Alimentación
Fe	Hierro
HCO ₃ -Ca-Na	Bicarbonatada-cálcica –sódica
HCO ₃ -Ca	Bicarbonatada-cálcica
HCO ₃ -SO ₄ -Ca	Bicarbonatada- sulfatada-cálcica

HCO ₃ -Ca-Mg	Bicarbonatada-cálcica-magnésica
HONDULAGO	Autoridad de manejo y protección de la subcuenca del Lago de Yojoa
INE	Instituto Nacional de Estadística
K ⁺	Potasio
Kg	Kilogramo
Km	Kilómetro
LMD	Límite de detección del método
KVh	Kilovatio
M	Metro
Mg ⁺²	Magnesio
mg/l	miligramos por litro
Msnm	metros sobre el nivel el mar
MW	Megavatios
Mm	milímetros
MMC	millones de metros cúbicos
Na ⁺	Sodio
NMP/100	Número más probable en 100 mililitros de agua
NH ₄ ⁺	Amonio
NO ₂	Nitrito
NO ₃ ⁻	Nitrato
NT	Nitrógeno total
NTNA	Norma Técnica Nacional para Agua

OD	Oxígeno disuelto
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo
OIRSA	Organismo Internacional de Sanidad Agropecuaria
OMS	Organización Mundial de la Salud
Pt-Co	Platino-cobalto
PO ₄ ³⁻	Fosfato
Pb	Plomo
PRD	Fósforo reactivo disuelto
SO ₄ ²⁻	Sulfato
SO ₃ ²⁻	Sulfito
SDT	Sólidos disueltos totales
SST	Sólidos suspendidos totales
Ton	Toneladas
UFC/100	Unidades formadoras de colonias en 100 mililitros de agua
UNAH	Universidad Nacional Autónoma de Honduras
UNT	Unidades nefelométricas de turbidez
μS.cm ⁻¹	microsiemens por centímetro
Zn	Zinc

I. INTRODUCCIÓN

Honduras se encuentra dividida en 21 cuencas hidrográficas, de las cuales 15 drenan hacia el Mar Caribe y seis al Océano Pacífico, aportan un total de 81 571 MMC de agua al año (ERSAPS, 2009). En el país no se ha realizado un monitoreo sistemático sobre calidad del agua de los recursos hídricos. Sin embargo, la cuenca del río Ulúa a la cual pertenece la subcuenca del Lago de Yojoa, ha sido considerada como una de las más contaminadas, recibe descarga de aguas residuales del Valle de Sula, desechos sólidos y líquidos industriales, agroquímicos, producto de las actividades de desarrollo en la cuenca (Guillén, 2015).

El Lago de Yojoa es el único que existe en Honduras, el cual ha sido sometido a degradación producto de las actividades de desarrollo en el área, referido al aumento de la población, la intensificación de la producción agrícola, el uso de suelo, actividad comercial a escala industrial dentro del cuerpo de agua.

Se han realizado estudios orientados a determinar las características fisicoquímicas, microbiológicas del cuerpo de agua y análisis de metales pesados debido a la descarga de vertidos de la industria minera localizada en la parte noreste del lago.

Las características limnológicas del Lago de Yojoa están influenciadas principalmente por las actividades humanas, dado que es sometido al ingreso constante de materia orgánica, agroquímicos (plaguicidas y nutrientes), metales pesados y microorganismos patógenos que llegan a través de los vertidos sin tratar de las aguas residuales domésticas. Las características del área de drenaje, ubicación geográfica, clima, geología, hidrología, usos del suelo, geomorfología y el aporte de material alóctono, determinan las variables físicas, químicas y la diversidad biológica.

Para determinar las características limnológicas actuales y la calidad de agua del Lago de Yojoa, se procedió a realizar muestreos sistemáticos de variables

fisicoquímicas, hidrobiológicas y microbiológicas; además se calculó la carga de nutrientes que ingresa a través de los principales tributarios y en particular se determinó la concentración de algunos metales pesados que ingresan a través del río Raíces debido a que es el cuerpo receptor de las aguas residuales de la Mina El Mochito. El monitoreo se realizó en el período lluvioso (agosto, octubre y noviembre 2013) y el periodo seco (enero y marzo 2014). Se midieron parámetros físicos y químicos in situ en los tributarios y en el lago: Asimismo se colectaron muestras de agua y sedimento para su posterior análisis en laboratorio.

La carga de nutrientes se estimó en cada uno de los tributarios estudiados, lo cual se denominó cargas observadas. El aporte de nutrientes procedente de la población, la actividad agrícola, precipitación y por la actividad acuícola se calculó utilizando modelos de cálculo de carga de nutrientes.

Con el análisis de los resultados obtenidos en este estudio se pretende generar una línea de base para estudios posteriores, que sirva de instrumento en la toma de decisiones orientadas al manejo y sostenibilidad del ecosistema.

1.1. Área de estudio

1.1.1. Descripción general del Lago de Yojoa

El Lago de Yojoa se localiza entre los 14°45'00" y 14°57'00" Latitud Norte y entre los 87°53'00" y 88°07'00" Longitud Oeste, en el centro occidental de Honduras, a 140 km de Tegucigalpa (Figura 1). Forma parte de la cuenca del río Ulúa, que se encuentra entre los departamentos de Comayagua, Cortés y Santa Bárbara. Es el único lago que existe en Honduras y forma parte del patrimonio nacional (Decreto, 71-71). El lago es considerado cálido y monomíctico, las aguas se mezclan una vez al año durante algunas semanas entre noviembre y enero, el resto del año permanece estratificado, con una termoclina ubicada a una profundidad que varía entre los 12 y 16 m (Studer, 2007).

La población en la subcuenca se estimó en 53 000 habitantes según las proyecciones de población realizadas por el INE para el año 2010, Santa Cruz de Yojoa, Las Vegas y Taulabé son los poblados con mayor número de habitantes (INE, 2010).

El área de drenaje es de aproximadamente 441,38 km², está conformada por doce microcuencas, de las cuales diez son tributarios que drenan de forma natural al lago y dos áreas de drenaje que fueron incluidas posteriormente, que corresponden a la parte alta de los ríos Yure y Varsovia, ya que de aquí se le incorpora agua al lago a través de canales artificiales con el propósito de aumentar el nivel del lago para la generación de energía eléctrica (MARENA, 2005). Además incluyó el cambio del flujo natural de drenaje del lago, con el cierre de tres desagües naturales del lago; los ríos Enea, Pescadero y Jaitique y la construcción de un canal al extremo norte del lago dejándolo como única salida. El cuerpo de agua tiene un área de 84 km², con una profundidad máxima de 27,3 m y un promedio de 14,6 m, el volumen de agua registrado fue de 1 402 MMC, (Romero, 2007).

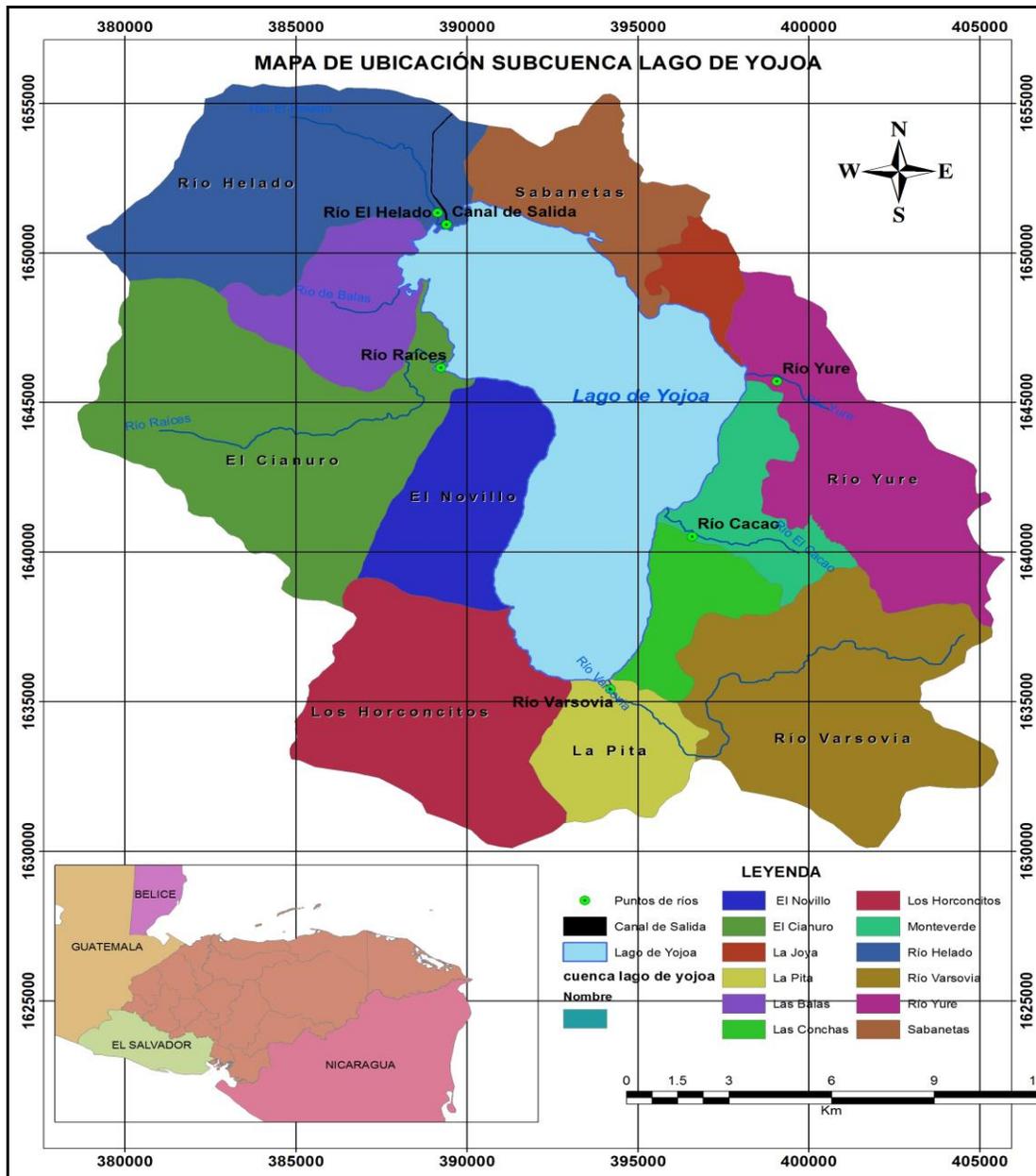


Figura 1. Subcuenca del Lago de Yojoa.

1.1.2. Clima y precipitación

El clima de la zona se clasifica como tropical Monzón, (Monroe, 1968 citado por (House, 2002)). El tipo de clima que se presenta es: Muy lluvioso de altura (Vx) con algunas variantes: Muy lluvioso de barlovento (Ek) en el Norte y Muy lluvioso de transición en el Sur (Zuniga Andrade, 1990). Es una de las zonas de mayor precipitación dentro del territorio hondureño con 2 300 mm en el sur y 3 200 mm en el norte, con los mayores promedios de precipitación anual de 3 235 mm,

convirtiendo esta zona en una de las más húmedas del país. La canícula es poco marcada en esta área, durante este periodo no existe déficit de precipitación (Zuniga Andrade, 1990).

1.1.3. Hidrología

La subcuenca del Lago de Yojoa se ha dividido en 12 microcuencas, de las cuales 10 drenan de forma natural al lago y dos fueron incluidas posteriormente (MARENA, 2005). En el noroeste del Lago se ubica la microcuenca la Quebradona, el tributario principal es el río El Helado, seguido de la microcuenca El Cianuro localizada al oeste del lago, el principal tributario de esta microcuenca es el Río Raíces o Cianuro. En este mismo lado se localiza la microcuenca Las Balas y la microcuenca El Novillo. Al lado suroeste se localiza la microcuenca Horconcitos (MARENA, 2005).

En el extremo sur del lado se ubica la microcuenca La Pita, según House (2002), esta microcuenca involucra la construcción de una represa con el fin de interrumpir el flujo natural de drenaje del lago hacia el río Tepemachin, cerrando su salida en el sur cambiando el flujo natural, dejando como única salida un canal en el norte, esto incluyó además, la incorporación de dos microcuencas ubicadas al sureste del lago; Varsovia y Yure, estos dos tributarios fueron desviados directamente hacia el lago con el propósito de aumentar el nivel de agua para la generación hidroeléctrica.

Al sureste del lago se localizan las microcuencas: Las Conchas y Monteverde, al noreste la microcuenca La Joya dentro del municipio de Santa Cruz de Yojoa asimismo, en este mismo municipio en el norte del lago se encuentra la microcuenca Sabanetas (MARENA, 2005).

1.1.4. Geomorfología

En la subcuenca del Lago de Yojoa aproximadamente el 30% del terreno tiene pendientes mayores de 50%, solo al Norte y al Sur del lago y en la zona oriental, existen áreas apreciables de terrenos con pendientes suaves y la topografía varía

según la localización en las mismas áreas de lago. En las orillas del sector Norte, el terreno es plano y poco ondulado. Al Noreste el terreno es ondulado, como lo es igualmente en las regiones contiguas a Varsovia y al Oeste donde se encuentra El Mochito. En las zonas alejadas de las orillas del lago en dirección Este, Oeste y Sur, la topografía varía de ondulada a montañosa, eventualmente al Este y al Oeste cambia a acantilada. La región se encuentra rodeada de una topografía elevada, al Oeste por el Cerro Santa Bárbara (2 744 msnm) y al Este el Cerro Azul Meámbar (2047 msnm). Lo anterior permite variaciones de pendientes en toda la cuenca del lago, siendo las más suaves las de la región Norte (Geólogos del Mundo, 2009 - 2010).

1.1.5. Geología

En toda el área se encuentran depósitos recientes del Cuaternario, compuestos de sedimentos aluviales, lacustres y, de laderas que fueron depositados en las orillas del lago y en la desembocadura de los ríos (Paretti, Aside, & AMUPROLAGO, 2008).

En la zona Oeste se encuentran depósitos de roca caliza y la morfología es caracterizada por fenómenos cársticos con varias depresiones de drenaje subterráneo en los alrededores del Mochito, en el Sur se encuentran afloramientos del Grupo Valle de Ángeles (Kva) consistentes en una secuencia geológica sedimentaria (lutitas, estratos rojos), en la zona meridional afloran las areniscas verdes y grises de la Formación Todos Santos (JKhg) que representan la litología más antigua del área de estudio, los contactos litológicos entre las distintas formaciones pueden ser sedimentarios o tectónicos (Paretti, Aside, & AMUPROLAGO, 2008).

En el sector oriental la litología que dominan son las formaciones volcánicas provenientes del terciario (rocas andesitas, ignimbritas y piroclásticos: Terciario Pleistoceno Grupo Padre Miguel (Tpm)). Estas rocas forman el Cerro Azul Meámbar, los contactos con las rocas sedimentarias cretácicas por la mayoría son de origen tectónicos, mientras con las vulcanitas Cuaternarias son estratigráficos (Paretti, Aside, & AMUPROLAGO, 2008).

En el sector Norte–noreste se encuentran las formaciones volcánicas más recientes del Cuaternario que se originaron de los volcanes ubicados en el Norte del lago, entre estas estructuras volcánicas se encuentra el Cerro Babilonia que tiene 1 093 msnm y que fue el que emitió la mayoría de los flujos lávicos del área, principalmente coladas de lavas basálticas que bajan hacia el Valle de Amapa, llegando un poco al Norte de los pueblos de Río Lindo y Yojoa, los contactos de estos depósitos con las demás formaciones geológicas son de carácter estratigráfico (Paretti, Aside, & AMUPROLAGO, 2008).

1.1.6. Cobertura y uso de suelo

De acuerdo con el estudio de análisis de contexto territorial, uno de los mayores problemas que se presentan en la subcuenca, es el uso del suelo, debido al uso no apropiado que se le da. La pérdida de bosque por la expansión de la población y la deforestación, son los conflictos que más ejercen presión sobre los recursos. Para la subcuenca se han descrito siete categorías de tipos de cobertura de suelo, identificadas en función de la presencia o ausencia de una cobertura forestal, arbórea o arbustiva diferenciándola de las zonas de agricultura tradicional e intensiva y de los humedales (SAG & MARENA, 2003). En la Tabla 1, se muestran las categorías de cobertura vegetal y uso de suelo para cada una de las microcuencas.

Tabla 1. Cobertura y uso de suelo en la subcuenca del Lago de Yojoa.

Cobertura	Quebradona		Raíces		Balas		El Novillo		Horconcito		La Pita		Conchas		Monteverde		La Joya		Sabanetas		Varsovia		Yure	
	Km ²	%																						
Asentamientos	2	4	2,5	4	0,2	1	0,2	1	0,7	1	0,2	1	0,4	4	0,4	3	1,2	9	0,7	4	0,4	1	0,3	1
Agricultura tecnificada	1,1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4	3	6,8	33	0	0	0	0
Agricultura tradicional	6	14	10,8	17	4,1	22	3,8	17	8,1	17	1,3	9	1,2	11	0,8	5	2,1	15	1,8	9	2,7	5	0,7	2
Vegetación arbórea	16,4	38	27,9	45	6,3	35	10,6	46	24,4	51	6,9	46	4,9	44	7,5	51	4,4	32	2,9	14	37,5	70	25	71
Vegetación arbustiva	16,6	39	19,7	32	7,3	40	7,6	33	12,7	27	4,7	31	2,8	26	5	34	4,5	33	5,9	29	12,8	24	8,8	25
Cuerpos de agua	0,2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5	1
Humedales	0,3	1	0,2	0	0,3	2	0,4	2	1	2	1,4	9	1,6	14	0,9	6	0,9	7	2,2	11	0	0	0	0
Sin cobertura	0,4	1	1	2	0,1	1	0,3	1	0,9	2	0,5	3	0,1	1	0	0	0,2	1	0,3	2	0,3	1	0,1	0
Total	42,8	100	62,1	100	18,2	100	23	100	47,8	100	14,9	100	11	100	14,6	100	13,8	100	20,6	100	53,7	100	35,4	100

Fuente: (SAG & MARENA, 2003).

1.1.7. Niveles del Lago de Yojoa

Los niveles del Lago de Yojoa entre 1944 y 1964 (antes de cerrar las salidas naturales del lago), fueron 632,48 msnm (1946) y 637,78 msnm (1954) es decir, el nivel aumentó 5,30 m (Sandoval S. , 2003). Una vez el lago fue regulado entre 1964 y el 2001, el nivel máximo fue de 638,25 msnm en 1990 y el mínimo de 631,15 msnm en 1995, este último producto de la sequía entre 1994 y 1995. El rango de nivel del lago utilizado por la ENEE es entre 631,50 y 637,50 msnm (Basterrechea, 2008). Los niveles promedio mensuales del lago entre 1990 y 2005 se muestran en la Figura 2.

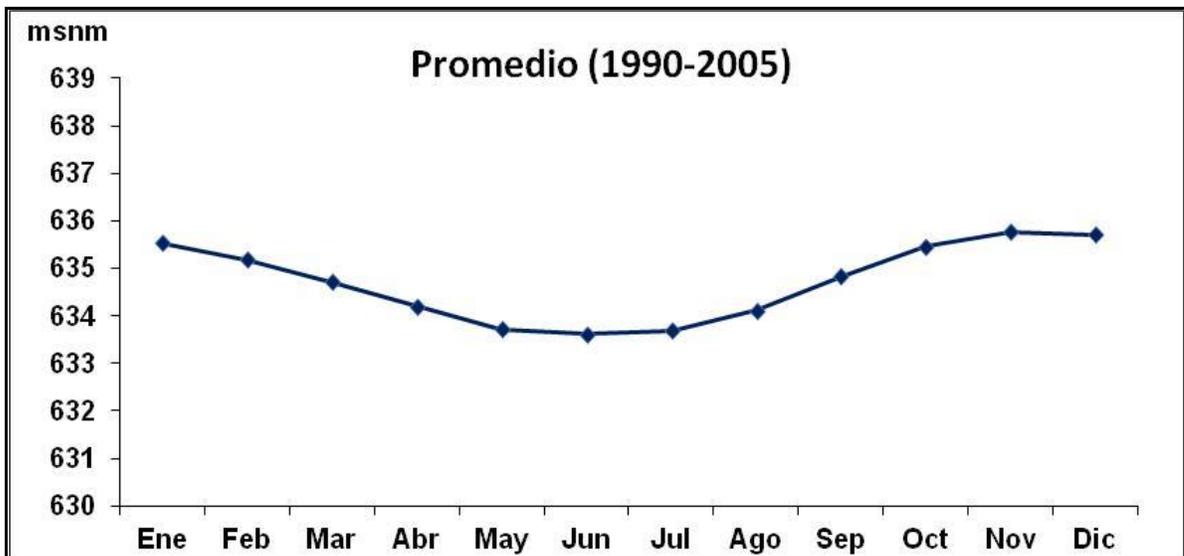


Figura 2. Niveles promedio mensuales del Lago de Yojoa en el período del 1990 al 2005.

Fuente: (Basterrechea, 2008).

1.1.8. Actividades de desarrollo en la subcuenca

Ganadería

La ganadería es una de las principales actividades de subsistencia que se ejerce dentro de la subcuenca del Lago de Yojoa, se practica esencialmente en las zonas planas, frecuentemente cercanas a las riberas del lago, incluso dentro de los humedales (Fotos 1 y 2). El censo ganadero realizado en el 2004 estimó, que el número de cabezas de ganado en la subcuenca excedía las 70 000 (Otero, 2011).

Actualmente existen aproximadamente 3 500 cabezas de ganado pastando dentro de los humedales del lago según el censo ganadero realizado en la subcuenca por HONDULAGO en el año 2011.



Foto 1. Ganado pastando en los humedales, parte Noroeste Lago de Yojoa.



Foto 2. Ganado pastando en los humedales, parte Sureste Lago de Yojoa.

Minería

En el Noroeste de la subcuenca se encuentra localizada la mina El Mochito, en el municipio de Las Vegas, departamento de Santa Bárbara. La mina ha estado en operación desde 1948 y tiene una larga historia de reemplazo de reservas y potencial de exploración. Es una mina de zinc, plomo concentrado y plata como subproducto, en el 2013 la producción fue de 25 000 Ton de zinc concentrado, 11 600 Ton de plomo concentrado y 1 637 de onzas troy de plata. La mina utiliza una combinación de métodos de extracción que dependen del tamaño, geometría y consideraciones geotécnicas diversas de la zona (NYSRTAR, 2013).

Acuicultura

La pesca y la venta de pescado es una de las actividades de desarrollo socioeconómico dominantes en la subcuenca. En este contexto, la crianza de peces es la principal actividad dentro del lago y ha aumentado en los últimos años, principalmente la Tilapia en jaulas flotantes. En el lago operan cuatro proyectos acuícolas de producción en jaula, tres de ellos conformados por cooperativas y grupos de pescadores artesanales que tienen alrededor de 80 jaulas, con una

producción anual de 121 180 kg. Asimismo, el proyecto de inversión privada “AQUAFINCA SAINT PETER FISH, S.A” que inició operaciones en el Lago de Yojoa en 1997, con el objetivo de producir filetes frescos de tilapia para exportación. Según el estudio realizado por (Geólogos del Mundo, 2007), las infraestructuras de “AQUAFINCA SAINT PETER FISH, S.A” constan de 46 jaulas de 18 m de diámetro para engorde (1,300 m³), 20 jaulas de 15 m de diámetro para pre-engorde (600 m³) y 18 jaulas de 6x6 m para estudios y experimentos. Estas jaulas contienen normalmente unos 5 millones de peces y producen una biomasa anual de 4 500 Ton y consumen 9 000 Ton de alimento. De acuerdo con el informe elaborado por OIRSA en el año 2005 “Inventario de los cuerpos de agua continentales de Honduras”, AQUAFINCA produjo aproximadamente 1,23 millones kg de filete de tilapia. En el año 2013 AQUAFINCA reportó que las exportaciones de filete fresco de tilapia alcanzarán la cifra récord de 8,2 millones de kg (SERNA, 2014). Dado que el lago es utilizado para la acuicultura a escala industrial se suministra concentrados comerciales de nutrientes para la mejorar la productividad, en los cuales el contenido de fósforo varía entre 1,30 y 2,52 %, y por cada Ton de tilapia producida se introducen de 23-29 kg de fósforo a los ecosistemas acuáticos (Beveridge, 1986).

Turismo

Es la segunda mayor actividad económica en la ribera Sureste del lago, se encuentran concentrados 65 restaurantes, 23 pertenecen al departamento de Comayagua y 42 al departamento de Cortés. El 86% de estos restaurantes también son viviendas (Reconco, 2013), con una población estimada de 400 habitantes (Otero, 2011). Estas construcciones presentan problemas derivados de la falta de eliminación de excretas y tratamiento de aguas residuales.

Producción Hidroeléctrica

Con el fin de aprovechar al máximo los recursos hidráulicos del Lago de Yojoa se construyeron las Centrales Hidroeléctricas Cañaveral y Río Lindo, iniciando su primera etapa de construcción en el año 1960 y culminando en 1978, con una

capacidad total instalada de 80 MV y 840×10^6 de kWh.a. (ENEE, 2014). La construcción de estos proyectos comprendió el cierre de tres desagües naturales del lago, los ríos Enea, Pescadero y Jaitique, y la construcción de acueductos (canal y tubería) necesarios para llevar el agua del extremo norte del lago hasta Cañaverál, a una distancia de 6 km. Asimismo, la construcción de dos represas para la captación de las aguas de los ríos Yuré y Varsovia, cuyas microcuencas son adyacentes a la del Lago de Yojoa, por donde ingresan una cantidad anual de agua de 530 MMC y la construcción de canales y túneles para conducir el agua captada hasta el mismo lago, construcción de un embalse en donde se almacena temporalmente el agua, antes de viajar por la tubería hacia las turbinas de río Lindo, su capacidad de almacenamiento es de $450\,000\text{ m}^3$. (ENEE, 2014). Se ha estimado que el caudal que sale a través del canal es de 16 MMCA para una producción energética de 656 000 MWh/año (Studer, 2007).

1.2. Antecedentes

El Lago de Yojoa ha sido objeto de numerosos estudios, principalmente de metales pesados (Cu, Pb, Cd y Zn) debido a eventos de muerte masiva de peces en los años 1972, 1973 y 1976 por intoxicación con dichos metales. Entre 1980 y 1997, se realizaron investigaciones enfocadas al impacto de los metales pesados en el sistema ecológico y a la salud de la población residente en la margen Noroeste del lago. Dichas investigaciones concluyeron que las altas concentraciones de metales pesados encontradas en el sedimento y en el agua cerca del fondo, y las pequeñas concentraciones de plomo en los peces, eran un riesgo potencial solo si, la ingesta es abundante y si estos metales se ponen a disposición de la fase sedimento a la fase agua (Rámos et al. 1991 y Vevey, 1990). En los años 2001 y 2006 estos metales fueron analizados en la fase agua por la ENEE, encontrándose en bajas concentraciones (Sandoval S. , 2003).

El primer estudio que se realizó acerca de las características físicas, químicas, biológicas e indicadores de la calidad de agua del lago fue en 1993, realizado por Vaux et al, de acuerdo con (Sandoval S. , 2003). Las variables analizadas fueron: temperatura, conductividad eléctrica, alcalinidad, dureza, turbidez, transparencia al disco Secchi, concentración de algunos nutrientes y análisis microbiológicos: Este estudio concluyó que el cuerpo de agua es cálido, con estratificación de la masa de agua, monomíctico que se mezcla una vez al año de octubre a diciembre y con elevada contaminación bacteriológica.

Estas mismas variables fueron evaluadas en el 2001 por la ENEE, que realizó una investigación sobre las condiciones de calidad del agua de Lago de Yojoa, que además incluyó agroquímicos (plaguicidas organoclorados y organofosforados), metales pesados en agua (Cu, Pb, Zn, Cd), Fe, O.D y DBO₅. Durante los años 2006-2009 la ENEE continuó con sus estudios de evaluar la calidad de agua del lago, haciendo mediciones de las mismas variables, solo que esta vez amplió sus puntos de monitoreo. Ambos estudios evidenciaron la presencia de nutrientes en bajas concentraciones, determinando el estado trófico del lago como oligo-

mesotrófico y la existencia de contaminación microbiológica, además concluyó con la ausencia de metales pesados y agroquímicos en la fase agua.

En el año 2007, Eveline Studer realizó una tesis de investigación enfocada en el análisis y relación de parámetros físicos, químicos y biológicos que permitieron establecer una metodología para definir un sistema de indicadores ambientales relevantes para la evaluación del estado trófico del lago. Las variables analizadas fueron, nutrientes, clorofila-a, productividad primaria, sólidos suspendidos, transparencia al disco secchi, y variables complementarias como: temperatura, conductividad eléctrica, pH y oxígeno disuelto. Estimó la carga de nutrientes que ingresaba al lago basada en información bibliográfica. Concluyó que el mayor aporte de fósforo al lago es a través de la acuicultura y la de nitrógeno es debido a la actividad agrícola, asimismo determinó el estado trófico del lago clasificándolo como meso-eutrófico.

Laura Otero (2011), estudió la “Temporalidad de Parámetros de Calidad en el Lago de Yojoa”. Los parámetros analizados fueron: temperatura, pH, conductividad eléctrica, alcalinidad, metales alcalinos, dureza, oxígeno disuelto, microbiológicos (Coliformes totales y termotolerantes), nutrientes y metales pesados en agua (Cobre y Zinc). Al igual que en los estudios anteriores concluyó que el lago está sometido a una degradación continua de la calidad de sus aguas.

Con fines académicos en el año 2013 la UNAH realizó una caracterización limnológica del lago, realizando un muestreo a nivel superficial, para determinar características fisicoquímicas e hidrobiológicas. Lo relevante en este estudio y objeto de preocupación por parte de las autoridades que lo ejecutaron fue la presencia de cianobacterias en altas densidades que son indicadoras de un estado avanzado de eutrofización.

1.3. Planteamiento del problema

El Lago de Yojoa se encuentra sometido al ingreso de materia orgánica, agroquímicos originados por las actividades agrícolas y pecuarias, de metales pesados producto de la industria minera y de microorganismos patógenos que llegan a través de los vertidos de las aguas residuales domésticas sin tratar. El ingreso constante de contaminantes, la modificación de su morfología natural para la generación hidroeléctrica, la perturbación del hábitat natural debido a la introducción de especies exóticas de valor comercial para la producción de peces a escala industrial, han dado lugar a cambios en el sistema ecológico y la modificación de la calidad de sus aguas que restringen la diversidad de usos deseables.

Diferentes estudios realizados han determinado la presencia de contaminación microbiológica, excesiva concentración de nutrientes, metales pesados y plaguicidas en los sedimentos del lago. El estado trófico se ha estimado como mesotrófico, el cual ha sido criticado como sub-evaluado por carecer datos generados en muestreos sistemáticos, espaciales y por la adaptación a las diferentes metodologías. Se ha estimado la carga de nutrientes con recopilación bibliográfica.

En este contexto, en la mayoría de los recientes estudios los datos generados carecen de interpretación y de un análisis exhaustivo debido a que están limitados en espacio, tiempo, recursos financieros, algunos son de carácter puntual y superficial.

1.4. Justificación

La subcuenca del Lago de Yojoa constituye un ecosistema único en el país de gran importancia económica, social, turística y ambiental, forma parte del patrimonio nacional por su riqueza natural e hídrica. La explotación irracional y usos inadecuados de sus recursos, las actividades de desarrollo comercial, el aumento de la población, la intensificación de la producción agrícola y los conflictos de uso de suelo, han causado numerosos problemas de contaminación restringiendo así la diversidad y calidad de los posibles usos.

Se han realizado diversos estudios con el objetivo de conocer las características, fisicoquímica y biológicas del cuerpo de agua, sin embargo carecen de análisis exhaustivos de las variables ambientales estudiadas, algunos estudios se limitan por ser de carácter puntual, superficial y a cortos periodos de tiempo, falta de coherencia en la información por diferencias en los datos generados en las diferentes fuentes como en el estudio mismo, aduciendo su difícil interpretación a la falta de calibración de equipos, a las diferentes metodologías utilizadas en los laboratorios y la falta de infraestructura; ya que las muestras tienen que ser llevadas a diferentes laboratorios para su posterior análisis. En los mismos se recomienda la necesidad de realizar más estudios y ampliar la cantidad de variables analíticas para el análisis de la contaminación ambiental.

Aun no existe un estudio completo de las condiciones ambientales y características limnológicas del Lago de Yojoa. No se ha cuantificado la carga contaminante que ingresa, producto de las actividades que se desarrollan en su área de drenaje, y el aporte a través del uso de suelo, las precipitaciones, las actividades dentro del cuerpo de agua, así como los nutrientes que transportan los tributarios en general y en particular el aporte por metales pesados del río Raíces y que puedan estar afectando la calidad del agua.

Determinar las características limnológicas y la calidad del agua enfocada a la carga contaminante que ingresa, referido a nutrientes, materia orgánica, microorganismos patógenos y metales pesados del río Raíces en particular, permitirá asociar la influencia de los mismos sobre el estado actual de sus aguas.

Además de identificar las microcuencas con los mayores aportes de estos contaminantes y definir el uso potencial del agua, tanto en el lago como en los principales ríos de acuerdo a los criterios de calidad establecidos por las normas nacionales e internacionales.

Por tal razón, es importante realizar un estudio completo que incluya todas las variables limnológicas y la influencia de su área de drenaje, con el propósito generar una información confiable con criterio científico de la cual se puedan tomar medidas que conduzcan a disminuir el impacto en el cuerpo de agua y que contribuyan a mitigar el acelerado deterioro de la calidad del agua y del ecosistema. Además poder definir un plan de recuperación, de ordenamiento territorial y de control de las actividades de desarrollo y un aprovechamiento sostenible del mismo.

1.5. Objetivos

Objetivo general

Evaluar las características limnológicas del Lago de Yojoa y la calidad del agua procedente del área de drenaje.

Objetivos específicos

1. Evaluar la calidad del agua y estimar la carga de nutrientes (N y P) que ingresa al Lago de Yojoa a través del área de drenaje.
2. Determinar las características fisicoquímicas y composición hidrobiológica del Lago de Yojoa.
3. Determinar la composición granulométrica, contenido de metales pesados, cianuro y materia orgánica del sedimento.
4. Estimar la condición trófica del Lago de Yojoa con base a la transparencia secchi, concentración de clorofila $-a$ y fósforo total.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Características limnológicas

Los lagos y ríos son intervenidos por múltiples factores bióticos y abióticos como sistemas funcionales de una cuenca hidrográfica, para el estudio y manejo sustentable se deben de considerar aspectos como: la ubicación geográfica, el origen que influye directamente en la morfología de la cubeta, el clima, la geología, la hidrología y los usos del agua y de los suelos circundantes, la extensión de la ribera o desarrollo de ribera por el aporte de material desde la cuenca de drenaje, estos determinan las variables físicas, químicas y la diversidad biológica.

2.1.1. Variables físicas y químicas

A través del estudio de las condiciones físicas y químicas de un ecosistema se da a conocer el estado en el que se encuentra el cuerpo de agua y la calidad de la misma, por lo que se podrían definir sus posibles usos.

2.1.1.1. pH

Expresa la intensidad de las características ácidas o básicas del agua e influye en los procesos químicos de los ecosistemas acuáticos (Roldán & Ramírez, 2008) y (APHA, AWWA & WEF, 1999). El pH es una de las variables más importantes, es influenciado por la concentración de iones H^+ originados de la disociación de ácido carbónico que genera valores bajos de pH y por las reacciones del ion carbonado y bicarbonato con la molécula de agua que elevan los valores de pH (Esteves, 1988). Los lagos de las zonas tropicales exhiben rangos de pH entre 5 y 9, dependiendo de su estado trófico y su alcalinidad. La fotosíntesis y la respiración son los principales procesos biológicos que afectan el pH. La distribución vertical del pH es modificada intensamente por diversas reacciones de origen biológico, durante la fotosíntesis hay consumo de CO_2 y absorción de iones de hidrógeno lo que provoca un aumento en el pH, durante la respiración hay liberación de CO_2 y

liberación de iones de hidrógeno por lo tanto hay una reducción del pH, (Bronmark & Lars, 2005) y (Wetzel, 1981). La degradación heterotrófica de la materia orgánica, la fermentación microbiana, la nitrificación del amonio y la oxidación de sulfuros provocan la formación de CO_2 y la reducción de pH. La desnitrificación o reducción del NO_3^- a N_2 y la reducción del SO_4^{2-} a sulfito (SO_3^{2-}) producen un ligero incremento del pH (Wetzel, 1981).

2.1.1.2. Conductividad eléctrica

Es la capacidad que tiene una solución de conducir la corriente eléctrica en función de la concentración de iones presentes en la misma. La conductividad eléctrica es un parámetro importante para conocer el metabolismo de un ecosistema acuático, una alta diversidad de especies a menudo corresponde a bajas conductividades y viceversa (Roldán & Ramírez, 2008). Los valores de conductividad normalmente son menores a $50 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ en agua de bajo contenido iónico y desde 500 hasta 2 000 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ para las fuertemente mineralizadas. Aparte de la magnitud de la concentración iónica, a través de la conductividad eléctrica se puede conocer información muy valiosa acerca del ecosistema como: la productividad primaria y la descomposición de la materia orgánica, la detección de fuentes de contaminación y la naturaleza geoquímica del terreno (Roldán & Ramírez, 2008).

2.1.1.3. Color y turbidez

Existe gran variedad de colores que dependen de las sustancias químicas disueltas, de las suspendidas o del tipo de plancton que por lo general es responsable de la gran variedad de tonos, los sólidos disueltos originados en la descomposición natural de la materia orgánica, el hierro el manganeso y residuos industriales son los responsables del color (Esteves, 1988). Los lagos altamente productivos o eutróficos presentan colores amarillentos, azul-grisáceos o pardos, los menos productivos tienen colores azules o verdosos. Los lagos ríos y embalses tropicales ubicados a baja altura sobre el nivel del mar se ven afectados por diferentes coloraciones, por causa del arrastre de material alóctono producido

por las altas precipitaciones y de las densas masas de fitoplancton que se generan a su vez, por concentración de nutrientes a altas temperaturas (25 – 30 °C) permanentes durante todo el año (Esteves, 1988).

La turbidez es originada por material autóctono propio del cuerpo de agua, se debe a partículas de roca, arcilla, fango, algas y otros microorganismos y cuando es de origen antropogénico se da a partir de desechos domésticos, industriales, microorganismos, erosión entre otros (Ruttner, 1972).

2.1.1.4. Temperatura

La temperatura es derivada directamente de la radiación originada del calentamiento de las masas de agua, de tal manera que la mayor o menor radiación sube o baja la temperatura de las aguas. La temperatura desempeña un papel fundamental en la regulación de numerosos procesos físicos, químicos y biológicos que se llevan a cabo en los ecosistemas acuáticos (Roldán & Ramírez) y (2008 y Wetzel, 1981).

2.1.1.5. Oxígeno disuelto

Es esencial para el metabolismo de los organismos acuáticos y es uno de los factores más importantes que se debe medir en lagos junto con la temperatura. Las fuentes de oxígeno son: la precipitación pluvial, la difusión del aire en el agua, la fotosíntesis, los afluentes y la agitación moderada (Esteves, 1988). La solubilidad del oxígeno en el agua depende principalmente de la temperatura, la presión atmosférica, la salinidad, la contaminación, la altitud, las condiciones meteorológicas y la presión hidrostática (Bronmark & Lars, 2005). La concentración de oxígeno a distintas profundidades en los lagos está relacionada con la estratificación, desestratificación, la circulación vertical y su eficiencia, la distribución y actividad vertical de microorganismos (Tundisi & Tundisi, 2008). En general, el principal factor de consumo de oxígeno libre es la oxidación de materia orgánica, por respiración a causa de microorganismos descomponedores (bacterias heterotróficas aerobias) (Roldán & Ramírez, 2008).

2.1.1.6. Contenido iónico

El tipo hidroquímico del agua está determinado por los iones presentes en la misma, que se encuentran combinados formando ácidos, sales y bases que se disocian en iones (aniones y cationes) cuando se disuelven. Los iones más importantes que se encuentran en las aguas naturales como aniones son: bicarbonatos (HCO_3^{2-}), carbonatos (CO_3^{2-}), cloruros (Cl^-), sulfatos (SO_4^{2-}), fosfatos (PO_4^{3-}) y nitratos (NO_3^-) en combinación con cationes como el calcio (Ca^{+2}), sodio (Na^+), potasio (K^+), magnesio (Mg^{+2}) y hierro (Fe) formando sales ionizables (Ruttner, 1972, Esteves, 1988) y (Roldán & Ramírez, 2008).

2.1.1.7. Dureza

Es indicador de la calidad del agua, está regida por el contenido de sales de calcio y de magnesio; combinados con el carbonato y el bicarbonato es llamada dureza temporal y con sulfatos, cloruros y otros aniones de ácidos minerales es llamada dureza permanente (Wetzel, 1981). Biológicamente se ha clasificado el agua como poco productivas con valores menores a 10 mg.l^{-1} de calcio, las aguas medianamente productivas entre 10 y 25 mg.l^{-1} y las aguas muy productivas valores superiores a 25 mg.l^{-1} (Roldán & Ramírez, 2008). Según la OMS (2006) los grados de dureza total como de CaCO_3 van de 0 a 60 para aguas blandas, de 61 a 120 como moderadamente duras, entre 121 y 180 duras y, mayores de 180 mg.l^{-1} muy duras.

2.1.1.8. Alcalinidad

Se define como la capacidad del agua de neutralizar ácidos, dificultando los cambios de pH, depende esencialmente de las concentraciones de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos (Ramírez & Viña, 1998) y (Roldán & Ramírez, 2008). Está presente en las aguas naturales como un equilibrio de carbonatos y bicarbonatos con el ácido carbónico, con tendencia a que prevalezcan los iones de bicarbonato (Barrenechea, 2005). Se clasifica de acuerdo con los siguientes rangos: aguas con valores menores a 75 mg.l^{-1} de CaCO_3 como aguas poco alcalinas, entre 75 y 150

mg.l⁻¹ de CaCO₃ aguas de alcalinidad media y aguas de alcalinidad alta para valores mayores a 150 mg.l⁻¹ de CaCO₃ (Roldán & Ramírez, 2008).

2.1.1.9. Sólidos suspendidos totales

Están constituidos por sustancias que se encuentran en la fase sólida en el agua en forma de coloides o partículas sumamente finas y que causan turbidez, cuanto mayor es el contenido de sólidos en suspensión, mayor es el grado de turbidez. (Bobadilla, López, & Villodas, 2014). Los sólidos suspendidos totales son los materiales retenidos por un filtro estándar de fibra de vidrio y secado entre 103-105 °C (APHA, AWWA & WEF, 1999).

2.1.2. Transparencia del agua al disco Secchi

Consiste en la evaluación aproximada de la transparencia del agua con respecto a la luz, se basa en el punto en el cual deja de ser visible un disco blanco que se va hundiendo en el agua, corresponde a la profundidad media entre el punto en el cual el disco desaparece y el punto en el cual vuelve a ser visto al elevarlo y es una función de la reflexión de la luz por su superficie, por lo que está influenciado por las características de absorción tanto del agua como de la materia orgánica disuelta y suspendida existente en ella (Wetzel, 1981). Por lo general los lagos tropicales sometidos a fuertes precipitaciones, arrastre de sedimentos y altas productividades presentan transparencias que varían de unos pocos centímetros a dos o tres metros (Roldán & Ramírez, 2008).

2.1.3. Materia orgánica

La materia orgánica consiste de sustancias provenientes del suelo principalmente ácidos húmicos, sustancias provenientes del metabolismo de organismos acuáticos como hidratos de carbono, proteínas, lípidos, además de pigmentos, hormonas y vitaminas, que funcionan como catalizadores o inhibidores de las funciones biológicas (Barrenechea, 2005). Estas sustancias orgánicas representan una fuente de alimentación para los organismos (autótrofos y heterótrofos) presentes en el agua. La materia orgánica puede ser, en muchos casos, la

responsable del color, el olor y el sabor del agua (Baird, 2001). Como es muy difícil determinar analíticamente la presencia de estas sustancias orgánicas en el agua, se han establecido métodos globales de determinación. Estos son los siguientes:

2.1.4. Demanda bioquímica de oxígeno

Mide la concentración de oxígeno usado por los microorganismos para degradar y estabilizar la materia orgánica biodegradable en condiciones aeróbicas en cinco días y a 20°C (Ramírez & Viña, 1998) y (Roldán & Ramírez, 2008). La nitrificación disminuye los valores de DBO₅ ya que en los cuerpos de agua con altas concentraciones de bacterias nitrificantes ocurre una demanda adicional de oxígeno por la oxidación de cualquier compuesto de nitrógeno no oxidado previamente (Roldán & Ramírez, 2008).

2.1.5. Demanda química de oxígeno

Mide el contenido de materia orgánica en una muestra de agua mediante la oxidación química (Custodio & LLamas, 2001). Los valores de DQO son mayores que los valores de DBO₅ cuando la materia orgánica es resistente o refractaria, es decir, los compuestos son poco solubles y resistentes a una rápida descomposición microbiana (Roldán & Ramírez, 2008).

2.1.6. Carbono orgánico disuelto

Se origina a partir de la descomposición de plantas y animales y productos de excreción de estos organismos. Los componentes principales son: proteínas, carbohidratos, lípidos y compuestos húmicos (Roldán & Ramírez, 2008). La concentración de COD está relacionada con el estado trófico del cuerpo de agua y con el tipo de influencia al que está sometido, también está relacionado a la herbivoría del zooplancton sobre el fitoplancton y el material fecal del zooplancton. (Roldán & Ramírez, 2008).

2.1.7. Nutrientes

El nitrógeno y el fósforo constituyen los elementos importantes para la productividad primaria en los ecosistemas acuáticos y pueden ser los factores limitantes en un momento determinado, en las zonas tropicales varían mucho con los ritmos de lluvia y sequía a causa de su utilización por las algas (Esteves 1988), (Wetzel 1981) y (Roldán & Ramírez, 2008). La contaminación orgánica, industrial y agrícola constituyen una de las fuentes importantes de nitrógeno y fósforo en los ecosistemas acuáticos (Roldán & Ramírez, 2008). La adición de nutrientes en cantidades excesivas a los cuerpos de agua es responsable del fenómeno de eutrofización (CCME, 2008).

2.1.7.1. Nitrógeno

Es uno de los componentes básicos de la biomasa, las principales fuentes del nitrógeno es la lluvia, material orgánico e inorgánico, de origen alóctono y la fijación molecular (Esteves, 1988). En los lagos es de naturaleza microbiana, la oxidación y la reducción bacteriana de los compuestos de nitrógeno están asociados a la asimilación fotosintética y a su utilización por plantas acuáticas (Wetzel, 1981).

La importancia del nitrógeno en el agua radica en que es el componente fundamental de las proteínas, las cuales constituyen la base estructural de los seres vivos (Tundisi & Tundisi, 2008). La oxidación y la reducción bacteriana de los compuestos de nitrógeno están asociados a la asimilación fotosintética y a su utilización por las algas y plantas acuáticas (Wetzel, 1981).

A causa de la actividad de ciertos microorganismos el nitrógeno puede encontrarse en ciertos estados de valencia, en los ambientes acuáticos puede presentarse como: N-NO_3^- , N-NO_2^- , N-NH_3^+ , N-NH_4^+ y N_2 . De estas formas el nitrato y el amonio son las más importantes para los ecosistemas acuáticos, por cuanto constituyen la fuente principal para los organismos residentes en este medio. El N-NH_4^+ es muy importante para los productores ya que puede ser utilizado como fuente de nitrógeno para la síntesis de proteínas (Roldán &

Ramírez, 2008). En medios aeróbicos su concentración es muy baja y los nitratos son la fuente principal para el fitoplancton, concentraciones de $0,25 \text{ mg.l}^{-1}$ afectan el crecimiento de los peces y mayores a $0,5 \text{ mg.l}^{-1}$ se consideran letales (Hasson, 2005) y (Roldán & Ramírez, 2008).

2.1.7.2. Fósforo

Juega un papel importante en el metabolismo biológico, es el más escaso en comparación con los demás nutrientes, normalmente actúa como limitante de la productividad biológica (Wetzel, 1981), (Roldán & Ramírez, 2008) y (Ruttner, 1972). La única forma importante desde el punto de vista limnológico es el ortofosfato, pues es la forma soluble, bioasimilable y es como las plantas acuáticas y el fitoplancton pueden absorberlo, a pesar de ser el factor limitante en la productividad primaria, en la mayoría de las aguas continentales ha sido considerado como el principal responsable de la eutrofización artificial de los ecosistemas acuáticos (Tundisi & Tundisi, 2008) y (Roldán & Ramírez, 2008).

2.1.8. Variables Hidrobiológicas

La base de la vida acuática la conforma el plancton, definido como la comunidad de microorganismos que vive suspendida en el agua. Son organismos microscópicos (varían desde unos pocos micrones a milímetros), con o sin órganos de locomoción, lo que limita sus movimientos (Pinilla, 2000). Los componentes más importantes del plancton son las bacterias (bacterioplancton), las microalgas (fitoplancton), los protozoos, los rotíferos, los cladóceros, los copépodos, larvas de insectos y peces (Ramírez J. J., 2000) y (Roldán & Ramírez, 2008).

2.1.8.1. Fitoplancton

Es el plancton vegetal constituido por algas libres de las aguas de los lagos y grandes ríos en las partes donde la velocidad es lenta, son los productores primarios, compuesto por un conjunto diverso de organismos pertenecientes a la

mayoría de grupos taxonómicos (Ramírez J. J., 2000), (Wetzel, 198) y (Bellinger & Segee, 2010).

Una de las principales características del fitoplancton es su coexistencia simultánea de numerosas poblaciones en un mismo hábitat, en determinados momentos algunas especies pueden presentar mayor dominancia (Ramírez J. J., 2000). En sistemas equilibrados la periodicidad estacional de la biomasa y la productividad fitoplanctónica es casi constante durante todo el año (Pinilla, 2000). Algunos factores ambientales aparte de la luz y la temperatura, como nutrientes orgánicos e inorgánicos juegan un papel importante, debido a que interaccionan para regular el crecimiento temporal y espacial del fitoplancton, también puede estar influenciado por ciertas condiciones de depredación y parasitismo (Wetzel, 1981) y (Esteves, 1988). Otra característica del fitoplancton es su capacidad bioindicadora como indicadores ecológicos de la calidad del agua (Ramírez J. J., 2000).

2.1.8.2. Clorofila- a

Es el pigmento fotosintético primario de todos los organismos fotosintetizadores que liberan oxígeno y está presente en todas las algas a excepción de las algunas bacterias fotosintéticas (Wetzel, 1981) y (Bronmark & Lars, 2005). La estimación de la concentración de la clorofila es una medida indirecta de la biomasa de los productores primarios fitoplanctónicos y es considerado frecuentemente en la caracterización trófica de los sistemas acuáticos (Cimera, 2004).

2.1.8.3. Zooplancton

El plancton de origen animal del agua dulce, es dominado por tres grupos principales: los rotíferos y dos subclases de crustáceos; los cladóceros y los copépodos (Wetzel, 1981). El zooplancton constituye una parte esencial en la alimentación de peces y macroinvertebrados acuáticos, son excelentes consumidores de fitoplancton y pueden modificar la estructura del ensamble fitoplanctónico por medio del consumo diferencial de algunas especies que son más fáciles de ingerir por su forma y tamaño, por lo que el aumento o disminución

de la biomasa de un lago y las consecuentes alteraciones de oxígeno, nutrientes y pH están en relaciones directa con los fenómenos de depredación (Gallo et al. 2009).

2.2. Carga de nutrientes

Expresa la cantidad en términos de masa de un elemento o un compuesto que es transportada a través de un cuerpo lótico por unidad de tiempo, se calcula multiplicando la concentración de un compuesto y el caudal de la corriente, las unidades en las que suele expresarse son en kg.d^{-1} ó Ton.mes^{-1} , etc. (Ramírez & Viña, 1998).

2.3. Metales pesados

Son metales cuya gravedad específica es igual o mayor a cuatro en comparación con la del agua y sus características físicas, químicas y ecotoxicológicas son perjudicial para la salud humana y ambiental, los metales pesados más peligrosos son plomo, mercurio, arsénico, cadmio, estaño, cromo, zinc y cobre (Walker et al. 2006). Son de toxicidad extrema porque como iones o en ciertos compuestos, son solubles en el agua y el organismo los absorbe con facilidad (Nebel & Wright, 1999). Los metales se convierten en contaminantes donde la actividad humana principalmente, la minería y la fundición, los libera de las rocas en las que se depositaron durante la actividad volcánica ó la erosión y los traslada a zonas donde pueden causar daños al medio ambiente (Walker et al. 2006).

2.4. Sedimentos: Granulometría y materia orgánica

2.4.1. Granulometría

La granulometría consiste en la determinación de los porcentajes de cada una de las fracciones que conforman el sedimento (Simpson & Batley, 2013). La composición granulométrica del sedimento en un sistema lacustre es un factor importante en la determinación de la composición físicoquímica, en los patrones de distribución de organismos y estructura de comunidades de macroinvertebrados bentónicos y juega un papel importante en la identificación,

monitoreo y distribución de metales contaminantes (Arias & Ramírez, 2009) y (Callisto & Esteves, 1996). La composición de los materiales de origen alóctono o autóctono y la velocidad con que se acumulan expresa la actividad del lago como receptor y como centro de actividad biológica (Margalef, 1983), citado por (Ramírez J. J., 2004). Los sedimentos actúan como una reserva tampón de nutrientes en la columna de agua, por un lado amortiguan los aumentos de nutrientes provenientes de la descomposición de la materia orgánica y por otro compensan los déficit de esta en periodos de alta demanda biológica (Ramírez J. J., 2004).

2.4.2. Materia orgánica

Dentro de los principales constituyentes de la materia orgánica se encuentran: carbono orgánico, nitrógeno orgánico, pigmentos y carbohidratos, los cuales conforman los elementos básicos de la estructura y en la actividad metabólica de los organismos (Jacome & Llanos, 1990). Los sedimentos ricos en compuestos de materia orgánica, nitrógeno y fósforo de origen autóctono son típicos de lagos eutróficos, mientras que sedimentos con baja concentración materia orgánica, compuestos nitrogenados y fosfatados caracterizan lagos oligotróficos (Ramírez J. J., 2004). En cuanto al contenido de materia orgánica los sedimentos de los sistemas lacustres se han clasificado en dos categorías: los que presentan porcentajes menores al 10%, designados como sedimentos minerales y aquellos con un porcentaje mayor a 10%, clasificados como sedimentos orgánicos del tipo gyttja, este tipo de sedimento en estado fresco es pastoso e hidratado, un color entre gris verdoso a negro, el origen de este sedimento es material fecal que constituye el mayor aspecto de su formación (Ramírez J. J., 2004). Además, presentan pH cercanos al neutro y altas concentraciones de fósforo y nitrógeno (Wetzel, 1981).

2.5. Microorganismos patógenos

Las aguas superficiales están sometidas en menor o mayor grado a contaminación por microorganismos procedentes de vertidos de desechos líquidos, sólidos y de

precipitación. Los microorganismos considerados como indicadores de contaminación son de origen intestinal y provienen de la flora normal del intestino del hombre y de animales de sangre caliente (Roldán & Ramírez, 2008). Dentro de estos cabe destacar: los bacilos del género *Clostridium*, indicadores de contaminación tardía de las aguas con material fecal, *Streptococcus fecalis* que es indicadora de contaminación fecal reciente, ya que estos microorganismos mueren rápidamente fuera del cuerpo humano, el grupo de Coliformes con sus distintas especies: *Proteus vulgaris*, *P.mirabiles*, *Escherichia coli*, *Enterobacter aerogenes*, *Aerobacter*, etc., son de gran importancia desde el punto de vista sanitario debido a que la presencia de este grupo constituye el indicio más serio de contaminación (Roldán & Ramírez, 2008).

2.6. Eutrofización

Se define como el enriquecimiento del medio acuático con nutrientes, ocasionando crecimiento excesivo de plantas acuáticas, abundante contenido de fitoplancton y el deterioro de la calidad del agua (Hutchinson, 1969) y (Moreta, 2008). La eutrofización ocurre generalmente en aguas lentas y puede determinarse mediante las variables que la causan como nutrientes, principalmente fósforo u ortofosfato, la densidad fitoplanctónica, la concentración de clorofila-a, medición de la transparencia secchi y la concentración de oxígeno (Ramírez & Viña, 1998).

La eutrofización había sido considerado como un proceso natural de los cuerpos de agua que se llevaba a cabo durante miles de años, actualmente se habla de eutrofización cultural determinada por la intervención del hombre, que ha provocando que este proceso se intensifique por el aporte continuo de nutrientes (Moreno & Ramírez, 2010).

El estado trófico describe la relación entre los nutrientes y el crecimiento de la materia orgánica en un lago e implica la interacción de numerosas variables, por lo que un solo indicador no establece un límite de trofía (Moreno et al. 2010).

III. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Recopilación de la información primaria

La información primaria fue obtenida inicialmente a través del reconocimiento del área de estudio. Seguidamente por el diseño de monitoreo mensual de aforos de ríos y de monitoreo para calidad de agua de los ríos y del lago, y la posterior interpretación de los resultados analíticos de los laboratorios.

3.2. Recopilación de información secundaria

Se recopiló información sobre las características biofísicas de la subcuenca del Lago de Yojoa a nivel local a través de las instituciones pertinentes presentes en el área, ENEE, AMUPROLAGO, CESCO, con el apoyo de la Autoridad de Manejo de la Subcuenca (HONDULAGO).

Esta información contempló diagnósticos, estudios, caracterizaciones e investigaciones sobre: cobertura y uso de suelo, geología, clima, precipitación, actividades de desarrollo etc., aspectos relevantes para cada una de las microcuencas que drenan al lago y sobres estudios e investigaciones relacionadas a la calidad y caracterización fisicoquímica y biológica del agua del lago que se han realizado.

La información recopilada se organizó y analizó, sirviendo de insumo para realizar una gira de reconocimiento del área de estudio en general, en particular para diseñar y planificar el trabajo de campo: para realizar aforos, colecta de muestra y como antecedentes del proyecto de investigación.

3.3. Puntos de medición de caudales y colecta de muestras de agua y sedimeto

Posterior a la gira de reconocimiento del área de estudio, se seleccionaron cinco principales tributarios del Lago de Yojoa, siendo los ríos: Raíces, El Helado, Varsovia, Yure, El Cacao y el punto de salida del agua del lago (canal artificial de salida). El criterio de selección fue la influencia de las actividades que se

desarrollan en las microcuencas. Asimismo, se seleccionaron tres sitios de muestreo en el lago, Centro Norte, Centro y Centro Sur con sus respectivos perfiles (Figura 3).

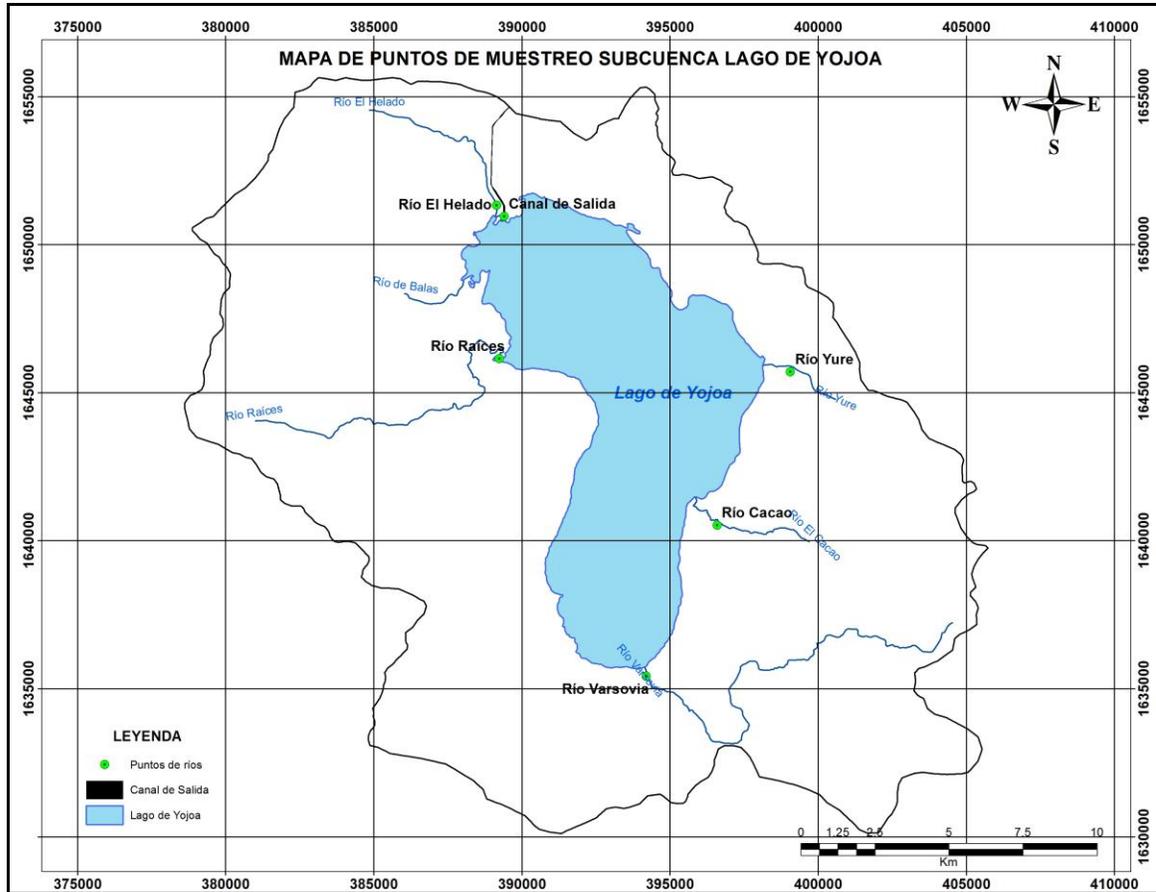


Figura 3. Puntos de muestreo en ríos y Lago.

En la Tabla 2 se describen los criterios utilizados para la selección de los sitios de muestreo. Los puntos de aforo se ubicaron a menos de 100 m antes de la descarga de los tributarios al cuerpo de agua a excepción del río Varsovia que se hizo a un km aproximadamente por su dificultad de acceso antes de descargar al lago.

Tabla 2. Criterio de selección de los puntos de muestreo.

Ríos/Lago	Longitud (km)	Área (km ²)	Descripción
Raíces	12,9	62,13	Afluente importante de lago recibe la descarga las aguas residuales de la comunidad de las Vegas, el municipio de mayor población de la subcuenca.
Varsovia	17,25	53,7	Canal de entrada del que se incorpora agua al lago.
El Helado	7,2	42,8	Sector noroeste, a 800 m del canal de salida. Afluente de mayor caudal.
Yure	10,8	35,5	Sector noreste del lago. A través de este tributario se le incorpora agua al lago, para generación hidroeléctrica.
El Cacao	5,04	14,6	En la parte baja, cercana al lago, es utilizada para el pastoreo de ganado.
Lago Centro Norte			Cerca de la profundidad máxima, influencia quebrada Raíces y complejos hoteleros con pequeños puertos en costa Norte del lago.
Lago Centro			Punto de muestreo cercano a las jaulas de producción acuícola a escala industrial.
Lago Centro Sur			Perímetro sector sureste, se ubican alrededor de 65 restaurantes.
Canal de salida			Canal artificial, nueva salida del agua del lago.

3.4. Diseño del muestreo

El muestreo se realizó por ciclo estacional, estación lluviosa y estación seca, en la Tabla 3 se muestran los meses de muestreos y las actividades que se realizaron en cada uno.

Tabla 3. Actividades de campo realizadas durante el monitoreo de la subcuenca del Lago de Yojoa.

Época	Mes	Actividades		
		Medición de caudales	Ríos	Lago
Lluviosa 2013	Agosto	x	x	x
	Octubre	x	x	
	Noviembre	x	x	x
Seca 2014	Enero	x	x	
	Marzo	x	x	x

3.5. Aforos y colecta de muestras

3.5.1. Aforos

Se realizaron aforos en los cinco principales tributarios y a la salida del lago (Tabla 2), para determinar el caudal de agua que pasa a través de esa sección transversal en un tiempo determinado (ecuación 1). Se empleó el método de medición de velocidad en el centroide del flujo, para el cual se utilizó el molinete marca Gourley, modelo 622A (ecuación 2). La técnica consiste en seleccionar una sección transversal y dividirla en segmentos, en este caso, de un metro con una cuerda graduada (Figura 4) donde: A , es el área de cada sección, V , es la velocidad de la corriente y Y , es profundidad de la columna de agua.

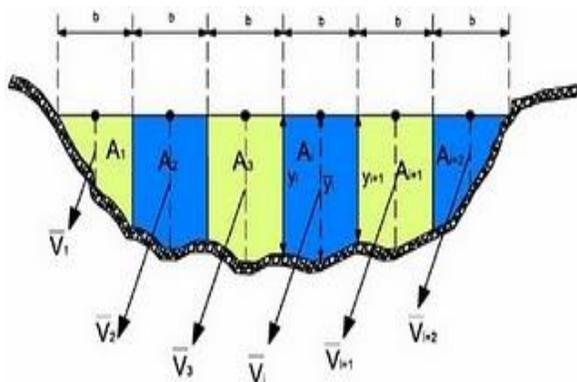


Figura 4. Sección Transversal de un río.



Foto 3. Aforo Quebrada El Cacao.

Tomado de: <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/>

$$Q = A * V \quad (\text{ecuación 1})$$

$$V = \frac{rev}{tiempo} * (2,2048) + (0,078 * 0,034) \quad (\text{ecuación 2})$$

Dónde: Q es el caudal, V es la velocidad del flujo, A es el área de la sección transversal y rev es el número de revoluciones.

3.5.2. Muestreo y variables a analizar

En cada jornada de muestreo se procedió inicialmente a realizar mediciones in situ de temperatura, OD (concentración y % de saturación), pH y CE (Fotos 4 y 5). Para conocer el patrón de distribución vertical en el Lago de Yojoa durante los tres muestreos, se realizaron mediciones de perfiles verticales en la columna de agua, metro a metro, en los primeros diez metros y después se completó con mediciones cada dos metros hasta el fondo en Centro norte, Centro y Centro Sur.

Se colectaron muestras en los puntos previamente seleccionados (Tabla 2), siendo en los principales tributarios, el Canal de Salida y en los tres puntos del Lago de Yojoa a tres profundidades de la columna de agua (superficie, medio y fondo). Solamente en el río Raíces se colectó muestra de sedimento para análisis de metales pesados y cianuro, debido a que recibe la descarga de aguas residuales proveniente de la mina El Mochito.



Foto 4. Medición de parámetros in situ.



Foto 5. Colecta de muestras.

En la Tabla 4 se presenta el número de muestras colectadas para el análisis de las diferentes variables en las matrices agua y sedimento en cada campaña de muestreo.

Tabla 4. Número de muestras colectadas para las diferentes matrices, en los ríos y en el Lago.

Variable	Agua		Sedimentos		Total de muestras	
	Lago	Ríos	Lago	Río	Agua	Sedimento
Fisicoquímico completo y amonio	9	5	*	*	14	*
Sólidos suspendidos totales	9	5	*	*	14	*
Nutrientes: NT, NO ₂ ⁻ , NO ₃ ⁻ , NH ₄ , PT y PRD	9	5	*	*	14	*
Materia orgánica en sedimento	3	*	*	*	3	*
Carbono Orgánico Disuelto	9	*	*	*	*	*
Demanda bioquímica de oxígeno	9	*	*	*	*	*
Demanda química de oxígeno	9	*				
Metales pesados y Cianuro	*	1	3	1	1	4
Fitoplancton (clorofila -a)	6	*	*	*	6	*
Zooplancton	3	*	3	*	3	3
Microbiológico	3	*	*	6	*	9
Granulometría	*	*	12	*	*	12

*No se tomó muestra de esta variable

3.6. Técnica y procedimiento analítico utilizado

3.6.1. Toma de muestra, preservación y traslado

Se tomaron las muestras según lo establecido en las Tablas 2, 3 y 4 tanto de agua y sedimento, se preservaron, almacenaron y trasladaron a los laboratorios, y se analizaron de acuerdo a los procedimientos establecidos en el CIRA/UNAN (Anexo 1: Tablas A1.1 y A1.2).

3.6.2. Análisis de datos

Para los resultados de las variables físicas, químicas e hidrobiológicas se calcularon los valores, mínimo, máximo, promedio, desviación estándar y la relación estadística entre las variables. Para efectuar el análisis se utilizó el

programa SPSS (v 17.0 © 1993-2007 Polar engineering and Consulting). En adición, para evaluar la calidad del agua de los tributarios y del Lago de Yojoa, los resultados se compararon con normas y reglamentos nacionales e internacionales referidos a la calidad y los diferentes usos para los que se puede destinar.

3.7. Estimación de carga de nutrientes

3.7.1. Carga instantánea

Para la estimación de la carga instantánea se midió el caudal Q ($\text{l}\cdot\text{s}^{-1}$) que ingresa a través de cada tributario en ambas épocas de muestreo y se tomó una muestra de agua en el mismo punto para obtener la concentración de fósforo (CP) y nitrógeno (CN) en $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$. La carga de fósforo (QP) y nitrógeno (QN) en $\text{mg}\cdot\text{s}^{-1}$ se obtuvo utilizando las ecuaciones siguientes:

$$QP = Q * CP \quad (\text{ecuación 3})$$

$$QN = Q * CN \quad (\text{ecuación 4})$$

La carga total se obtuvo al sumar el valor promedio de la carga para ambos periodos estudiados procedente de cada uno de los tributarios.

3.7.2. Cargas modeladas

La carga artificial se estimó a partir del modelo propuesto por Castagnino (1982) utilizando los coeficientes de exportación de nutrientes en base al uso de suelos para estimar la carga dispersa en lagos tropicales, y la aplicación del modelo propuesto por JØrgensen & Vollenweider (1988): "Cálculo de Carga de nutrientes en lago". Asimismo, se estimó la carga que ingresa por el cultivo de peces en jaulas a partir de investigaciones realizadas por la FAO (Beveridge, 1986).

3.7.2.1. Carga por uso de suelo

La carga de fósforo estimada por el uso de suelo se obtuvo a partir del área según el uso de suelo de la subcuenca, estimada en estudios anteriores (Tabla 1) y

utilizando los coeficientes de exportación propuestos por Castagnino (1982). La carga de fósforo (QP) y nitrógeno (QN) provista por el suelo se estimó a través de las siguientes ecuaciones 5 y 6:

$$QP = At * EP \quad \text{(ecuación 5)}$$

$$QN = At * EN \quad \text{(ecuación 6)}$$

Donde At (m^2) es el área para cada uso de suelo, EP y EN son los Coeficientes de Exportación para el fósforo y nitrógeno. En la Tabla 5 se presentan los coeficientes de exportación antes mencionados según el uso de suelo.

Tabla 5. Coeficientes de exportación del nitrógeno y fósforo según el uso de suelo.

Uso de Suelo	Fósforo total (g/m^2 año)	Nitrógeno total (g/m^2 año)
Urbano	0,1	0,5
Agrícola	0,05	0,5
Bosque	0,01	0,3

Fuente: CEPIS (2001).

3.7.2.2. Carga por precipitación y carga artificial

La estimación de la carga de fósforo por precipitación y la carga artificial se realizó aplicando el modelo de “Calculo de carga en Lagos” propuesto por Jørgensen & Vollenweider (1988) y utilizando los datos de precipitación media estimada para el Lago de Yojoa y la proyección de población presente en el área hasta el año 2010 a partir del censo de población del año 2001. La carga total de fósforo y nitrógeno por precipitación (QPP y QPN) y por carga artificial (QP_w y QN_w), se obtuvo a partir de las ecuaciones 7, 8, 9 y 10:

$$QPP = P * CPP * AS \quad \text{(ecuación 7)}$$

$$QNP = P * CNP * AS \quad (\text{ecuación 8})$$

$$QP_w = EP * \Sigma h \quad (\text{ecuación 9})$$

$$QN_w = EN * \Sigma h \quad (\text{ecuación 10})$$

Donde **P** es la precipitación (mm), **AS** el área superficial del cuerpo de agua (m²), **CPP** y **CPN** las concentraciones de fósforo y nitrógeno por precipitación, **h** número total de habitantes en el área, **EP** y **EN** la carga anual per cápita de fósforo y nitrógeno. En la Tabla 6 se presentan los valores promedios de fósforo y nitrógeno contenidos en el agua de lluvia propuestos para estimar la carga por precipitación y por carga artificial.

Tabla 6. Valor medio de las concentraciones de nutrientes por precipitación y por carga artificial.

Nutrientes	Fósforo total	Nitrógeno Total
Precipitación (mg.m ⁻² año)	0,07	1,00
Carga artificial (g)	1 200	3 400

Fuente:(JØrgensen & Vollenweider, 1988).

3.7.2.3. Carga por el cultivo de peces en jaulas flotantes

La carga de nutrientes que ingresa a través del cultivo de peces en jaulas flotantes, se estimó mediante valoraciones realizadas por la FAO en 1996, para evaluar la capacidad de carga de los ecosistemas. La introducción de nutrientes varía según el tipo de alimento utilizado y la digeribilidad de la especie. En la producción intensiva de tilapia, por cada tonelada producida se introducen al ambiente 23-29 kg de fósforo total y 100 Kg de nitrógeno total, a partir de estas estimaciones y considerando la producción total de tilapia producida anualmente en el Lago de Yojoa se calculó la carga total de fósforo y nitrógeno.

3.8. Estimación del índice de estado trófico

El índice de estado trófico de Lago de Yojoa se estimó mediante la aplicación de tres modelos que utilizan como variables, la profundidad de visión al disco de Secchi, las concentraciones superficiales de fósforo total y clorofila-a, el IETM además incluye el fósforo reactivo disuelto.

En la Tabla 7 se detallan el índice de estado trófico de Carlson (IETC), el índice modificado de Toledo et al. (1985) (IETM), dado que es difícil utilizar un solo modelo para determinar el estado trófico de un cuerpo de agua, debido a la compleja interacción entre las numerosas variables y las características morfológicas de un sistema.

Tabla 7. Categoría trófica de acuerdo a criterio de IETC y IETM.

Estado trófico	Oligotrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Hipereutrófico
IET Carlson (1977)	0-40	40-60	60-100	> 100
IET Modificado Toledo et al (1984)	<44	44-54	54-74	>74

También se utilizó el índice de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) para la clasificación trófica de los cuerpos de agua, el cual se detalla en la Tabla 8.

Tabla 8. Valores límites propuestos por la OCDE para un sistema completo de clasificación trófica.

Categoría trófica	PT ($\mu\text{g.l}^{-1}$)	Cl-a ($\mu\text{g.l}^{-1}$)	Secchi (m)
Ultraoligotrófico	<4	<1	>12
Oligotrófico	<10	< 2,5	12- 6
Mesotrófico	10-35	2,5-8	6- 3
Eutrófico	35-100	25-75	3-1.5
Hipereutrófico	>100	>75	< 1,5

Fuente: Modificado de OCDE (1982) en Moreno et al (2010).

IV.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Características fisicoquímicas y calidad del agua de los principales tributarios

Se caracterizaron los principales tributarios que drenan sus aguas al lago. Se estudió la calidad y la dinámica de cada parámetro a nivel físico, químico y microbiológico, durante la época lluviosa (agosto, octubre y noviembre del 2013) y época seca (enero y marzo del 2014), para conocer el comportamiento espacial y temporal.

4.1.1. Características físicas y químicas

4.1.1.1. Temperatura

La temperatura mostró variación temporal entre los 18,6 y 27,2 °C en la época seca. El valor más alto lo registró el río Yure con 27,2 °C (marzo-2014) y el valor más bajo el río El Helado con 18,6 °C (enero-2014), los bajos valores de temperatura son característicos de este tributario. En la época lluviosa los valores fluctuaron entre los 20,0 y 21,1 °C. La temperatura del agua de los tributarios en estudio estuvo influenciada por la temperatura ambiental, los valores más bajos para todos los tributarios se registraron entre los meses de noviembre-2013 y enero-2014 que es la época de la llegada de frentes fríos al país y los valores más altos en la época seca. El valor promedio obtenido fue de 23 °C: La Tabla 9 muestra los valores promedio y en el Anexo 2 en Tabla A.2.1 se reportan los valores medidos para cada tributario durante todo el estudio.

4.1.1.2. Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto presentó valores promedio entre 7,8 mg.l⁻¹ en la época lluviosa y 5,8 mg.l⁻¹ en la época seca. En la época seca se registraron los mayores valores de temperatura lo que influye en la solubilidad del oxígeno que disminuye cuando la temperatura es mayor. Además disminuye debido al poco movimiento en las corrientes provocado por el descenso del flujo de agua. Las concentraciones más

altas las registró el río El Helado con valores entre 6,0 y 8,6 mg.l⁻¹ y el río Yure presentó los valores más bajos de 4,7 y 4,8 mg.l⁻¹ en noviembre-2013 y marzo-2014, respectivamente, resultado de las condiciones ambientales del entorno y de cambios naturales.

En general los ríos muestreados presentaron concentraciones que se encuentran dentro del rango óptimo recomendado por las normas canadienses de calidad de agua para la preservación de la vida acuática que es de 5,0 a 9,5 mg.l⁻¹ (CCME, 2008). La Tabla 9 muestra los valores promedios de OD registrados. En el Anexo 2, Tabla A.2.1, se reportan los valores tomados in situ.

Tabla 9. Valores promedio de parámetros físicoquímicos medidos in situ en los tributarios.

Tributario	Temp.	O.D	pH	Turbidez	Color	CE	STD
	(°C)	(mg.l ⁻¹)	(Unid. pH)	(UNT)	(mg.l ⁻¹) Pt-Co	(μS.cm ⁻¹)	(mg.l ⁻¹)
Yure	25,0	5,8	7,9	6,2	15	55,5	43,7
Cacao	23,8	6,5	7,9	7,1	15	70,3	59,6
Varsovia	23,0	6,5	8,1	9,1	15	80,2	65,3
Raíces	22,9	6,1	8,2	40,6	6,7	391,3	240,1
El Helado	19,8	7,2	8,2	14,0	15	255,3	155,7

4.1.1.3. pH

En la época seca los ríos Cacao y El Helado registraron los valores más altos de pH con 8,4 y 8,4 unidades, respectivamente. El río Varsovia registró el valor más bajo con 8,3. Por otro lado, en la época lluviosa los valores de pH disminuyeron, el valor más alto lo registró el río Raíces 8,3 y el menor valor lo registró el río Cacao con 7,3 unidades. Los valores de pH medidos se encontraron entre 6,0 y 9,0 unidades que son valores normales para aguas superficiales y no representan ningún riesgo para la vida acuática (Roldán & Ramírez, 2008). Los valores medidos in situ se registran en el Anexo 2, Tabla A.2.2.

4.1.1.4. Turbidez

El río Raíces registró los valores más altos en época lluviosa con 112,8 UNT atribuido al arrastre de material desde la parte alta de la microcuenca, seguido de el río El Helado con 23 UNT. En la época seca la turbidez disminuyó registrándose valores $\leq 5,0$ UNT, excepto el río el Cacao que registró un valor de 6,5 UNT. El rango de turbidez registrado fue entre 6,3 y 40 UNT (Tabla 9, Anexo 2: Tabla A.2.2). De acuerdo con la Organización Mundial para la Salud (OMS, 1996), la turbidez del agua para consumo humano no debe superar en ningún caso las 5,0 UNT.

4.1.1.5. Color

El valor promedio encontrado fue de 15 mg.l^{-1} Pt-Co en las dos épocas de estudio (Tabla 9, Anexo 2: Tabla A.2.2). Los ríos Raíces y El Helado registraron el menor valor en la época seca $5,0 \text{ mg.l}^{-1}$ Pt-Co. El río El Helado registró valor de 25 mg.l^{-1} Pt-Co en época lluviosa. En el agua para consumo humano de acuerdo a la Norma para la Calidad del Agua para consumo humano el valor máximo admisible es de 15 mg.l^{-1} Pt-Co (CAPRE, 1995).

4.1.1.6. Conductividad eléctrica

Los ríos Yure, Cacao, Varsovia presentaron valores promedio de 55, 70 y $80 \mu\text{S.cm}^{-1}$, respectivamente. Los ríos Raíces y El Helado registraron valores promedio de 391 y $255 \mu\text{S.cm}^{-1}$. Los valores registrados en todos los sitio de muestreo presentaron concentraciones por debajo del valor recomendado tanto para la calidad potable que es de $400 \mu\text{S.cm}^{-1}$ y otros usos como agrícola, uso pecuario que recomienda hasta $3\ 000 \mu\text{S.cm}^{-1}$ (NTNA, 2001), (FAO, 1985). La conductividad eléctrica varió con los ciclos estacionales, en la época seca se registraron los valores más altos, atribuido al tiempo de contacto del agua con el material geológico al disminuir la velocidad de las corrientes, por el descenso de la precipitación y el aumento de la evaporación aumentando así la concentración de

sales (Cimera, 2004). Los valores medidos in situ se registran en el Anexo 2, Tabla A.2.1.

4.1.1.7. Sólidos totales disueltos

Los ríos Raíces y El Helado presentaron los valores más altos de sólidos disueltos totales en la época lluviosa de 152 y 249 mg.l⁻¹ y en la época seca registraron valores entre 283 y 161 mg.l⁻¹, respectivamente (Figura 5). Los demás tributarios presentaron valores ≤ 100 mg.l⁻¹ en ambas épocas. Los resultados obtenidos muestran que estas aguas tienen bajo contenido iónico con valores de STD de 26,3 a 150 mg.l⁻¹ (Roldán & Ramírez, 2008), excepto el río Raíces que presentó mineralización intermedia con valores entre 160 y 280 mg.l⁻¹. La Figura 5 muestra la relación existente entre CE y STD, apreciándose que el agua de los tributarios estudiados son de bajo contenido iónico con bajos valores de CE, excepto el río Raíces que registró los valores mayores en ambos parámetros. En el Anexo 2, Tabla A.2.2 se aprecia los valores de sólidos disueltos totales para cada tributario estudiado en cada una de las épocas muestreadas.

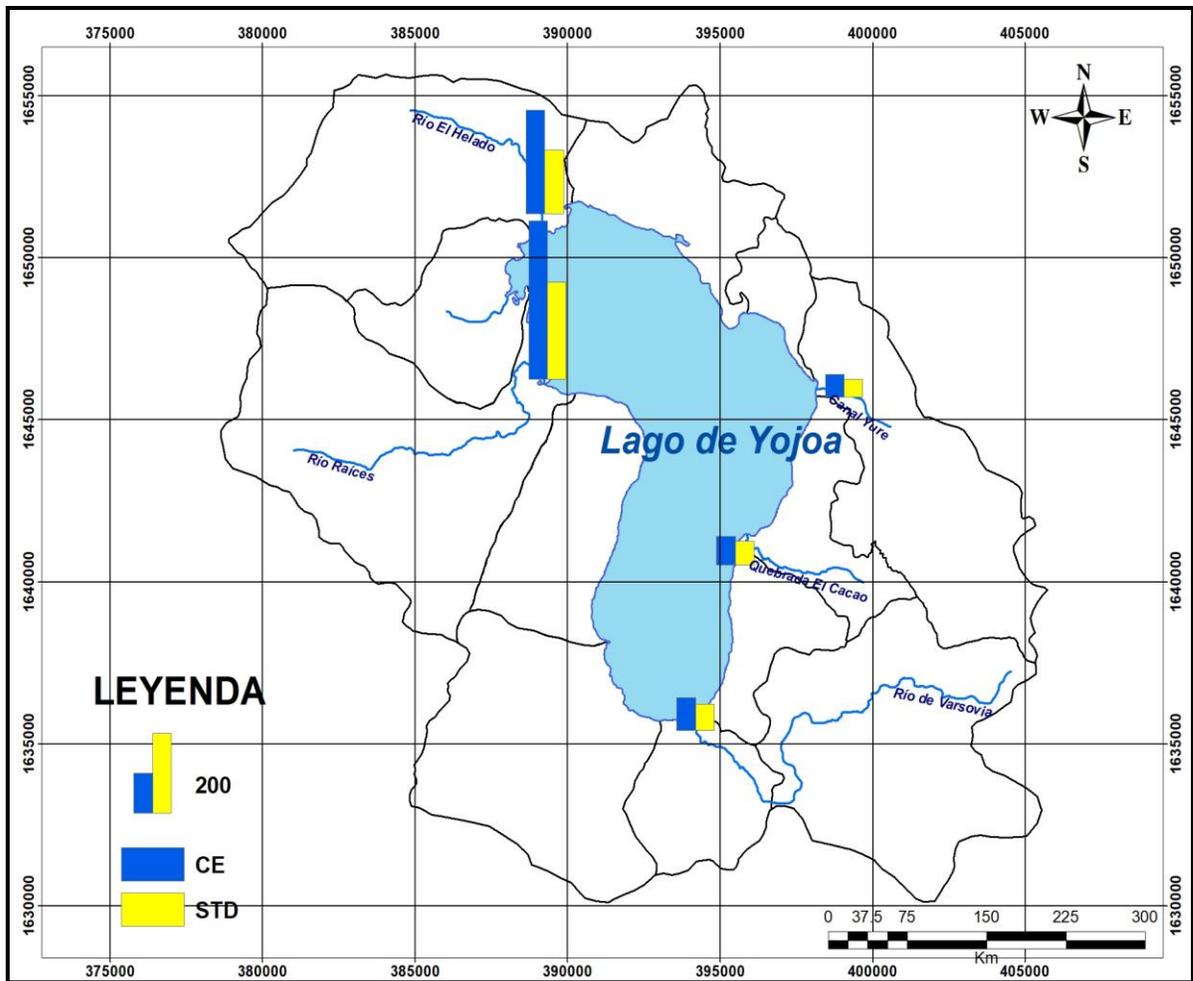


Figura 5. Conductividad eléctrica y sólidos totales disueltos en los principales tributarios del Lago de Yojoa.

4.1.1.8. Sólidos suspendidos totales

La concentración de SST en las aguas de los tributarios fue relativamente baja en ambas épocas de muestreo, con rango de valores entre 4,0 a 7,0 mg.l⁻¹ (Anexo 2: Tabla A.2.3). La concentración de SST incrementó en la época lluviosa producto del arrastre de partículas por la escorrentía en asociación con el grado de intervención humano en los suelos. Sin embargo, en los resultados de la época lluviosa no se aprecia este efecto, que es atribuido a que ya habían transcurrido las primeras precipitaciones. Por tanto, de acuerdo con Ramírez & Viña, (1998) los valores de sólidos obtenidos (< 10 mg/L de SST) indican aguas de muy buena calidad.

4.1.2. Composición iónica

4.1.2.1. Aniones

Los iones bicarbonatos constituyeron entre el 60 y el 90% de los aniones, seguido por los iones sulfato que representaron entre el 3,0 y el 36%. Los ríos El Helado y Raíces registraron las concentraciones más altas de iones bicarbonatos con valores de 161,5 y 207,1 mg.l⁻¹. La dominancia del ion bicarbonato fue favorecida por los valores de pH entre 7,3 y 8,4 en los tributarios en estudio. La Tabla 10 muestra los valores promedio de la composición iónica de cada uno de los tributarios en estudio.

Tabla 10. Composición iónica de los tributarios principales (mg.l⁻¹).

Tributario	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	Fe ⁺	SiO ₂	Alcalinidad	Dureza
Yure	34,38	4,47	0,64	7,24	0,57	4,36	1,96	0,25	22,12	28,20	20,40
Cacao	37,83	6,61	0,53	8,74	1,23	4,51	2,46	0,28	29,27	33,00	26,90
Varsovia	46,99	6,34	0,55	10,29	0,76	5,00	2,89	0,20	29,01	38,50	27,00
Raíces	207,06	35,69	1,24	74,30	4,17	4,85	1,26	0,24	10,64	169,70	215,60
El Helado	161,50	6,94	0,48	47,92	6,36	0,93	0,71	0,58	6,64	139,00	145,40

Los iones sulfatos se encuentran dentro del rango de valores normales para las aguas dulces, entre 2,0 y 10 mg.l⁻¹ de acuerdo en Roldán & Ramírez (2008), a excepción del río Raíces que presentó valores de 33 y 60 mg.l⁻¹ en agosto-2013 y marzo-2014, respectivamente, como consecuencia de la influencia de las aguas residuales domesticas que son descargadas en el.

Los iones cloruros fueron encontrados únicamente en la época seca en pequeñas concentraciones, el valor más alto fue de 3,5 mg.l⁻¹ en el río Raíces, producto de las aguas residuales o al descenso del volumen de agua por la disminución de la precipitación, aumentando la evaporación y la concentración de sales.

La Figura 6 muestra la composición y distribución de los aniones de bicarbonato y sulfato que fueron encontrados en mayor concentración en los tributarios del

estudio. Se observó poca variación entre la época seca y la lluviosa, por lo general en la época lluviosa el contenido iónico aumenta por el arrastre de compuestos químicos hacia los cuerpos de agua desde terrenos desprotegidos a través de fenómenos de abstracción y erosión.

4.1.2.2. Cationes

En la Figura 6 se aprecia la distribución de los principales cationes de los tributarios en estudio. El calcio representó entre el 40 y 87% de los cationes, seguido por el sodio con 14% y magnesio con 10%. Los ríos El Helado y Raíces registraron los valores más altos en cuanto al contenido de calcio con 48 y 74 mg.l⁻¹, respectivamente. Los demás iones se registrarán en pequeñas concentraciones (Tabla 10), los rangos variaron de 0,5 a 6,4 mg.l⁻¹ para el magnesio, de 0,93 a 5,0 mg.l⁻¹ para el sodio y de 0,71 a 2,9 mg.l⁻¹ para el potasio. Asimismo, el hierro registró valor máximo de 0,6 mg.l⁻¹ en el río El Helado. El sílice presentó el valor mínimo de 6,0 mg.l⁻¹ en el río El Helado y los valores máximos de 29 mg.l⁻¹ en los ríos Cacao y Varsovia. Los valores registrados para ambos iones se encuentran dentro del rango de valores contenidos en las aguas superficiales, de 0,1 a 0,8 mg.l⁻¹ para el hierro y de 0,2 a 60 mg.l⁻¹ para el sílice (Roldán & Ramírez, 2008 y Rivera, 2004).

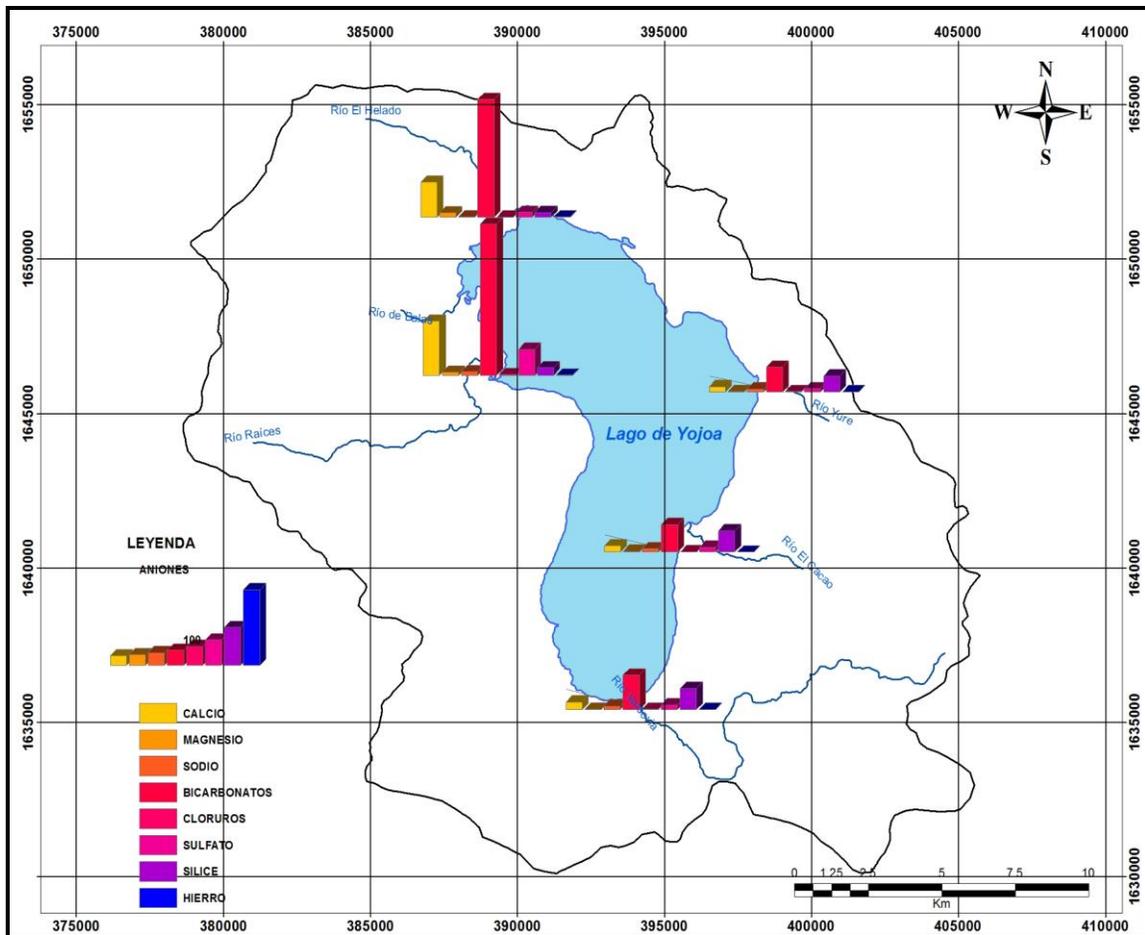


Figura 6. Composición iónica de los tributarios del Lago de Yojoa

Por lo general los aniones bicarbonato y cationes de calcio son los más abundantes en las aguas dulces (Esteves, 1988). En la zona Oeste donde se ubican estos tributarios se encuentran depósitos de roca caliza y es caracterizada por fenómenos kársticos (Geólogos del Mundo, 2007). De los cationes el calcio y el magnesio son los más abundantes en los sistemas de agua dulce, seguidos por los iones de sodio y potasio que por lo regular se encuentran en bajas concentraciones (Roldán & Ramírez, 2008).

Por tanto, la calidad del agua respecto al contenido de aniones y cationes, conforme las concentraciones registradas se encontraron por debajo de los valores recomendados y máximos admisibles, no representan ningún riesgo tanto para consumo humano, uso recreativo, la preservación de la flora y la fauna de

acuerdo en la NTNA (2001) y a la Norma de Calidad de agua para Consumo Humano (CAPRE, 1995).

4.1.2.3. Alcalinidad

Los valores de alcalinidad encontrados en los tributarios fluctuaron entre 28 y 169 mg.l^{-1} (Tabla 10, Anexo 2: Tabla A.2.2). El río Raíces presentó aguas altamente alcalinas con valores entre 160 y 185 mg.l^{-1} . El río El Helado presentó alcalinidad media de 139 mg.l^{-1} , mientras que los ríos Yure, Varsovia y Cacao presentaron aguas poco alcalinas, y con valores menores a 40 mg.l^{-1} . El ion bicarbonato contribuyó mayoritariamente a la alcalinidad del agua, es el anión dominante aducido principalmente al material geológico de la zona. El rango de alcalinidad en el agua varía entre valores de 50 a 200 $\text{mg.l}^{-1} \text{CaCO}_3$ (Baird, 2001).

4.1.2.4. Dureza

Los ríos Yure, Cacao y Varsovia se caracterizaron por ser de aguas blandas, el rango promedio de dureza total como CaCO_3 fue entre 20 y 27 mg.l^{-1} (Tabla 10). Mientras que el río El Helado reportó un valor promedio de 150 mg.l^{-1} , considerándose según OMS (2006) como aguas duras. El río Raíces presentó valores entre 150 y 270 mg.l^{-1} , siendo clasificadas como aguas muy duras de acuerdo con OMS (2006). La dureza de estos ríos es debido a la presencia de los iones de calcio y bicarbonato, que fueron los iones que se encontraron en mayor concentración en este estudio (Tabla 10, Anexo 2: Tabla A.2.2). El calcio generalmente se encuentra en abundancia en las aguas dulces y para esta zona de la subcuenca (Oeste) se han identificado depósitos de rocas calizas del grupo Yojoa de acuerdo al estudio Hidrogeológico del Lago de Yojoa realizado por (Geólogos del Mundo, 2007).

4.1.3. Tipo hidroquímico

Se determinó un predominio de las aguas tipo $\text{HCO}_3\text{-Ca-Na}$ y las $\text{HCO}_3\text{-Ca}$, sin embargo, hay variaciones en la época seca y en la lluviosa, el bicarbonato junto con el calcio son los iones predominantes en la caracterización de un agua

(Ramos & Márquez, 2007). La Tabla 11 muestra los tipos hidroquímicos encontrados en cada tributario y la evolución en cuanto al contenido de aniones, se puede observar el importante papel que juega la hidrólisis y el intercambio iónico en la composición de las aguas al cambiar de un tipo hidroquímico a otro.

Tabla 11. Tipos hidroquímicos del agua de los principales tributarios del Lago de Yojoa.

Tributarios	Agosto	Noviembre	Marzo
Yure	HCO ₃ -Ca-Na	HCO ₃ -Ca-Na	HCO ₃ -Na-Ca
Cacao	HCO ₃ -Ca-Na	HCO ₃ -SO ₄ -Ca	HCO ₃ -Ca-Na
Varsovia	HCO ₃ -Ca-Na	HCO ₃ -SO ₄ -Ca	HCO ₃ -Ca-Na
Raíces	HCO ₃ -Ca	HCO ₃ -Ca	HCO ₃ -SO ₄ -Ca
El Helado	HCO ₃ -Ca	HCO ₃ -Ca-Mg	HCO ₃ -Ca

La figura 7 muestra la influencia de cationes y aniones en los ríos. En los ríos Yure, Cacao y Varsovia en agosto-2013 se apreció un aporte del ion sodio, siendo el tipo hidroquímico **HCO₃-Ca-Na**, este tipo hidroquímico indica que las aguas son de muy reciente infiltración que aún conservan los núcleos de sal del agua de lluvia, o por incorporación de aguas residuales (Padilla & García, 2012). Los ríos Cacao, Varsovia y Raíces presentaron un aporte del ion sulfato que podría atribuirse como consecuencia del vertido de aguas residuales que contienen residuos de jabón (Ramos & Márquez, 2007). Los ríos Raíces y El Helado presentaron el tipo **HCO₃-Ca** son consideradas como aguas de recarga o producto de las precipitaciones las cuales han tenido mayor tiempo de recorrido, a su vez río El Helado cambió al tipo **HCO₃-Ca-Mg** presentando un aporte de magnesio en noviembre-2013, este patrón obedece a recarga reciente e incorporación de sustancias a través del material geológico con el cual están en contacto (Ramos & Márquez, 2007).

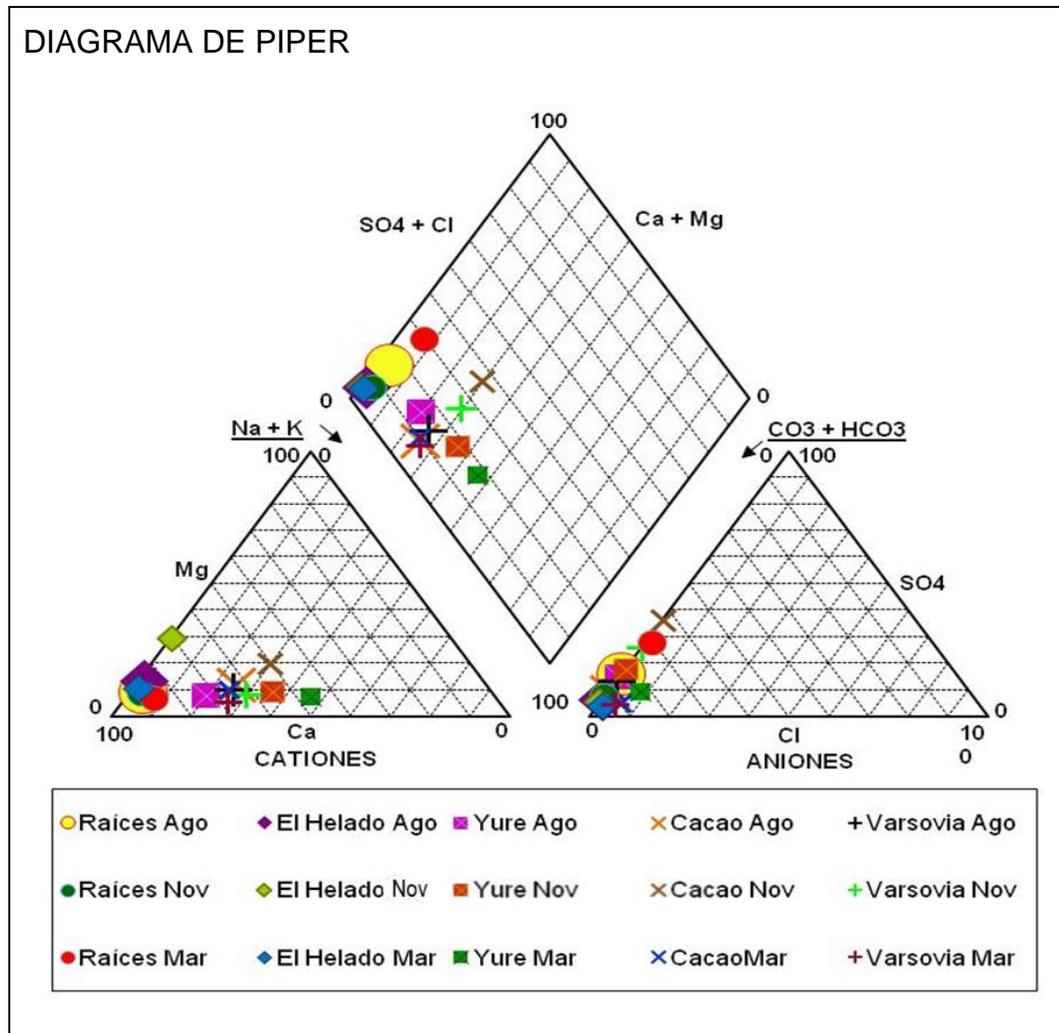


Figura 7. Tipos hidroquímicos del agua de los tributarios del Lago de Yojoa.

En el caso particular de los tributarios estudiados la evolución del tipo hidroquímico de sus aguas fue debido al tipo de material geológico y antropogénico que se encuentran en las áreas de drenaje de los mismos, bien en la superficie del suelo o arrastrado por las corrientes superficiales, dado que son áreas que albergan varios poblados que no cuentan con un sistema de tratamiento de aguas residuales (MARENA, 2005).

4.1.4. Calidad microbiológica del agua de los tributarios principales

La Figura 8 muestra la presencia de microorganismos patógenos en las aguas de los tributarios estudiados. La población bacteriana para agosto-2013 se encontró en niveles elevados en todos los tributarios, los valores oscilaron entre $0,24 \times 10^4$ a

$9,2 \times 10^4$ NMP/100 ml de Coliformes totales, para Coliformes termotolerantes y *E. coli* se encontraron en un rango de $0,049 \times 10^4$ a $5,4 \times 10^4$ NMP/100 ml. Los *estreptococos* presentaron valores de $0,16 \times 10^4$ a $0,49 \times 10^4$ NMP/100 ml.

De acuerdo a los resultados obtenidos en agosto-2013, los cinco tributarios presentaron alto grado de contaminación. El tributario que presentó mayor concentración bacteriana fue el río Raíces seguido por el río Varsovia con 92 000 y 22 000 NMP/100 ml Coliformes totales, respectivamente. Los ríos Yure y Cacao presentaron igual población de Coliformes totales de 2 400 NMP/100, pero la población de Coliformes termotolerantes, *E. coli* y *Estreptococos* fue mayor en el río Yure con 1 300 NMP/100 (Figura 8 y Anexo 2: Tabla A.2.4).

En noviembre-2013 el río Varsovia presentó la mayor concentración de Coliformes totales con 10 500 UFC/100 ml y 60 000 UFC/100 de Coliformes termotolerantes seguido por el río Raíces y el río Yure. Se encontró *E. coli* en los ríos Raíces, Cacao y Yure, excepto en los ríos Varsovia y El Helado. En cambio, los mayores valores para *Estreptococos* se encontraron en los ríos Raíces, Varsovia y El Helado. El río Cacao presentó los menores niveles de contaminación biológica. Las concentraciones de Coliformes totales variaron de $0,2 \times 10^4$ a 10×10^4 UFC/100 ml, Coliformes termotolerantes de $0,075 \times 10^4$ a 6×10^4 UFC/100 ml, *E. coli*, de $0,02 \times 10^4$ a $1,5 \times 10^4$ UFC/100 ml en los ríos Raíces, Varsovia y El Helado y para *Estreptococos* de $0,054 \times 10^4$ a $0,79 \times 10^4$ UFC/100 ml (Anexo 2: Tabla A.2.4.).

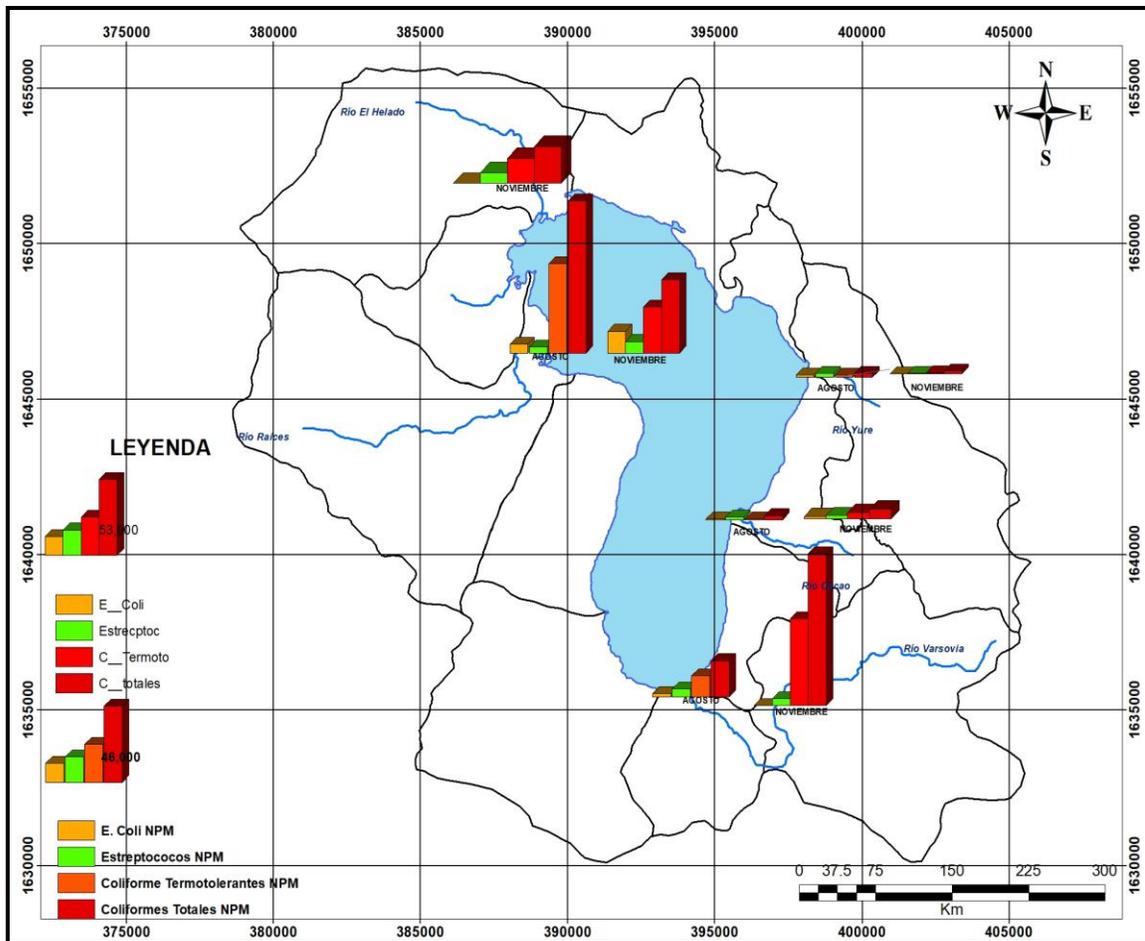


Figura 8. Caracterización microbiológica de los ríos tributarios del Lago de Yojoa.

La NTNA (2001) establece para el uso recreativo, agrícola y pecuario y el uso en la acuicultura valores permisibles de 5 000 NMP/100 ml para Coliformes totales y de 1 000 NMP/100 ml para Coliformes termotolerantes, para la protección de la flora y la fauna establece valores de 25 000 NMP/100 ml de Coliformes totales y 5 000 NMP/100 ml para termotolerantes. De acuerdo a esta Norma, el agua de los ríos Varsovia y el Raíces no son aptas para los diferentes usos propuestos, ya que exceden los valores guías.

Las altas concentraciones de bacterias presentes en los ríos tributarios evidencian problemas de contaminación relacionada a actividades antropogénicas, como el fecalismo al aire libre, excretas de animales y por la falta de tratamiento de las aguas residuales. La presencia de Coliformes termotolerantes en altas concentraciones muestra la degradación de la calidad sanitaria del agua y por

ende influye directamente en la calidad de vida de los habitantes ya que están expuestos a padecer enfermedades de tipo gastrointestinales.

La *E. coli* se encontró en ambos muestreos e indica contaminación fecal reciente. En agosto-2013 se encontró en los ríos Varsovia y El Helado, es probable que se deba al arrastre de materia orgánica por las precipitaciones. El río Raíces es el cuerpo receptor de las aguas residuales municipales sin tratar del municipio de Las Vegas, por lo que este tributario está sometido a una contaminación continua de sus aguas. A lo largo de estas microcuencas se encuentran pequeños poblados que no cuentan con alcantarillados sanitarios y depositan sus heces fecales en letrinas o practican fecalismo al aire libre.

La presencia de *Streptococos* en los dos muestreos es un indicador de contaminación fecal estos microorganismos que habitan en el tracto gastrointestinal de animales de sangre caliente. Cerca de las zonas de descargas de estos tributarios, se observó la presencia de ganado vacuno pastando en lo que son los humedales del lago.

4.1.5. Metales pesados en agua y sedimento en el río Raíces

La Figura 9 muestra las concentraciones de metales pesados registradas en los muestreos. En la época lluviosa (agosto, noviembre-2013) se registraron los valores más altos. El zinc se encontró en mayor concentración con $151,7 \mu\text{g.l}^{-1}$, seguido del plomo con $43,2 \mu\text{g.l}^{-1}$ en agosto-2013. Los demás metales se presentaron en concentraciones $\leq 20 \mu\text{g.l}^{-1}$ mostrando el mismo patrón que el zinc y el plomo en la época de lluvias (Anexo 2: Tabla A.2.5.).

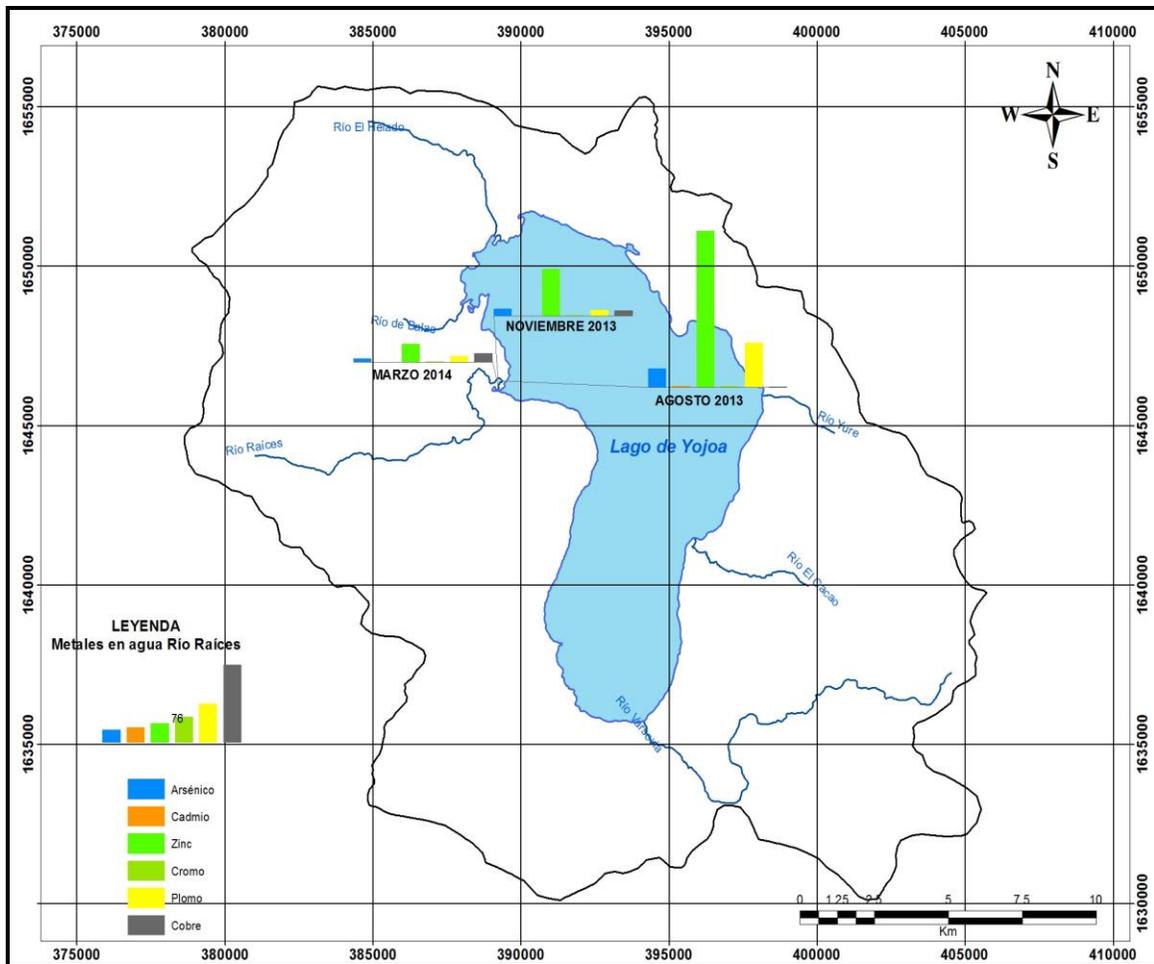


Figura 9. Metales pesados y cianuro en el río Raíces.

La OMS (1996) permite valores de concentración de plomo hasta $10 \mu\text{g.l}^{-1}$. Las concentraciones encontradas en el río Raíces en agosto-2013 exceden estos valores. La Guía de calidad de Agua de Canada para la protección de la vida Acuática (CCME, 2008) establece valores máximos permisibles de $5,0 \mu\text{g.l}^{-1}$, para el arsénico, $0,017 \mu\text{g.l}^{-1}$ para el cadmio, $30 \mu\text{g.l}^{-1}$ para el zinc, $1,0$ para el cromo, $2,0 \mu\text{g.l}^{-1}$ para el cobre y de $1,0 - 7,0 \mu\text{g.l}^{-1}$ para el plomo. A excepción del cromo, los metales estudiados representan un riesgo para la salud humana y la vida acuática debido a que exceden los valores recomendados en CCME (2008).

Los resultados de los metales analizados en el sedimento muestran que el zinc y el plomo registraron las mayores concentraciones de $3\,079,3 \mu\text{g.g}^{-1}$ y $2\,520,6 \mu\text{g.g}^{-1}$ respectivamente: Estos metales son los elementos de mayor contenido de los minerales extraídos por la compañía minera.

En agosto-2013 se encontraron las mayores concentraciones de metales con el inicio de la época lluviosa debido al mayor arrastre de material desde la microcuenca y en noviembre-2013 con la disminución de las precipitaciones se registraron las menores concentraciones (Figura 10).

Las concentraciones de arsénico, cadmio, zinc y plomo medidas en los sedimentos del río Raíces durante las tres épocas de muestreo, sobrepasaron los valores guías y los valores de nivel de efectos probable establecidos por las Normas Canadienses para la calidad de los sedimentos en los sistemas acuáticos (Anexo 2: Tabla A.2.5 y Tabla A.2.6). Valores por encima de los recomendados suponen un riesgo para la vida acuática. A excepción de muestreo de noviembre-2013 registró valor por debajo de estos límites. El cobre únicamente sobrepasó el valor guía en la época seca y para el cromo las concentraciones medidas tanto en la época de lluvia como seca se encontraron por debajo de los valores permisibles.

Las condiciones de pH encontrada en el río Raíces (8,16 y 8,25) favorecen a que los metales precipiten y se depositen en los sedimentos, encontrándose en mayor concentración en los sedimentos que en el agua. De acuerdo con (Huaranga, 2012), a pH mayores de 5, los metales tienden a precipitar disminuyendo su movilidad, depositándose en el lecho de los sistemas acuáticos y no forman parte del agua sino del sedimento a través de la adsorción y la precipitación. Estos metales a pH neutro se asocian a los sedimentos de los sistemas acuáticos y pueden permanecer durante muchos años adherido en las capas superiores de suelo (ATSDR, 2005).

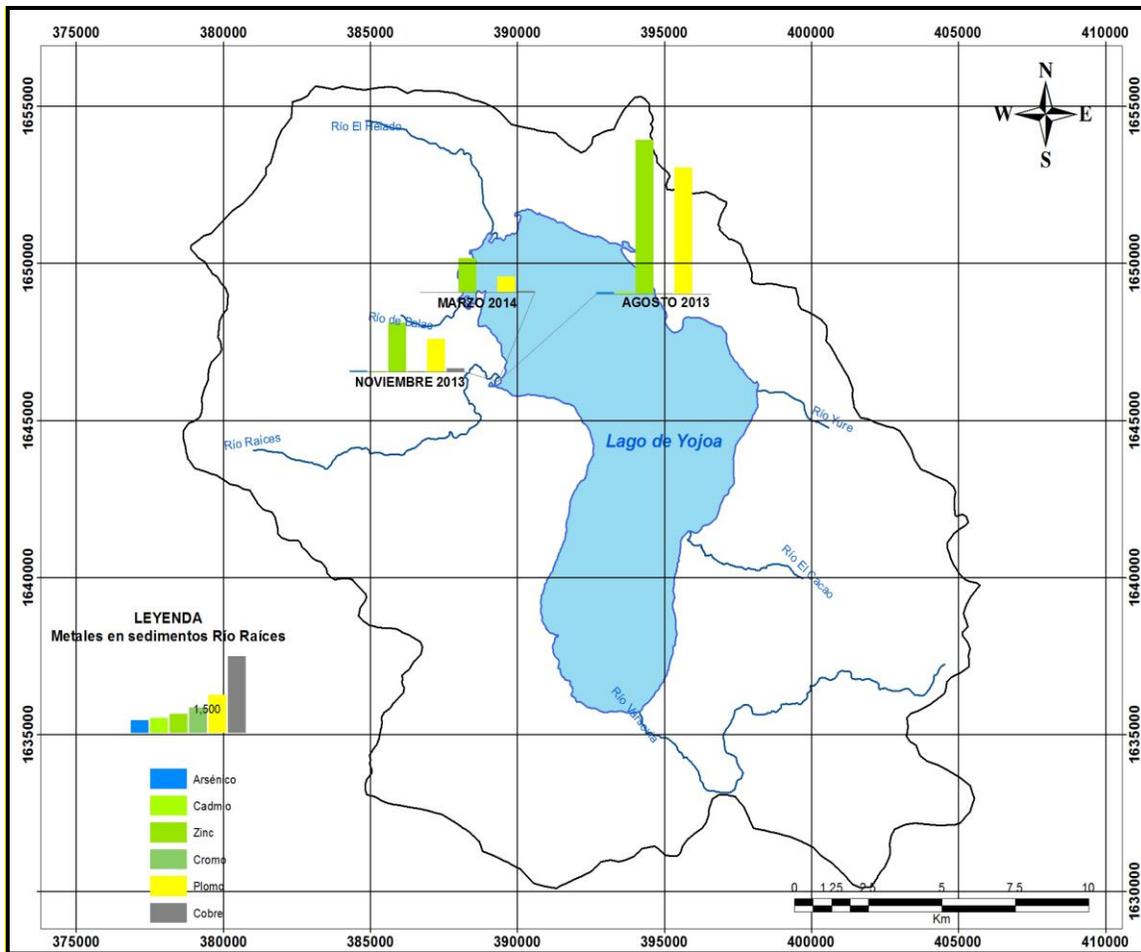


Figura 10. Metales pesados y cianuro en el sedimento del río Raíces.

4.2. Carga de nutrientes que ingresa al lago a través del área de drenaje

Se estimó la carga total de nutrientes, la carga instantánea que llega a través de los tributarios y la carga modelada que ingresa por fuentes no puntuales. La carga modelada se estimó de acuerdo con los modelos matemáticos, a partir del uso de suelo, la precipitación, la población y de la actividad acuícola dentro de la microcuenca. En el Anexo 3 Tablas A.3.4- A.3.10, se aprecian los resultados del cálculo de carga instantánea.

4.2.1. Nutrientes: Cargas observadas

4.2.1.1. Fósforo

Aproximadamente $35 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ equivalentes a 1 112 MMC al año de agua ingresan al Lago de Yojoa a través de sus principales tributarios. El río El Helado fue el tributario de mayor caudal con $108,1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ seguido de los ríos Yure, Raíces y Varsovia que presentaron caudales similares: 7,9, 7,7 y $7,7 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, respectivamente. Así mismo los ríos Raíces y El Helado presentaron mayor concentración de fósforo: 42,2 y $36,6 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$, el río Cacao presentó $27,8 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$. Estos valores superan el valor normal en aguas superficiales no contaminadas que es de $25 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ (Wetzel, 1981). Los ríos Yure y Varsovia presentaron niveles bajos de fósforo: 16,4 y $19,6 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ respectivamente. La Figura 11 se presenta la relación del caudal vs la concentración de fósforo total. El mayor aporte de fósforo se debe principalmente a las actividades dentro de cada microcuenca.

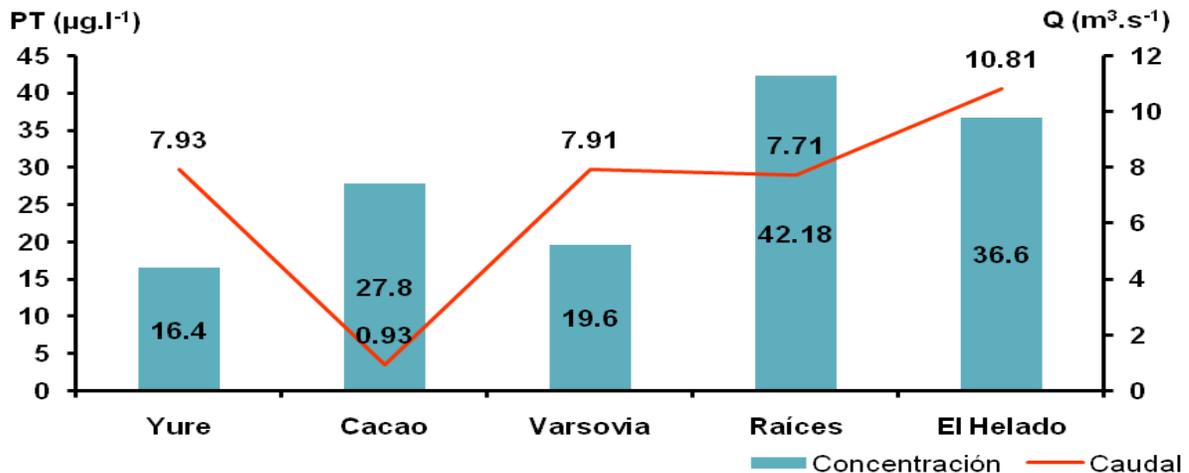


Figura 11. Concentración promedio de fósforo total (PT) vs el caudal promedio de los tributarios principales.

La Figura 12 se muestra el aporte anual de fósforo de cada tributario del estudio respecto a la carga de fósforo transportada al Lago de Yojoa la cual fue de $39,0 \text{ Ton} \cdot \text{a}^{-1}$. En los ríos Yure y Cacao, las cargas transportadas fueron menores a $5 \text{ Ton} \cdot \text{a}^{-1}$, mientras que los ríos Raíces y El Helado transportaron $13,5$ y $14 \text{ Ton} \cdot \text{a}^{-1}$, respectivamente. En la época lluviosa se hicieron los mayores aportes, el fósforo fue transportado desde las áreas de drenaje de los tributarios a través de la

erosión y la escorrentía, se apreció el efecto de la precipitación sobre el aumento del caudal y la concentración del mismo. En la época seca la carga de fósforo fue menor a $5,0 \text{ Ton.a}^{-1}$, los valores de las concentraciones estuvieron por debajo de límite de detección analítico ($0,16 \text{ mg.l}^{-1}$) para todos los tributarios.

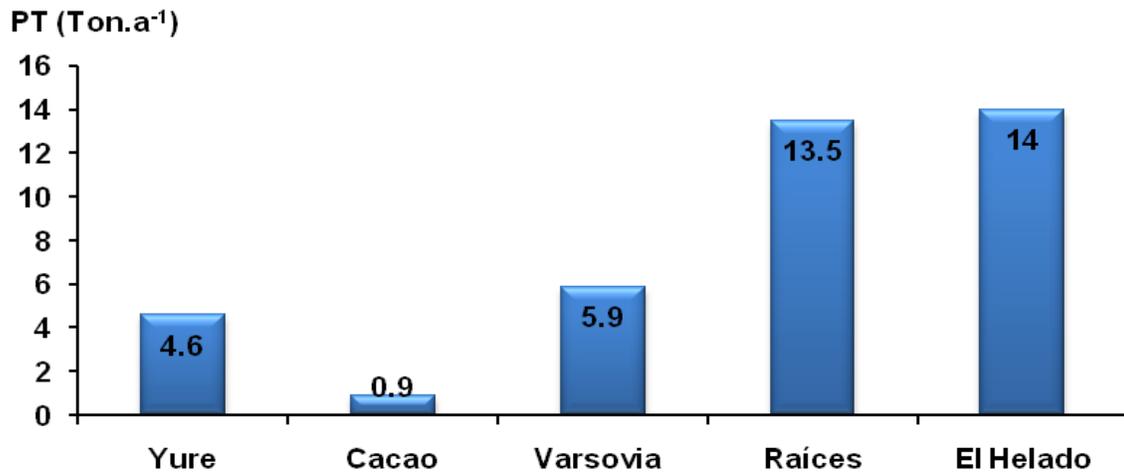


Figura 12. Carga promedio anual de fósforo total (PT) de los principales tributarios del Lago de Yojoa.

4.2.1.2. Nitrógeno

La Figura 13 muestra la relación de caudal vs el nitrógeno total, la mayor concentración de nitrógeno total la presentó el río Raíces con $1\,953 \mu\text{g.l}^{-1}$, el cual es el cuerpo receptor de las aguas residuales de la comunidad de Las Vegas. La segunda mayor concentración la registró el río El Helado con $846 \mu\text{g.l}^{-1}$, donde se practica el pastoreo de ganado en los alrededores del lago. Los menores valores se registraron en los ríos Varsovia, Yure y Cacao con 259, 485 y $626 \mu\text{g.l}^{-1}$, respectivamente. La concentración de nitrógeno varió significativamente en cada época muestreada, las mayores concentraciones no estuvieron en dependencia de los mayores caudales, sino que estuvieron relacionadas a las actividades dentro de las microcuencas.

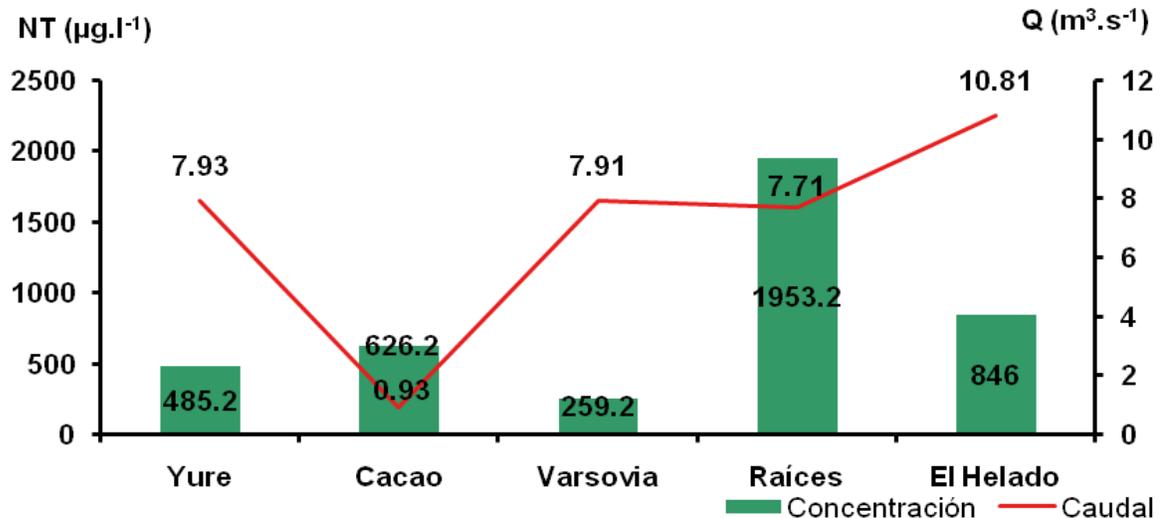


Figura 13. Concentración promedio de nitrógeno total (NT) vs el caudal (Q) promedio de los tributarios principales.

Las concentraciones de N-NO₂, N-NO₃ y N-NH₄, en general fueron bajas en ambos muestreos. Las concentraciones de N-NO₂ encontradas en los tributarios fueron menores a 5,0 µg.l⁻¹. El N-NH₄ presentó concentraciones menores a 50 µg.l⁻¹. El río Raíces presentó valores entre 24 y 180 µg.l⁻¹ de N-NO₂ y entre 27 y 290 µg.l⁻¹ de N-NH₄. El N-NO₂ representó menos del 1,5% del total del nitrógeno inorgánico. Normalmente las concentraciones de estos compuestos son bajas en aguas naturales no contaminadas, concentraciones menores a 3,0 µg.l⁻¹ N-NO₂ y entre 7,0 y 60 µg.l⁻¹ para el N-NH₄⁺ (Wetzel, 1981).

Las concentraciones de N-NO₃ varían en el rango de 50 a 200 µg.l⁻¹ en las aguas naturales de los ríos de acuerdo con (Wetzel, 1981). En los tributarios del estudio las concentraciones registradas variaron de 103,5 como mínimas hasta máximos de 1 364,2 µg.l⁻¹ (Figura 14). El río Raíces presentó la mayor concentración con 1 364 µg.l⁻¹, que representa el 70% del total del nitrógeno que ingresó al lago a través de este tributario en forma de nitratos, debido a que sus aguas son las más contaminadas por ser el cuerpo receptor de las aguas residuales de la comunidad de Las Vegas. Mientras que el río Cacao hace el menor aporte de nitratos, menos del 20% del nitrógeno total que ingresa al lago.

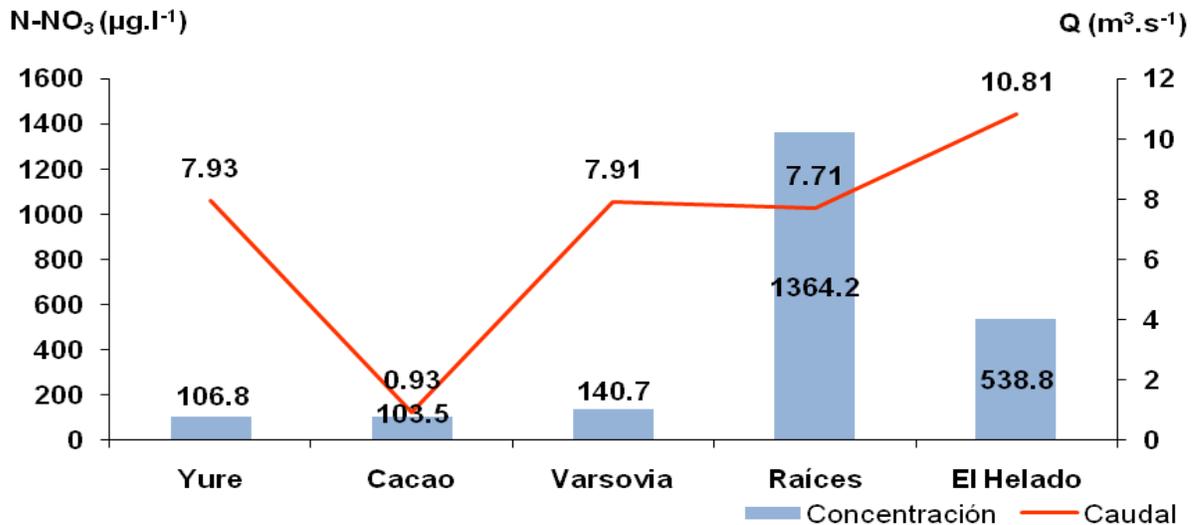


Figura 14. Concentración promedio de nitrógeno de nitratos (N-NO₃) vs el caudal (Q) promedio de los tributarios principales.

Un total de 519 Ton.a⁻¹ de N-NO₃ ingresaron al lago a través de los cinco tributarios principales. El mayor aporte lo hizo el río Raíces con 287 Ton.a⁻¹ seguido del río El Helado con 170 Ton.a⁻¹. A través de los ríos Varsovia, Yure y Cacao se realizaron los menores aportes 32, 27 y 2,5 Ton.a⁻¹, respectivamente. Aunque las concentraciones encontradas están por debajo de 50 µg.l⁻¹ que es el valor admisible para los diferentes usos del agua, la cantidad que ingresó tiene importancia en los sistemas acuáticos debido a que constituye la principal fuente de nitrógeno para los organismos en estos medios (NTNA, 2001 y Wetzel, 1981).

La carga de nitrógeno total se estimó en 1 073,5 Ton.a⁻¹ transportadas a través de los tributarios (Figura 15). Se evidenció una gran variabilidad en cuanto a la magnitud de la carga aportada en el transcurso de los dos periodos observados, ya que fue influenciada por los caudales que aumentaron debido a las precipitaciones y a las concentraciones observadas. El río Raíces aportó la mayor carga de nitrógeno con 519 Ton.a⁻¹, este tributario no registró el mayor caudal, pero si la mayor concentración de nitrógeno, debido a que es el cuerpo receptor de las aguas residuales municipales de la comunidad de Las Vegas. El río Cacao tuvo el menor aporte con 19 Ton.a⁻¹ dado que presentó el menor caudal.

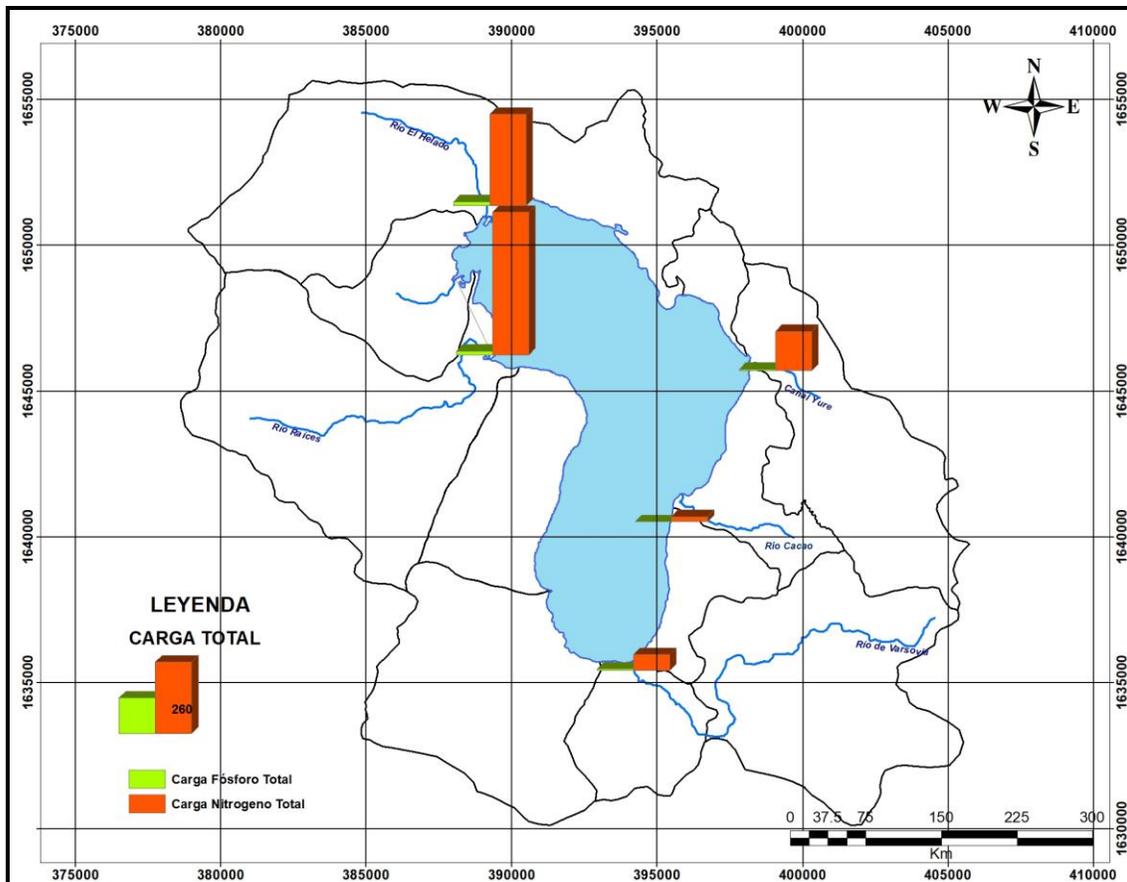


Figura 15. Carga de nutrientes de los principales tributarios del Lago de Yojoa.

4.2.2. Estimación de cargas modeladas de nutrientes

Las cargas modeladas de nutrientes fueron estimadas a partir del modelo propuesto por Castagnino (1982), utilizando los coeficientes de exportación de nutrientes en base al uso de suelos para estimar la carga dispersa en lagos tropicales. Y la aplicación del modelo propuesto por Jørgensen & Vollenweider (1988) para estimar la carga artificial y la que llega a través de la precipitación. Además, se estimó la carga de nutrientes que es introducida por la actividad acuícola.

4.2.2.1. Estimación de carga de nitrógeno y fósforo por uso de suelo

El uso de suelo de las microcuencas del Lago de Yojoa se agrupó en siete categorías de acuerdo a las actividades que se realizan en la microcuenca (Tabla 1). Para efectos de estimar la carga natural de nutrientes se agrupó en tres

bosques con 57 y 38 %, respectivamente. Un total de 80 Ton.a⁻¹ de nitrógeno ingresó a través de las áreas agrícolas. Las áreas agrícolas incluyen también las áreas designadas como los humedales del lago, que son utilizadas para el pastoreo de ganado, lo que aumenta el aporte de nutrientes desde estas fuentes debido a la cantidad de estiércol excretado (FAO, 2009).

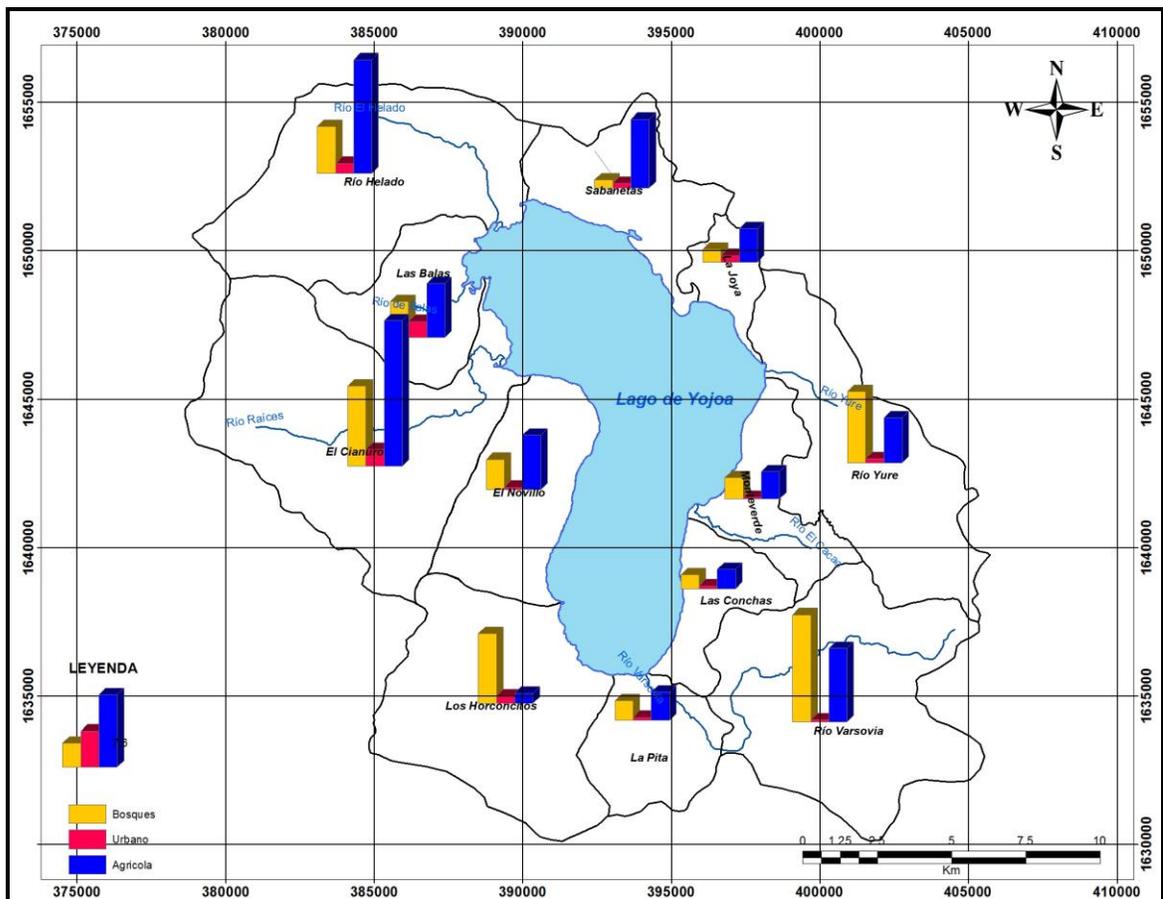


Figura 17. Exportación del nitrógeno total asociada al uso de suelos en el Lago de Yojoa.

4.2.2.2. Estimación de carga por precipitación

La carga de nutrientes que ingresó a través de la precipitación al lago fue de 0,21 Ton.a⁻¹ de fósforo y 0,3 Ton.a⁻¹ de nitrógeno (Anexo 3, Tabla A.3.9). Así mismo, otro factor que aumenta la carga de nutrientes es la escorrentía generada de la precipitación que provoca el arrastre de nutrientes producto de la erosión en las microcuencas, aproximadamente el 15% del área de la microcuenca se encuentra sin cobertura vegetal.

4.2.2.3. Estimación de carga artificial

Otro aporte considerable de nutrientes hacia el Lago de Yojoa es la carga procedente de la población del área de estudio. La carga artificial total calculada fue de 70 y 198 Ton.a⁻¹ de fósforo y nitrógeno, respectivamente (Anexo 3, Tabla A.3.10). Esto es debido a que las comunidades ubicadas dentro de la subcuenca en general, no cuentan con adecuados sistemas de tratamiento de aguas residuales, utilizan letrinas y algunos casos practican fecalismo al aire libre.

4.2.2.4. Estimación carga de nutrientes por cultivo de peces en jaulas

En el lago se producen aproximadamente 9 000 Ton.a⁻¹ de filete de tilapia. Según la FAO, de acuerdo con el modelo de Beveridge (1986), en el Lago de Yojoa ingresaron 258 y 992 Ton.a⁻¹ de fósforo y nitrógeno, respectivamente. Por cada tonelada de tilapia producida en jaulas se introducen en el cuerpo de agua entre 23–29 Kg de fósforo total y 100 Kg de nitrógeno total (Anexo 3, Tabla A.3.11).

Los resultados obtenidos de las estimaciones realizadas demostraron que en total ingresaron 39 Ton.a⁻¹ de fósforo a través de los principales tributarios y 339 Ton.a⁻¹ a través del escurrimiento del suelo debido a las precipitaciones y la actividad acuícola que representó el 76% del total de fósforo. La fracción de pérdida fue del 30% que correspondió a 94 Ton.a⁻¹ debido al volumen de agua que sale de la cuenca y de 4 Ton.a⁻¹ que se acumulan en el sedimento.

En cuanto al nitrógeno, ingresaron 1 073 Ton.a⁻¹ a través de los tributarios y 1 329 Ton.a⁻¹ por las distintas actividades ya mencionadas. El 75% del nitrógeno que ingresó al lago fue debido a la actividad acuícola. Solamente el 1,0% del nitrógeno que ingresa a los cuerpos de agua se pierde a través del volumen de agua que sale (Roldán & Ramírez, 2008).

El aporte de fósforo es clave sobre la producción primaria de los cuerpos de agua ya que a menudo es el nutriente limitante, tomando en cuenta que el nitrógeno puede ser tomado de la atmosfera y fijado por las algas verdes azules (Roldán & Ramírez, 2008). El 70% del fósforo y más del 90% del nitrógeno quedan

disponibles en la columna de agua para la productividad primaria y los demás procesos que se llevan a cabo dentro del ecosistema.

4.3. Características fisicoquímicas, hidrobiológicas y calidad del agua del Lago de Yojoa

Se estudió el comportamiento temporal y espacial de cada parámetro durante los dos ciclos estacionales: periodo lluvioso (agosto y noviembre 2013) y el periodo seco (marzo 2014) en tres puntos de muestreo. Los parámetros medidos in situ se reportan en los Anexos 4 y 5 (Tablas A.4.1 a A.5.3).

4.3.1. Características fisicoquímicas del Lago de Yojoa

4.3.1.1. Temperatura

En agosto-2013 el Lago de Yojoa registró temperaturas entre los 25,5 y 29,4 °C. Las mayores temperaturas se observaron en la superficie y descendieron con la profundidad (Figura 18a). Para los tres sitios muestreados se observaron diferencias atribuidas a la hora del día en la que se llevó a cabo la medición.

La diferencia de temperatura entre la superficie y el fondo fue en promedio de 2,5 °C. La Figura 18a Centro Norte, muestra las diferencias de temperatura conforme se iba descendiendo en la columna de agua con valores entre 0,1 y 0,5 °C en los primeros estratos y valores superiores a 0,5°C en los estratos profundos.

Se observó una estratificación térmica en los tres puntos con múltiples termoclinas, para el sitio denominado Centro Norte (Figura 18a Centro Norte), la temperatura decayó en los primeros cuatro metros (28,1 - 25,6 °C) dándose cambios reducidos de temperatura entre 0,1 y 0,2 °C hasta que descendió 2,5 °C en el estrato más profundo. La estratificación térmica es consecuencia del efecto de la temperatura sobre la densidad del agua y constituyendo una barrera para que se dé una mezcla de la masa de agua (Roldán & Ramírez, 2008).

En la Figura 18a (Centro) la temperatura decayó en el primer metro (29,4 – 29 °C), dando lugar a múltiples termoclinas, observándose cambios graduales de temperatura entre 0,2 y 0,6 °C hasta llegar al estrato mas profundo donde se

reportó la temperatura mas baja de 26,6°C. El punto Centro Sur (Figura 18a Centro Sur) es más influenciado por el viento que sopla de Norte a Sur, haciendo un ciclo que aumenta por las tardes y disminuye por la mañana (Vevey, 1990). En los primeros tres metros se observó multiples termoclinas, los cambios de temperatura fueron entre 0,2 y 0,3 °C, y disminuyó por 0,9 °C en el fondo, se observó una fuerte influencia del viento, la masa de agua tendió a la estabilización en los primeros diez metros de profundidad (29,4- 27,5°C), pero no tuvo la energía suficiente para lograr que ocurriera una estabilización térmica homogénea.

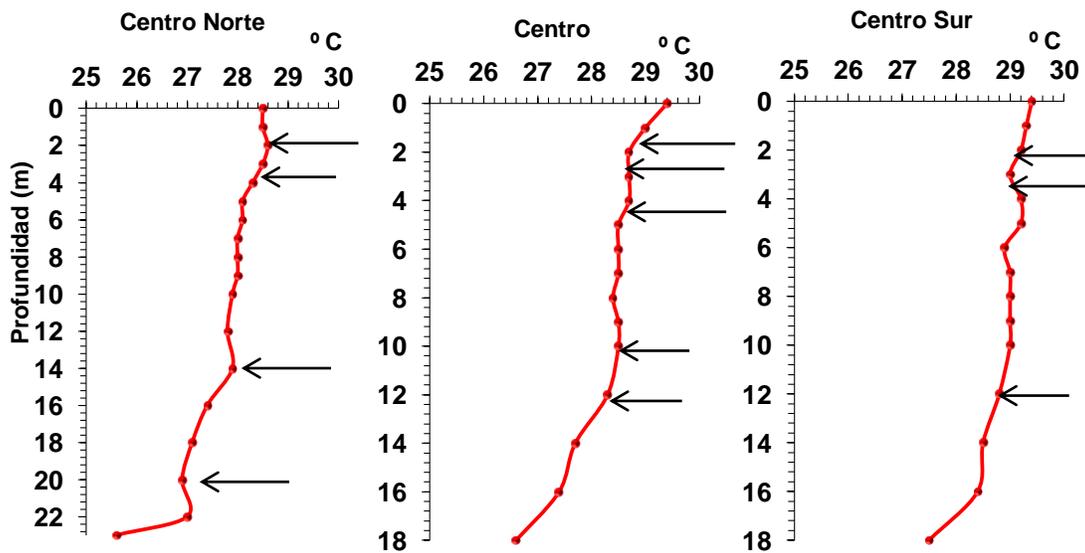


Figura 18a. Perfiles de temperatura en los diferentes sitios muestreados, agosto-2013. (Las flechas indican el inicio de las termoclinas).

En la Figura 18b se muestran los perfiles térmicos para noviembre-2013 donde se observó una disminución de la temperatura del cuerpo de agua. La diferencia de temperatura con respecto al mes de agosto fue de 2,4 °C en promedio.

En el Centro Norte, los cambios de temperatura fueron menos pronunciados, con temperaturas de 27,1 °C en la superficie, diferencias entre 0,1 y 0,3 °C en los primeros 17 metros de profundidad, a los 18 metros de profundidad se redujo por 0,6 °C hasta llegar a 25,5 °C en el fondo. En el Centro se observó un perfil térmico más homogéneo, las temperaturas registradas oscilaron entre los 26,8 y 25,8 °C con variaciones de 0,1 °C en los primeros 17 metros de profundidad, hasta observarse una reducción de 0,5 °C a los 18 m y 0,4 °C en el fondo. Para el

Centro Sur se observó una mezcla menos heterogénea de la columna de agua, la temperatura osciló entre los 26,7 y 26,1 °C, se observaron diferencias entre cada metro de profundidad.

En general se observó una tendencia a una mezcla homogénea originada por el viento y la disminución de la temperatura ambiente.

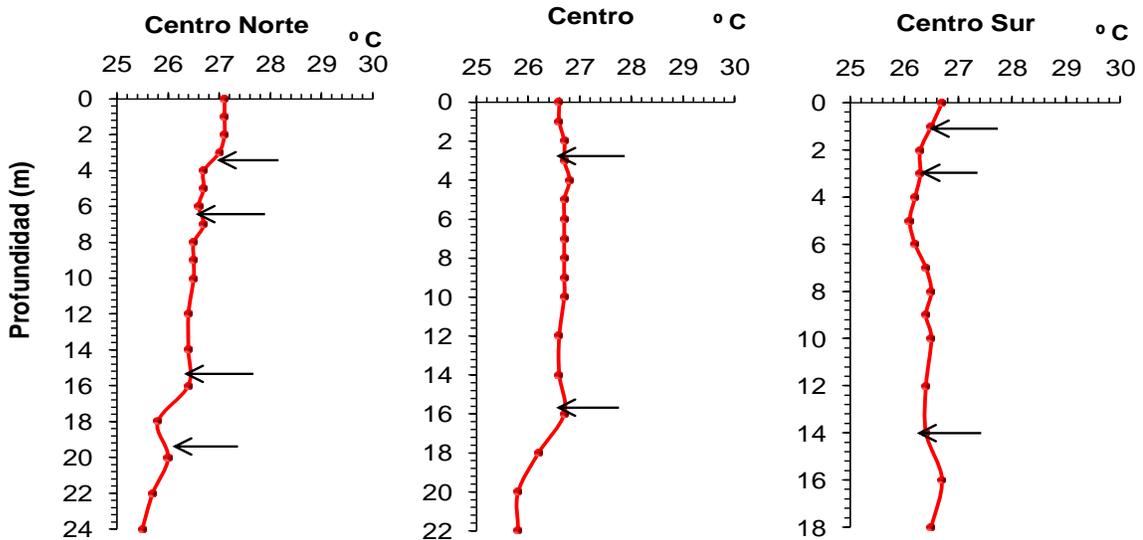


Figura 18b. Perfiles de temperatura en los diferentes sitios muestreados, noviembre-2013. (Las flechas indican el inicio de las termoclinas).

En marzo-2014 (Figura 18c) se registraron temperaturas promedio de 26,8 °C en los primeros 10 m y de 23,8 °C en los estratos más profundos. Para esta época la temperatura de la masa de agua permaneció baja, debido a que el cuerpo de agua se encontraba en un periodo de recuperación del proceso de mezcla. Para los sitios Centro Norte y Centro se observó una clara estratificación térmica de la columna de agua con múltiples termoclinas originadas por las diferencias de temperaturas que dan lugar a capas de diferentes densidades y la energía del viento que no es suficiente para mezclar la masa de agua. Bajo estas condiciones de estabilidad térmica, en el lago se crean estratos diferenciados desde el punto de vista físico, químico y biológico (Roldán & Ramírez, 2008).

En el Centro Sur del lago se observó un perfil térmico diferente al de los otros sitios, fue más homogéneo, con diferencias de temperaturas entre 0,1 y 0,2 °C hasta los 14 m de profundidad. Asimismo, disminuyó en 2,0 °C en el estrato más profundo. La Figura 18c muestra los perfiles térmicos para la época seca, donde

se observó la influencia de corrientes internas en la parte sur que desbaratan las capas de agua superiores con una tendencia a la homogenización de la masa de agua.

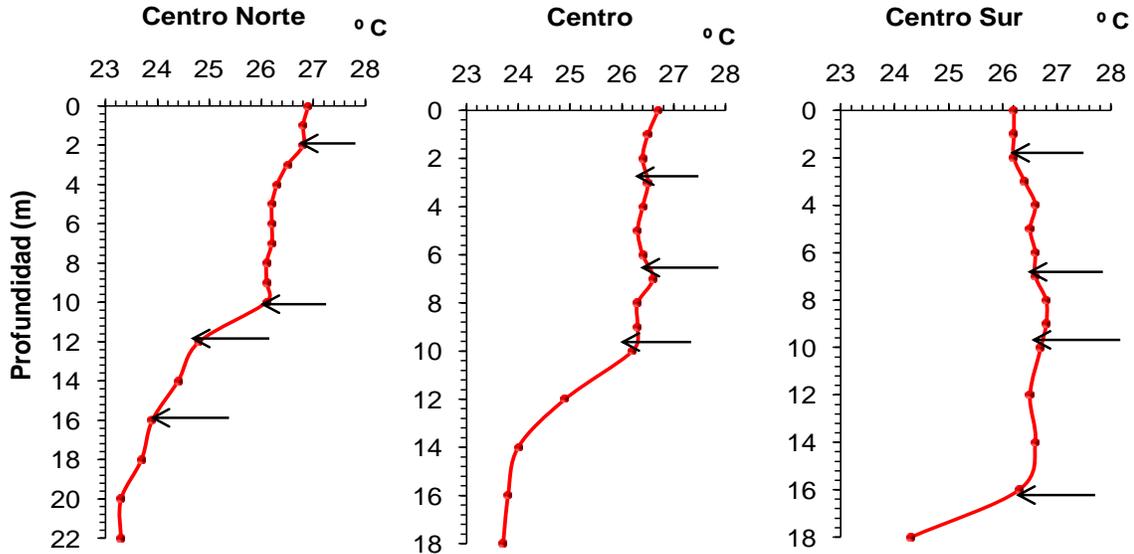


Figura 18c. Perfiles de temperatura en los diferentes sitios muestreados, marzo-2014. (Las flechas indican el inicio de las termoclinas).

4.3.1.2. Distribución de Oxígeno disuelto en porcentaje de saturación

En agosto-2013, los perfiles de oxígeno disuelto oscilaron entre 18 y 107 %. La columna de agua presentó un ambiente oxigenado desde la superficie hasta los 14 m de profundidad, con valores de 107 % a 80% de saturación. Por debajo de los 14 m de profundidad en los sitios Centro Norte, Centro Sur y de los 12 m en el Centro se presentó déficit de oxígeno con valores menores a $3,0 \text{ mg.l}^{-1}$. Se observó una curva clinógrada dada la disminución de la saturación oxígeno hacia el fondo. En Figura 19a, se aprecia el porcentaje de saturación de oxígeno para agosto-2013. Los lagos tropicales como el Lago de Yojoa que mantienen temperaturas mayores a 20°C en el hipolimnion (16-24 m), presentan bajos niveles de oxígeno que se deben principalmente a los procesos de respiración de organismos y descomposición aerobia (Esteves, 1988).

En agosto-2013, se registraron las temperaturas más elevadas en el cuerpo de agua (Figura 19a), apreciándose estratificación térmica en la masa de agua (0-12

m) con una zona fótica de 7,6 m en promedio, (Wetzel, 1981). El Lago de Yojoa para esta época mostró un descenso en la saturación de O.D llegando a valores menores al 25% en el hipolimnion, en los sitios Centro Norte y Centro. Mientras que para el Centro Sur se observó una disminución en la saturación que no superó el 40% en el hipolimnion. En esta zona la masa de agua es perturbada por el viento causando una oxigenación de la columna de agua y evitando así que en los estratos profundos se den condiciones de anoxia.

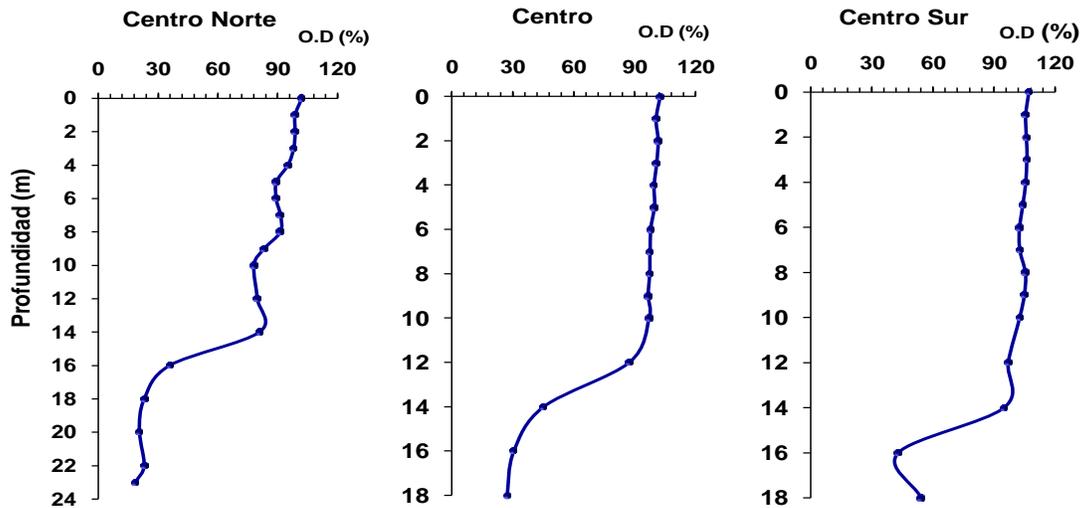


Figura 19a. Distribución vertical del oxígeno disuelto (%) en los tres sitios estudiados en el Lago de Yojoa, agosto-2013.

En noviembre-2013 la saturación de O.D (%) disminuyó considerablemente en el 80% de la columna de agua, registrándose valores menores a 45 % para el Centro Norte y Centro, valores entre 49 y 70 % para el Centro Sur. La disminución de saturación de oxígeno disuelto fue asociada con la mezcla del cuerpo de agua que inicia en esta época, la mezcla pone en suspensión materiales disueltos y suspendidos que utilizan este elemento para su oxidación, procesos de respiración y descomposición (Wetzel, 1981). Otro factor que contribuyó a la baja concentración de oxígeno es la contaminación debido a que las sustancias que se agregan ocupan los espacios que podrían ocupar las moléculas de oxígeno (Roldán & Ramírez, 2008).

En la Figura 19b se ilustra la distribución del oxígeno con respecto a la profundidad, mostrando una mezcla incompleta de la columna de agua. Se aprecia

una tendencia de desestratificación desde la superficie a los 18 m en la columna de agua, a partir de esta profundidad se observaron condiciones de anoxia en los sitios Centro Norte y Centro; mientras que en el sitio Centro Sur se presentó un patrón más homogéneo de la columna de agua dado que la intensidad del viento es mayor y por lo tanto hay mayor agitación de la masa de agua que también contribuye al aporte de oxígeno, en este punto se registró valores mínimos de 50% y máximos de 70% de saturación de oxígeno.

Bajo estas condiciones de déficit de oxígeno, dada la desestratificación térmica y mezcla de la columna de agua, el agua del hipolimnion enriquece el agua epilimnética con compuestos reductores, como materia orgánica en diferentes estadios de descomposición como amonio, gas sulfhídrico y metano (Esteves, 1988).

Los déficit de oxígeno son característicos en el lago para esta época, en octubre y noviembre del 2006 la empresa AQUAFINCA realizó monitoreo diario de la concentración de O.D, observando que con la entrada del primer frente frío al país disminuyó drásticamente la concentración de oxígeno disuelto, registrando valores entre cuatro mg.l^{-1} para la superficie y condiciones de anoxia en el fondo (Basterrechea, 2008).

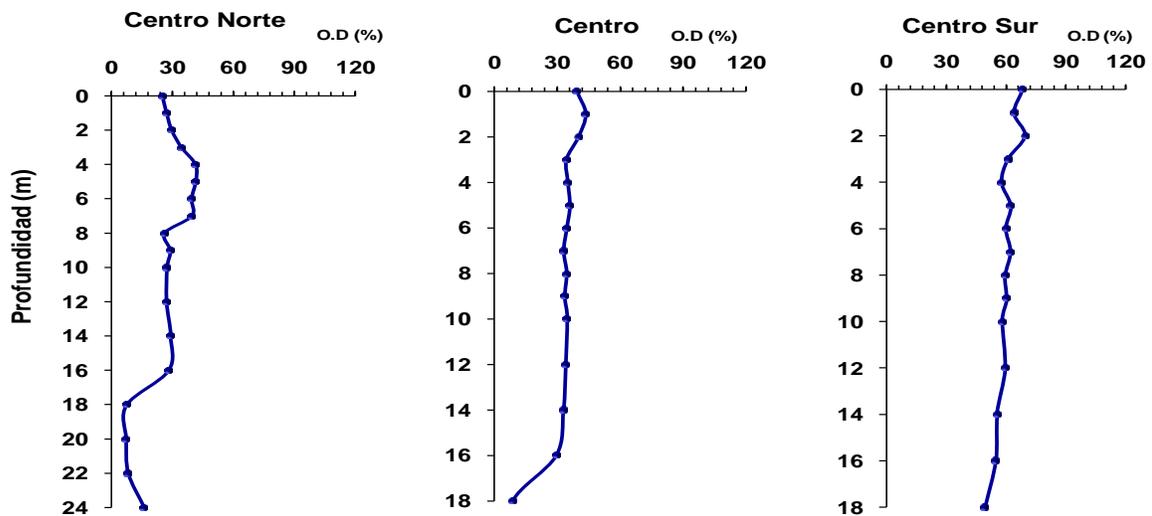


Figura 19b. Distribución vertical del oxígeno disuelto (%) en los tres sitios estudiados en el Lago de Yojoa, noviembre-2013.

En marzo-2014 persistió un comportamiento clinógrado del oxígeno disuelto, la saturación fluctuó de 7,4 a 78 %, (de 0,5 a 6,0 mg.l⁻¹) encontrando condiciones de anoxia a partir de los 12 metros de profundidad para los sitios Centro Norte y Centro. Mientras que en el Centro Sur se caracterizó por su tendencia de la columna de agua a permanecer mezclada debido a la turbulencia por la influencia del viento como muestra la Figura 19c.

Para esta época las temperaturas aún permanecían bajas, el epilimnion presentó menor concentración del oxígeno disuelto dado las bajas temperaturas presentes tanto en la superficie como en el fondo. En la parte inferior de la columna de agua se presentó déficit de oxígeno desde los 12 m de profundidad, atribuido a la descomposición de la materia orgánica y la respiración de organismos.

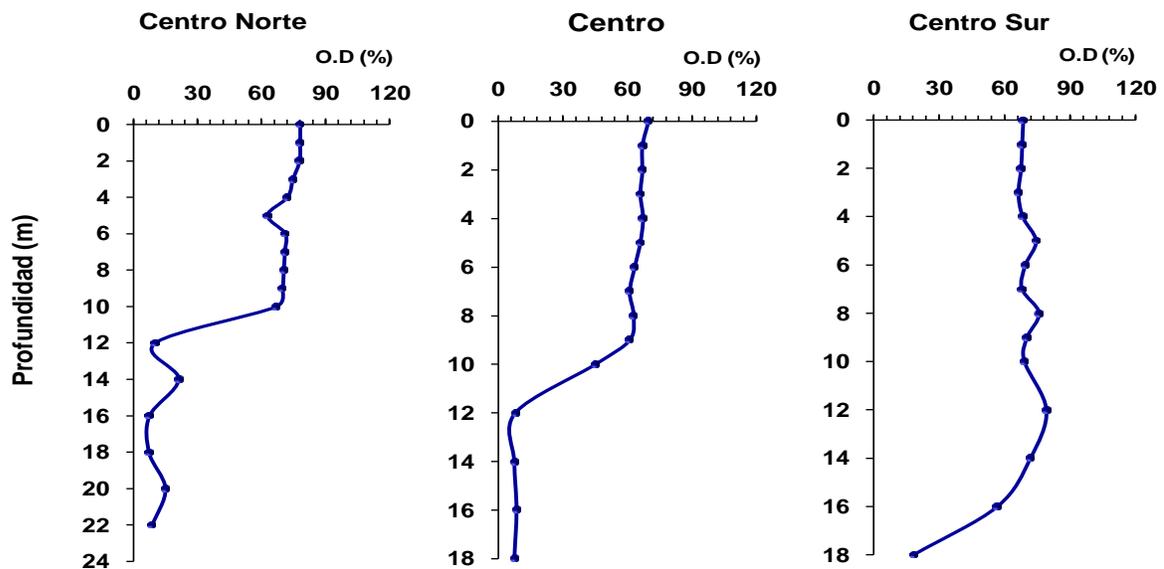


Figura 19c .Distribución vertical del oxígeno disuelto (%) en los tres sitios estudiados en el Lago de Yojoa, marzo-2014.

Por lo general en los lagos tropicales las variaciones de las concentraciones de oxígeno disuelto están relacionadas a las variaciones anuales del fotoperiodo y las pérdidas de oxígeno en el epilimnion son compensados por la producción a través de la fotosíntesis y por la difusión a partir de la atmósfera (Esteves, 1988). Los valores obtenidos (5,0 – 7,0 mg.l⁻¹) cumplen con las normas canadienses para la protección de la vida acuática en aguas cálidas, la cual recomienda valores entre

5,5 y 9,5 mg.l⁻¹ para las diferentes etapas de la vida de las especies, y al menos de tres mg.l⁻¹ de oxígeno disuelto para las aguas intersticiales (CCME, 2008).

4.3.1.3. Distribución del pH

Los valores de pH observados en el Lago de Yojoa para agosto-2013, presentaron un comportamiento vertical heterogéneo en los tres sitios de estudio, mostrando un carácter moderadamente alcalino en toda la columna de agua. Se registraron valores promedio de 8,3 en los estratos superiores (0 – 14 m) y de 7,3 unidades de pH en los estratos más profundos. En la Figura 20a se aprecia el comportamiento vertical y espacial del pH para agosto-2013.

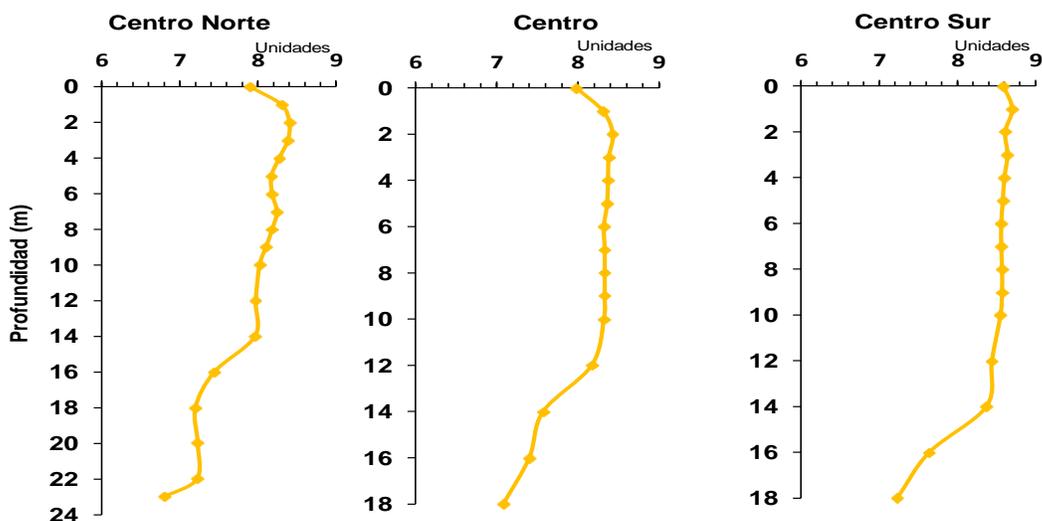


Figura 20a. Distribución vertical de pH en los tres sitios estudiados en el Lago de Yojoa, agosto-2013.

En noviembre-2013, el patrón de comportamiento vertical fue homogéneo como resultado del proceso de circulación del lago que se da para esta época (Figura 20b). Los valores de pH disminuyeron mostrando siempre un carácter ligeramente alcalino, para el Centro Norte la concentración de pH osciló entre 7,5 - 7,1, en el Centro Norte, para el Centro de 7,7 - 7,0 y en el Centro Sur de 8,0 – 7,4 unidades de pH, en la columna de agua. Durante la fecha del muestreo el pH fue influenciado por factores como la precipitación, disminución del fitoplancton, de macrófitas, además de los compuestos reductores que están siendo removidos de los estratos profundos como resultado del proceso de circulación, estos aumentan

la concentración del CO_2 y a su vez se reduce la concentración del pH en la columna de agua.

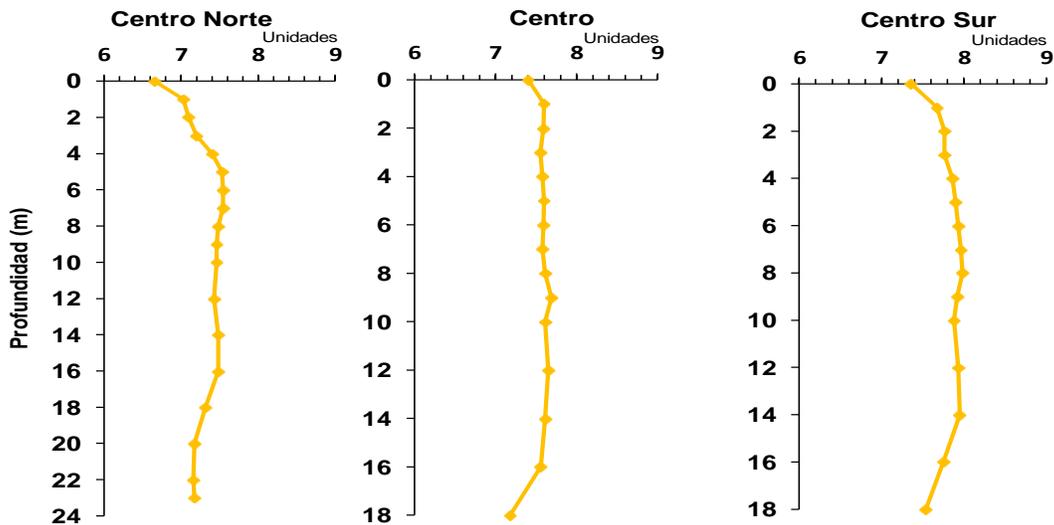


Figura 20b. Distribución vertical de pH en los tres sitios estudiados en el Lago de Yojoa, noviembre-2013.

En marzo-2014, en los primeros 10 m de profundidad de todos los puntos estudiados, se registraron valores promedio de pH de 8,6 y de 7,2 unidades en el fondo (Figura 20c). Se observó una reducción del pH en la parte media y en el fondo de la columna de agua, dado que en la zona trofólitica ocurren varios procesos como la fermentación microbiana, la degradación de la materia orgánica, la nitrificación del amonio, la oxidación del sulfuro, lo que genera un aumento del CO_2 y del bicarbonato cerca del sedimento debido a la producción del bicarbonato amónico, estos procesos disminuyen el pH en el hipolimnion (Wetzel, 1981).

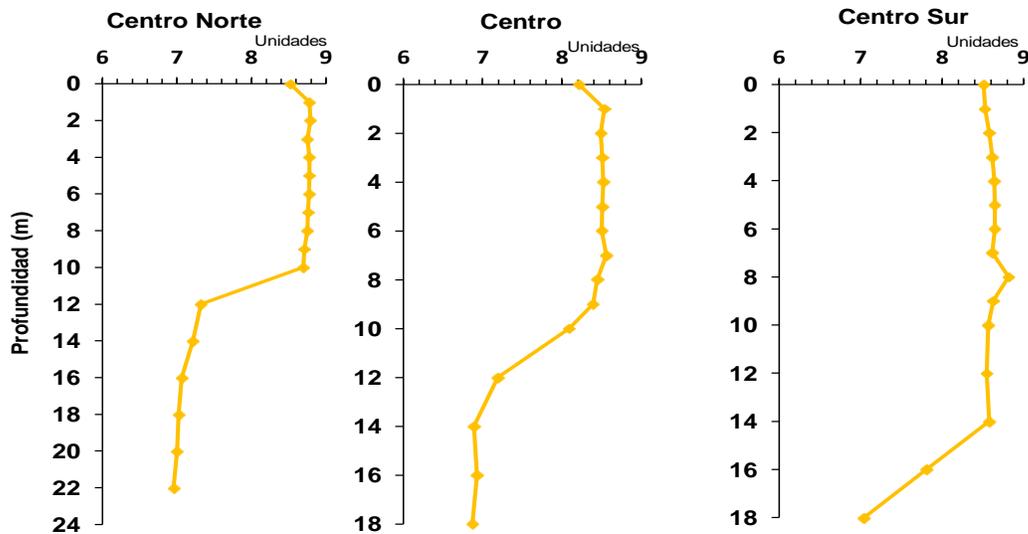


Figura 20c. Distribución vertical de pH en los tres sitios estudiados en el Lago de Yojoa, marzo-2014.

El oxígeno disuelto presentó perfiles clinógrafos para la época de estratificación; agosto-2013 y marzo-2014. De acuerdo en Wetzel (1981), los lagos eutróficos con curva clinógrada de oxígeno, presentan disminución del pH en el hipolimnion lo cual se observó en el Lago Yojoa (Figura 20 a y c).

Los valores pH en la mayoría de los lagos están entre 6,0 y 9,0 debido al ion bicarbonato (Roldán & Ramírez, 2008). En marzo-2014 en los tres sitios estudiados los valores encontrados en los estratos superiores sobrepasaron los valores recomendados en las normas canadienses, la cual recomiendan valores entre 6,5 – 9,0 para la protección de la vida acuática y de 6,5 a 8,5 para el uso recreativo (CCME, 2008).

4.3.1.4. Conductividad eléctrica

El Lago de Yojoa presentó una mineralización moderada de acuerdo a los valores de conductividad eléctrica encontrados durante las tres épocas de muestreo. La Figura 21a muestra la distribución de la conductividad eléctrica para agosto-2013, en los tres sitios estudiados los valores promedio obtenidos fueron de $135 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ desde la superficie hasta los 14 m, en la parte media se encontraron valores promedio de $156 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ y valores entre 180 y $233 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ en el fondo,

observándose una estratificación de este parámetro. En esta época debido a las precipitaciones se presentaron los valores menores de conductividad eléctrica.

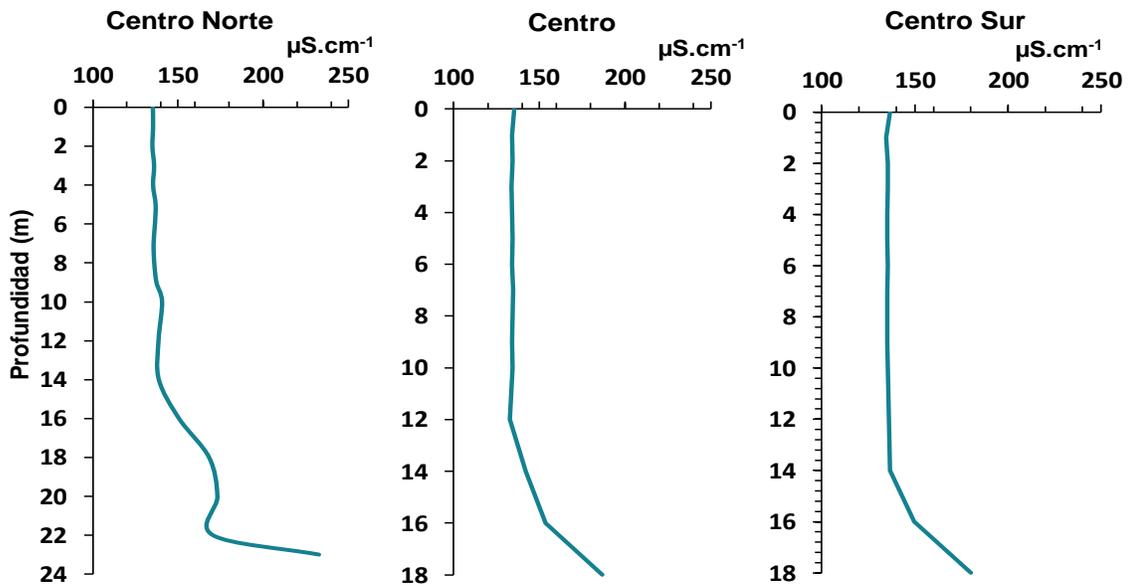


Figura 21a. Distribución vertical de la conductividad eléctrica en los tres sitios estudiados en el Lago de Yojoa, agosto-2013.

En noviembre-2013 se registraron los valores mayores de conductividad eléctrica, mostrando homogeneidad vertical en los primeros 14 m de profundidad en el sitio Centro Norte y 18 m para el Centro, el valor promedio registrado fue de 160 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ y de 216 $\mu\text{S.cm}^{-1}$ en el fondo, indicando que el cuerpo aún no se encuentra en una mezcla completa (Figura 21b). Mientras, que en el Centro Sur se presentó homogeneidad total en toda la columna de agua de 160 $\mu\text{S.cm}^{-1}$, dado que en este punto la influencia del viento es mayor y es la época de mezcla o circulación del lago.

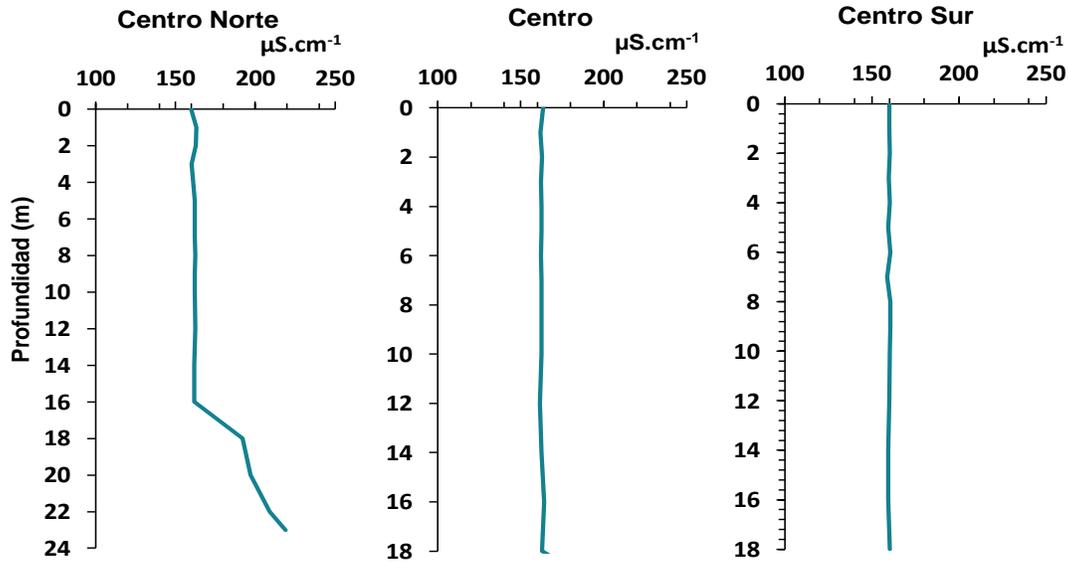


Figura 21b. Distribución vertical de la conductividad eléctrica en los tres sitios estudiados en el Lago de Yojoa, noviembre-2013.

En marzo-2014, que es época de verano, los valores promedio encontrados en los tres sitios muestreados fueron de $145 \mu\text{S.cm}^{-1}$ y de $162 \mu\text{S.cm}^{-1}$ para la superficie y fondo, respectivamente. En la Figura 21c se aprecia la distribución espacial y vertical de la conductividad eléctrica para esta época.

El patrón de comportamiento vertical y espacial presentó comportamiento similar con el pH. (Figura 20) indicando que la conductividad se encuentra influenciada por los iones H^+ , cuando los valores de pH disminuyeron los valores de conductividad eléctrica aumentaron.

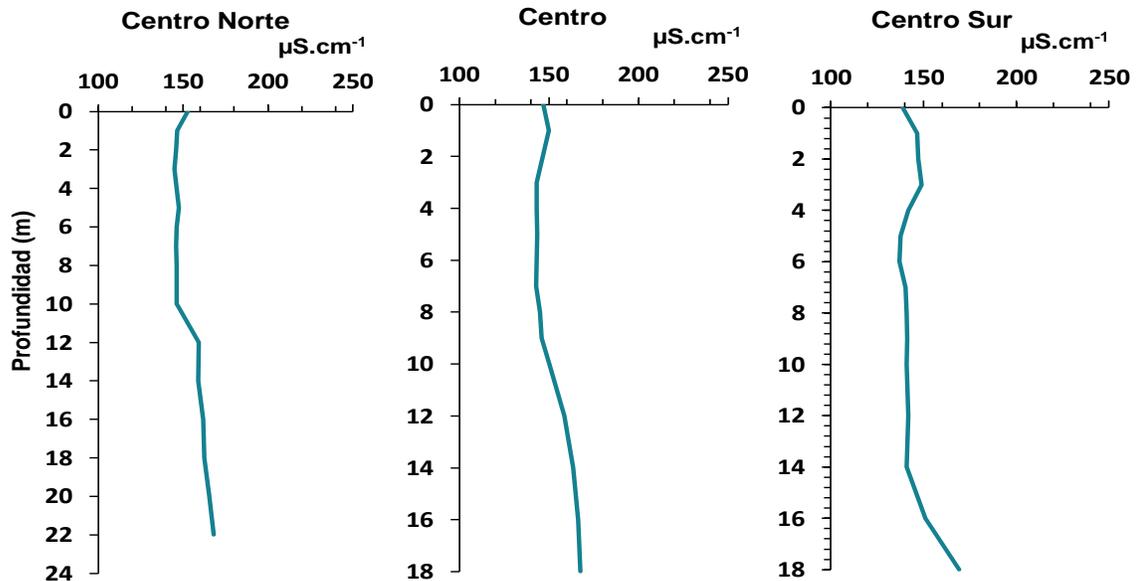


Figura 21c. Distribución vertical de la conductividad eléctrica en los tres sitios estudiados en el Lago de Yojoa, marzo-2014.

4.3.1.5. Turbidez y color verdadero

Se registraron valores bajos de turbidez en las tres épocas y en los tres puntos de muestreo, reportando valores menores a 6,0 UNT, excepto en noviembre-2013, que presentó valores de 17,8 y 7,7 UNT en el fondo del sitio Centro Norte y Centro, respectivamente (Figura 22). Los valores variaron con respecto a la profundidad, encontrando los valores más altos en el fondo, que tienden a ser mayores debido a la cercanía con el sedimento.

Los valores de turbidez registrados en el Lago de Yojoa, permiten el uso de este para fines recreativos, aparte de las demás actividades que se realizan, cumple con lo establecido en las normas técnicas nacionales que recomiendan valor de turbidez máximo de 15 UNT para abastecimiento de poblaciones como valor guía. De acuerdo a las normas canadienses la turbidez del agua no debe sobrepasar las 5,0 UNT y para fines recreativos la turbiedad debe ser menor a 50 UNT (CCME, 2008).

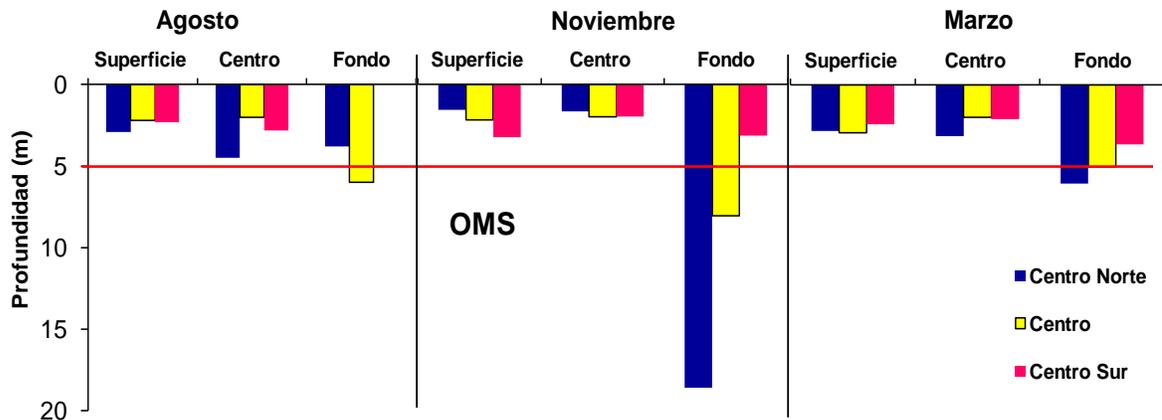


Figura 22. Distribución espacial y temporal de la turbidez del Lago de Yojoa.

Por otro lado, el valor de color verdadero promedio del agua del Lago de Yojoa para las tres épocas de muestreo medido a tres profundidades de la columna de agua fue de $10 \text{ mg.l}^{-1} \text{ Pt-Co}$. En agosto-2013 los valores registrados fueron de $10 \text{ mg.l}^{-1} \text{ Pt-Co}$: únicamente en el sitio Centro en la superficie se encontró un valor de $5,0 \text{ mg.l}^{-1} \text{ Pt-Co}$. Asimismo, en noviembre-2013 el valor promedio registrado en todos los puntos fue de $10 \text{ mg.l}^{-1} \text{ Pt-Co}$, excepto en el fondo del sitio Centro Norte que se registró un valor de $15 \text{ mg.l}^{-1} \text{ Pt-Co}$.

En marzo-2014 se observaron variaciones en cada sitio, encontrándose valores entre $5,0$ y $10 \text{ mg.l}^{-1} \text{ Pt-Co}$, para el sitio Centro Norte en la superficie se registraron valores de $5,0 \text{ mg.l}^{-1} \text{ Pt-Co}$, y valores de $10 \text{ mg.l}^{-1} \text{ Pt-Co}$ para la parte media y el fondo. En el sitio Centro los valores registrados fueron de 10 , $5,0$ y $15 \text{ mg.l}^{-1} \text{ Pt-Co}$ para la superficie, parte media y fondo respectivamente. Mientras que para el Centro Sur los valores fueron de 10 para superficie y parte media y $15 \text{ mg.l}^{-1} \text{ Pt-Co}$ en el fondo. El valor guía recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 1996), la Norma Canadiense (CCME, 2008) y la Norma Técnica Nacional del Agua para los diferentes usos, establecen como valor máximo permisible $15 \text{ mg.l}^{-1} \text{ Pt-Co}$.

En general, el Lago de Yojoa presentó valores bajos de color, el cuerpo de agua recibe las aguas residuales sin tratar del municipio de Las Vegas a través del río Raíces, en la época lluviosa el lago recibe el material alóctono proveniente de las escorrentías, el cual es diluido en la gran masa de agua, es probable que dichas

sustancias no sean de origen húmico, por lo que el color del agua no es afectado (Roldán & Ramírez, 2008).

4.3.2. Transparencia del agua al disco Secchi

La Figura 23 muestra la variación espacial y temporal de la transparencia medida con el disco secchi, para las tres épocas de muestreo. Los valores observados de transparencia fueron relativamente bajos en las tres épocas de estudio. En agosto-2013 se presentaron valores de 2,0 a 3,0 m, asimismo, se presentó un bloom algal, el inicio de la época lluviosa. En noviembre-2013, se dio el fenómeno de circulación del lago, reducción de la masa algal y aumento del volumen de agua, se registraron valores de 5,0 3,8 y 3,0 m de transparencia para el Centro Norte, Centro y Centro Sur, respectivamente. Los valores más bajos de transparencia se registraron en marzo-2014 que es época seca, también el inicio del bloom algal como resultado de la alta productividad en los primeros metros de profundidad y los bajos niveles en el volumen de agua, además al material suspendido que aún se encontraba producto del proceso de recuperación de mezcla de la masa de agua.

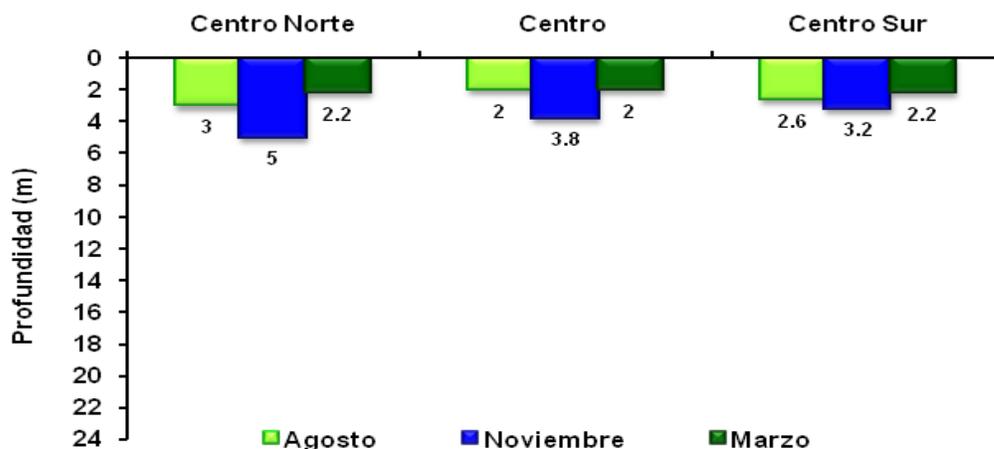


Figura 23. Transparencia del agua del Lago de Yojoa, medida con el disco secchi.

En época lluviosa generalmente la transparencia se reduce en los cuerpos de agua. Sin embargo en el Lago de Yojoa fue en la época seca donde la transparencia se redujo, lo que indica que la transparencia de la masa de agua del lago esta directamente relacionado con la concentración del fitoplancton.

Según Roldán & Ramírez (2008) en época seca la transparencia no solo depende del fitoplancton si no de otras partículas en suspensión.

La Figura 24 muestra la evolución y la variabilidad de la transparencia en un espacio de tiempo de 30 años en el Lago de Yojoa, desde 1984 hasta el año 2014. En este periodo la transparencia del lago se ha reducido de 7,0 a 3,0 m (Sandoval S. , 2006-2009). En el año 2009 la transparencia promedio fue de 3,1 m y para el 2013-2014 el promedio fue de 2,9 m, disminuyendo 4,0 m desde 1984.

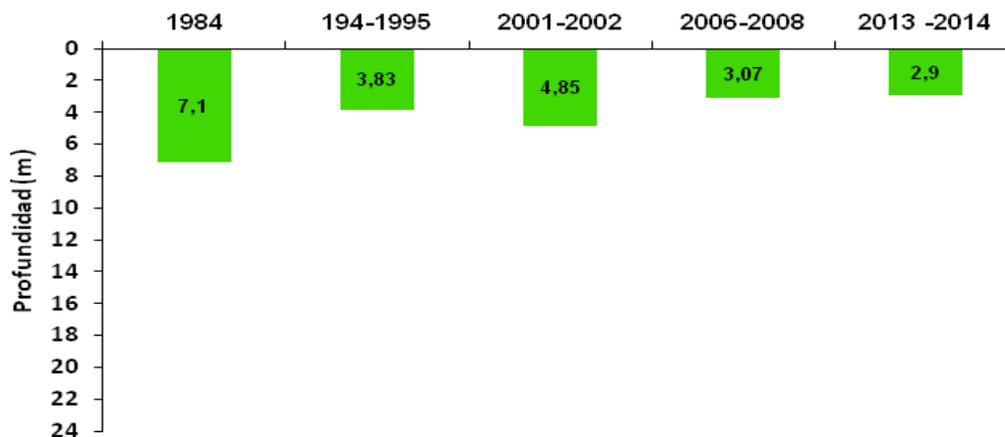


Figura 24. Variación temporal de la transparencia secchi del Lago de Yojoa. (Fuente: Sandoval 2006-2009).

4.3.3. Composición química del agua del Lago de Yojoa

En cuanto a la concentración el patrón de distribución que presentaron los cationes fue en el orden $Ca > Mg > Na > K$ (Figuras 25). El calcio fue el mayoritario y representó el 80% del total de los cationes. Las concentraciones oscilaron entre 23 y 30 $mg.l^{-1}$, de 25 a 33 $mg.l^{-1}$ y de 22 a 30 $mg.l^{-1}$, para agosto-2013, noviembre-2013 y marzo-2014, respectivamente. Las concentraciones de magnesio, sodio y potasio fueron menores a 5,00 $mg.l^{-1}$. Los resultados obtenidos se muestran en las en el Anexo 5, Tablas A.5.1 y A.5.2.

En los sistemas tropicales de Suramérica se han reportado un promedio de 4,0 $mg.l^{-1}$ para el sodio y 2,0 $mg.l^{-1}$ para el potasio, lo que corresponden con los valores promedios de sodio y potasio reportados en el Lago de Yojoa que fueron 2,4 y 1,5 $mg.l^{-1}$, respectivamente. Los cationes de calcio y magnesio por lo general

son los más abundantes en las aguas dulces, mientras que el sodio y el potasio se encuentran en bajas concentraciones (Roldán & Ramírez, 2008).

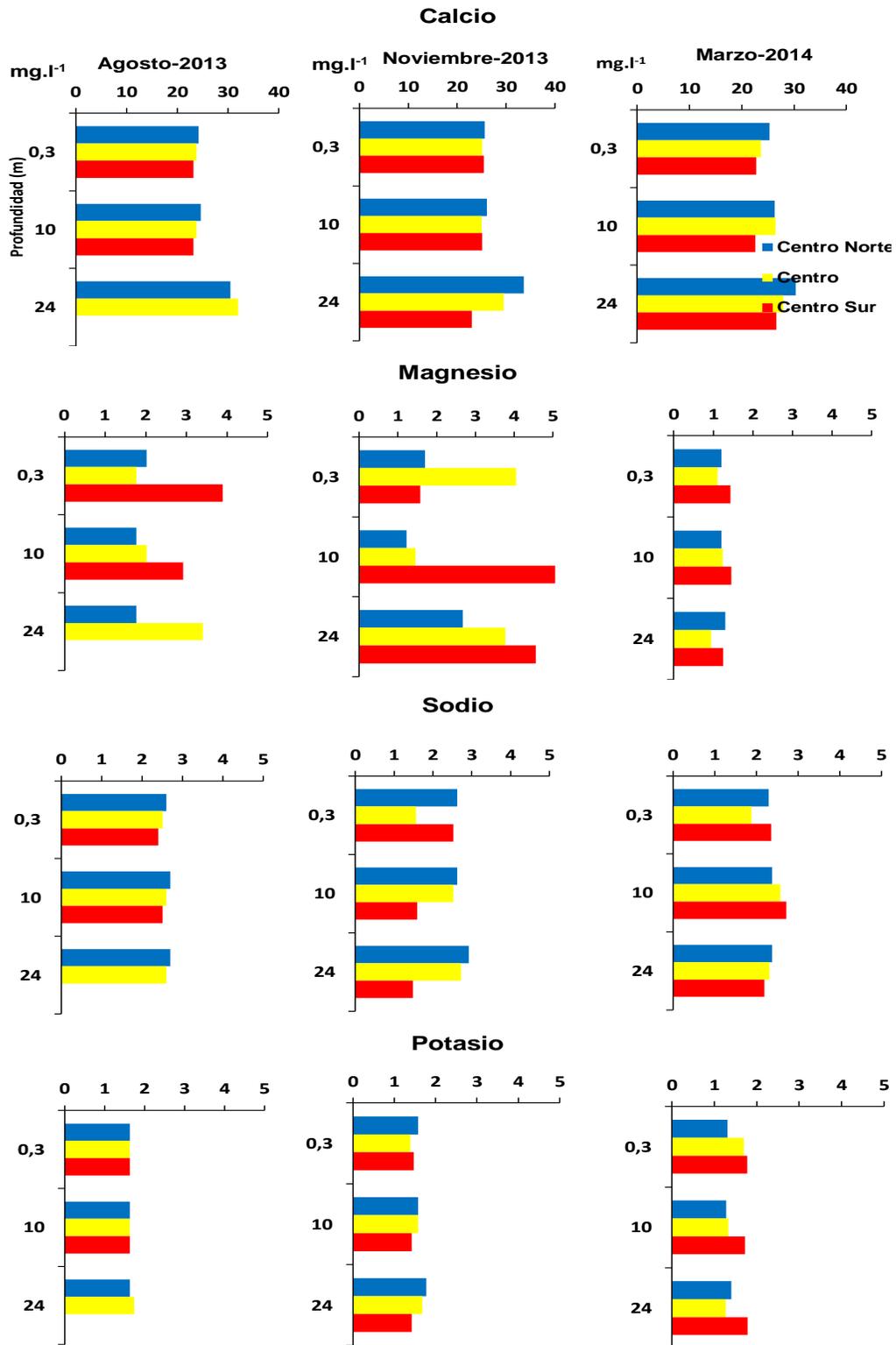


Figura 25. Distribución espacial y temporal de los cationes medidos en el Lago de Yojoa.

Los aniones (Figura 26) tuvieron el siguiente patrón de distribución: $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{CO}_3^{2-}$ en agosto y noviembre 2013, el 91 % estuvo dominado por el bicarbonato seguido por los iones sulfatos y carbonatos. El ion bicarbonato reportó valores promedio de 90 mg.l^{-1} en los primeros metros de profundidad (0 -10 m) y de 121 mg.l^{-1} en el fondo, mientras que los iones sulfatos presentaron valores entre 3,5 a 10 mg.l^{-1} , el valor registrado para el ion carbonato fue de $2,0 \text{ mg.l}^{-1}$ en agosto-2013 y $1,0 \text{ mg.l}^{-1}$ en noviembre-2013.

En marzo-2014 el patrón de distribución fue: $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{CO}_3^{2-} > \text{Cl}^-$, se observó una reducción del ion bicarbonato con respecto a agosto y noviembre 2013, con valores promedio de 65 mg.l^{-1} en la superficie y de 98 mg.l^{-1} para el fondo, un aumento en la concentración de iones carbonato en la superficie y parte media con valores entre 6,0 a 10 mg.l^{-1} y la presencia del ion cloruro reportando valores entre 1,21 a $2,5 \text{ mg.l}^{-1}$. Los iones bicarbonatos es la forma más común de encontrar los iones carbonatos debido a la actividad biológica, en las aguas dulces los iones sulfatos presentan valores entre 2,0 y 10 mg.l^{-1} y los cloruros valores menores a $5,0 \text{ mg.l}^{-1}$ (Roldán & Ramírez, 2008).

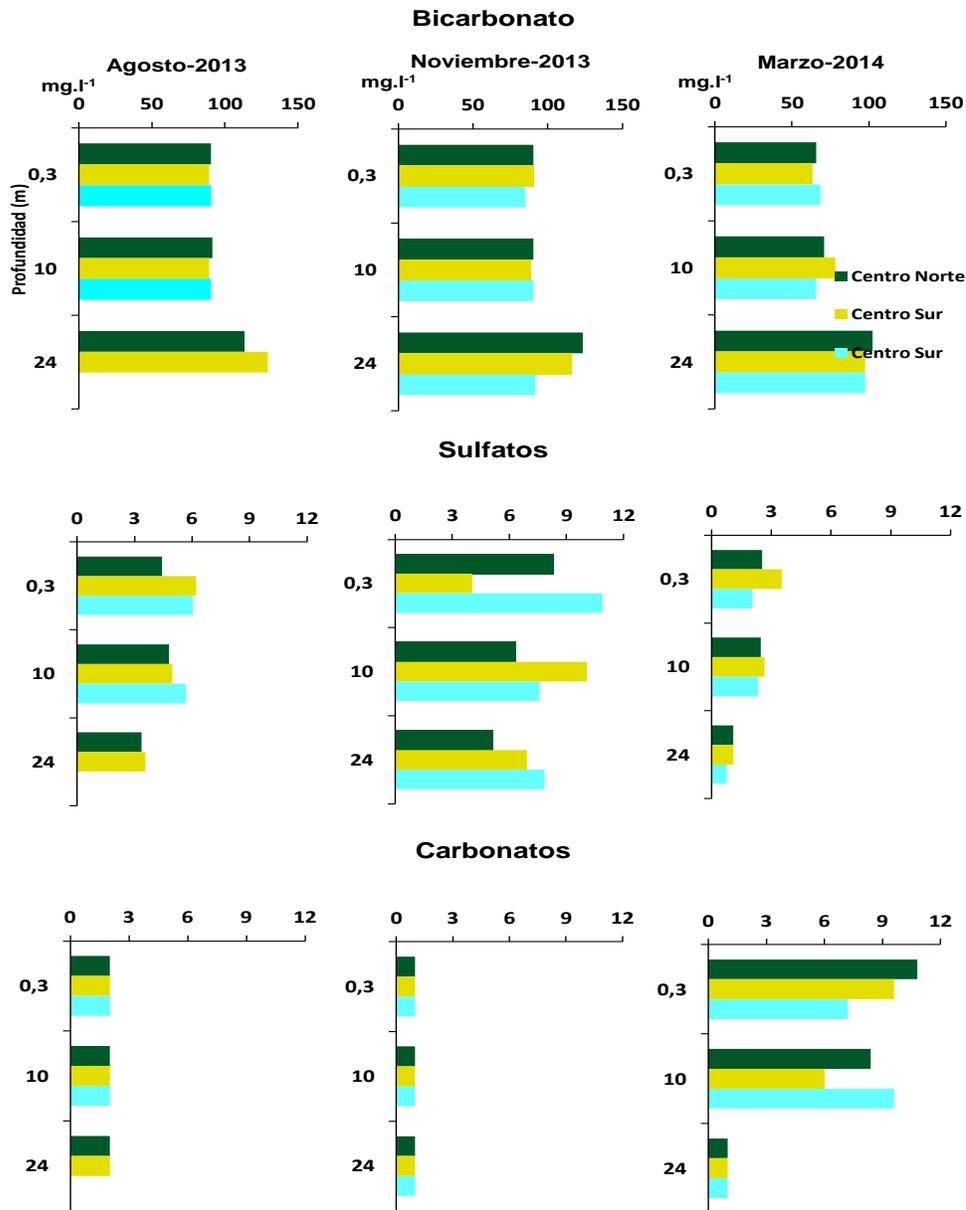


Figura 26. Distribución espacial y temporal de los aniones medidos en el Lago de Yojoa.

Los principales iones que predominaron en la distribución espacial y temporal fueron el catión calcio y el anión bicarbonato, dada la actividad biológica (fotosíntesis y respiración), y a las características geológicas de la cuenca de drenaje, por lo general estos iones son los que predominan en las aguas interiores (Roldán & Ramírez, 2008). La presencia del ion sulfato se debe a las condiciones aerobias y del pH en la columna de agua. En cambio, los carbonatos son debido a zonas recarga de agua subterránea y los cloruros por lo general se incrementan

en la época de estiaje cuando ocurren las menores precipitaciones (Esteves, 1988 y Roldán & Ramírez, 2008).

En ambientes estratificados térmicamente los principales cationes y aniones presentan estratificación (Esteves, 1988). El Lago de Yojoa presentó estratificación de los iones estudiados. Los cationes de calcio y magnesio, así como los aniones bicarbonatos presentaron las mayores concentraciones en el hipolimnion. Los iones sodio y potasio presentaron una distribución heterogénea en toda la columna de agua. Los iones sulfatos, carbonatos y cloruros presentaron las mayores concentraciones en los estratos superficiales. Además, se les atribuye los valores de conductividad eléctrica del lago.

4.3.4. Dureza y alcalinidad del agua del Lago de Yojoa

El calcio se encontró en mayor proporción en el Lago de Yojoa (80%), de acuerdo con Roldán & Ramírez (2008) estas aguas son consideradas como aguas medianamente productivas y de dureza intermedia, dado que presentan concentraciones de calcio entre 10 y 25 mg.l⁻¹ (Roldán & Ramírez, 2008). Asimismo, presentó una alcalinidad moderada con valores de bicarbonatos que oscilaron entre 74 - 106 mg.l⁻¹ medida como CaCO₃ presentándose los mayores valores en el fondo.

4.3.5. Carbono orgánico disuelto

El COD se midió durante las tres épocas de muestreo y a tres profundidades de la columna de agua, excepto en el mes de agosto-2013 que únicamente se tomó muestra en la superficie, la distribución espacial y temporal se aprecia en la Figura 27. Las concentraciones variaron entre 0,7 – 5,1 mg.l⁻¹, y únicamente en el fondo del sitio Centro Norte se registró un valor 10,9 mg.l⁻¹ en noviembre-2013, época lluviosa y de mezcla. De acuerdo con las concentraciones de COD en el Lago de Yojoa, estas se corresponden a las reportadas en la mayoría de las aguas tropicales que están entre 3,0 y 10 mg.l⁻¹ (Dudgeon, 2008). Las concentraciones de COD podrían indicar el estado trófico de un lago y el tipo de contaminación al

que está sometido. Se han reportado para distintos lagos templados concentraciones entre 0,5 y 3,0 mg.l⁻¹ para lagos oligotróficos, entre 5,0 y 10 mg.l⁻¹ para lagos mesotróficos y entre 15 y 30 mg.l⁻¹ en lagos contaminados (Esteves, 1988). En base en los resultados obtenidos de COD el Lago de Yojoa podría clasificarse en la categoría de oligotrófico dado que las concentraciones de COD registradas son bajas, sin embargo y de acuerdo con Roldán & Ramírez (2008), en lagos eutróficos o productivos hay menor excreción del COD, además la concentración de COD disminuye por la rápida oxidación de la materia orgánica, cuando la concentración es alta y de origen alóctono se presentan incremento del consumo de oxígeno en la columna de agua con el fondo desoxigenado, características que presentó el Lago de Yojoa.

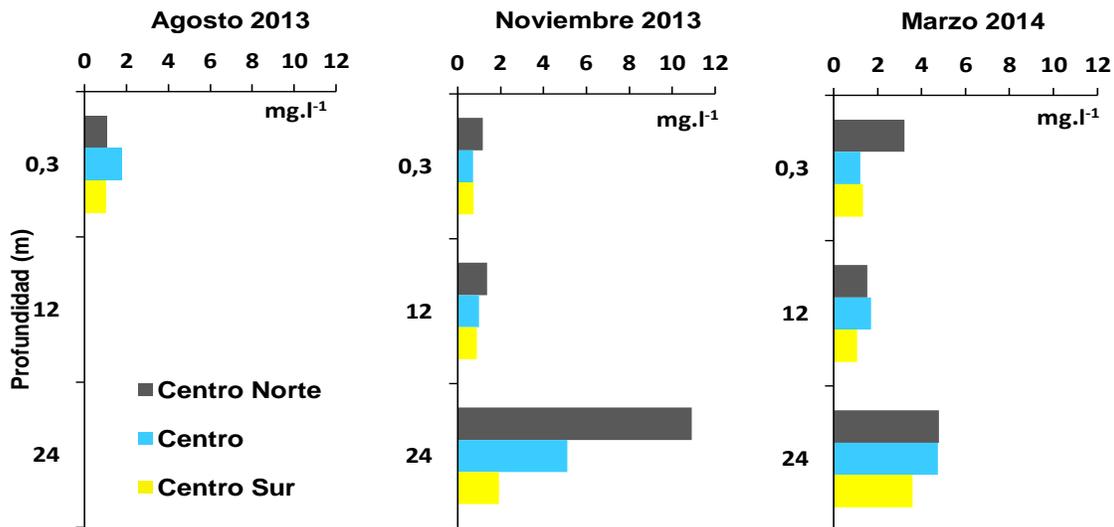


Figura 27. Distribución espacial y vertical del COD en las tres épocas de muestreo en el Lago de Yojoa.

4.3.6. Demanda bioquímica de Oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO)

Las concentraciones de DBO₅ en agosto-2013 oscilaron de 1,0 a 5,0 mg.l⁻¹ en la superficie. En noviembre-2013 los valores obtenidos fueron de 4,0 a 6,0 mg.l⁻¹ y para marzo-2014 de 3,0 a 4,2 mg.l⁻¹ (Tabla 12). El valor máximo encontrado fue de 6,0 mg.l⁻¹ en noviembre en el sitio Centro, a excepción sitio Centro Norte en agosto y el Centro en marzo en la superficie que presentaron valores ≤ 1,0 mg.l⁻¹,

en todos los demás sitios y en las tres épocas de monitoreo se presentaron valores entre 3,0 y 6,0 mg.l⁻¹. En las aguas superficiales valores mayores a 1,0 mg.l⁻¹ indican problemas de contaminación (Custodio & LLamas, 2001). Asimismo, Ramírez & Viña (1998) mencionan que valores entre 3,0 y 6,0 mg.l⁻¹ de DBO₅ indican agua de dudosa calidad.

Tabla 12. Demanda bioquímica de oxígeno en el Lago de Yojoa

Sitios de muestreo	Agosto-13			Noviembre-13			Marzo-14		
	Sup.	Medio	Fondo	Sup.	Medio	Fondo	Sup.	Medio	Fondo
Centro Norte	1,1	nd	Nd	4,4	4,1	3,6	3,8	4,2	4,6
Centro	3,6	nd	Nd	5,1	6,2	4,1	0,5	3,1	5,4
Centro Sur	5,1	nd	Nd	5,9	4,6	5,6	3,4	2,4	4,4

nd: no determinado. Sup.: Superficie

La concentración de DQO no mostró un patrón de comportamiento para las épocas y profundidades estudiadas, los valores registrados fluctuaron entre valores menores al límite de detección del método <10 mg.l⁻¹ y 28 mg.l⁻¹. En agosto y noviembre 2013, los valores de DQO determinados para los tres sitios estudiados fueron menores de <10 mg.l⁻¹. Mientras que en marzo-2014 en el punto Centro presentó valores <LDM en la superficie y en la parte media, en los demás puntos y para las diferentes profundidades los valores oscilaron entre 11 y 28 mg.l⁻¹ (Tabla 13). Valores de DQO superiores a 10 mg.l⁻¹ pueden ser un claro indicio de contaminación antropogénica (Custodio & LLamas, 2001) y (Bureau, 2008).

Tabla 13. Demanda química de oxígeno en el Lago de Yojoa

Sitios de muestreo	Agosto-13			Noviembre-13			Marzo-14		
	Sup.	Medio	Fondo	Sup.	Medio	Fondo	Sup.	Medio	Fondo
Centro Norte	5	nd	Nd	5	11,61	19,35	18	28	20
Centro	5	nd	Nd	5	5	15,48	5	5	14
Centro Sur	10	nd	Nd	5	11,74	5	13,33	12	12

nd: no determinado. Sup.: Superficie

La relación DBO_5 y la DQO nos permite conocer el grado de biodegradabilidad de la materia orgánica. Si la relación: $DBO_5/DQO < 0,2$ el material es poco biodegradable, $DBO_5/DQO > 0,4$ es biodegradable y si la $DBO_5/DQO > 0,65$ el material es orgánico muy degradable (Bureau Veritas Formación, 2008).

De acuerdo a lo anterior y con base en los resultados obtenidos (Tabla 14), se muestra claramente una dominancia de materia orgánica biodegradable y muy biodegradable, como resultado de las condiciones y las actividades que se desarrollan en la cuenca que impactan en el cuerpo de agua como la descarga de aguas residuales, acuicultura y pastoreo de ganado. En marzo-2014 y, en el sitio Centro Norte se observó presencia de material poco biodegradable.

Tabla 14. Relación DBO_5/DQO obtenido para el Lago de Yojoa.

Sitios de muestreo	Agosto-13			Noviembre-13			Marzo-14		
	Sup.	Medio	Fondo	Sup.	Medio	Fondo	Sup.	Medio	Fondo
Centro Norte	0,2	nd	nd	0,9	0,4	0,2	0,2	0,1	0,2
Centro	0,7	nd	nd	1,02	1,23	0,3	0,1	0,6	0,4
Centro Sur	0,5	nd	nd	1,2	0,4	1,1	0,3	0,2	0,4

nd: no determinado.

4.3.7. Nutrientes en el Lago de Yojoa

4.3.7.1. Distribución del nitrógeno total

El nitrógeno presentó una distribución temporal heterogénea entre los tres sitios muestreados y en las diferentes profundidades (Figura 28). En cuanto a la distribución vertical para la época lluviosa agosto y noviembre 2013 los resultados encontrados en la superficie y la parte media oscilaron entre 0,4 a 0,7 $mg.l^{-1}$. En el fondo las concentraciones de nitrógeno mostraron un incremento con valores de 1,2 a 3,3 $mg.l^{-1}$, excepto en el Centro Sur en noviembre-2013 que presentó un valor menor de 0,5 $mg.l^{-1}$. En marzo-2014, las concentraciones entre la superficie y el fondo fueron más homogéneas. Las concentraciones variaron de 0,5 a 0,9

mg.l⁻¹ en la superficie, de 0,7 a 0,8 mg.l⁻¹ en la parte media y de 0,9 a 1,0 mg.l⁻¹ en el fondo.

En la Figura 28, se aprecia la distribución espacial y vertical de las concentraciones de nitrógeno para las épocas estudiadas. De los tres sitios estudiados el Centro Sur fue el que presentó las menores concentraciones, durante las tres épocas muestreadas.

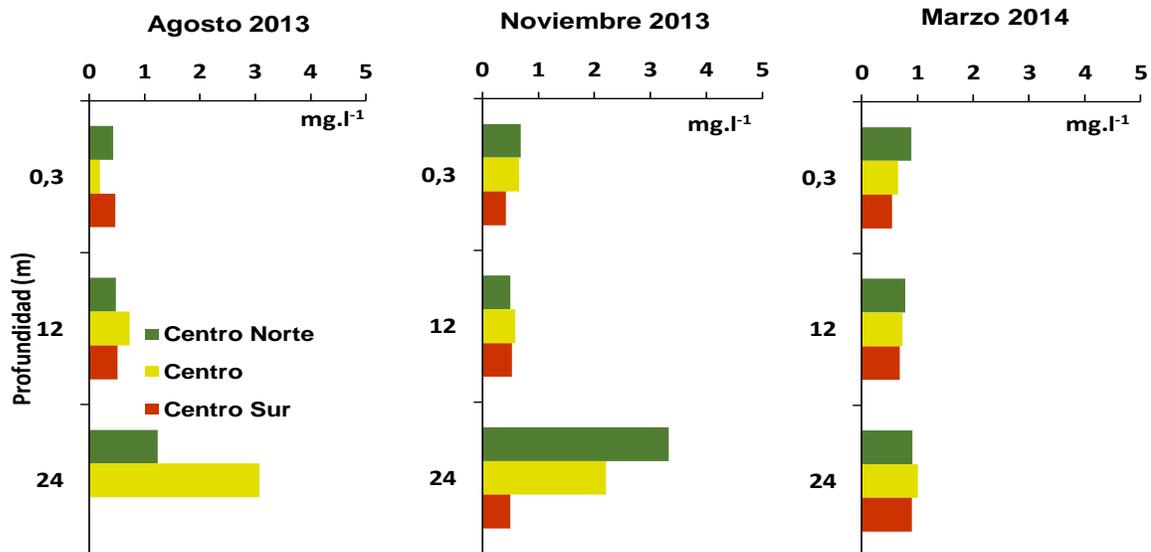


Figura 28. Distribución espacial y vertical del nitrógeno total en las tres épocas de muestreo, en el Lago de Yojoa.

De acuerdo con Esteves (1998), el lago presenta una distribución espacial del nitrógeno homogénea y aumenta en el hipolimnion a causa de la solubilidad del nitrógeno por la disminución de la temperatura y por el proceso de desnitrificación, debido a la disminución del oxígeno y la presencia de materia orgánica oxidable en los sedimentos. Así mismo, las concentraciones de nitrógeno en el cuerpo de agua se conservaron bajas tanto en la época lluviosa como en la época seca, en parte atribuido al proceso de dilución debido a las precipitaciones en el cuerpo de agua y a la dinámica del metabolismo interno del ecosistema por la demanda de organismos fotosintetizadores y fijadores que desempeñan un papel relevante en el Lago de Yojoa.

De las formas inorgánicas biodisponibles del nitrógeno el amonio constituyó la fracción mayoritaria en el Lago de Yojoa, mostrando una distribución variable en el

espacio y tiempo en la columna de agua (Figura 29). Los resultados obtenidos para cada una de las formas inorgánicas del nitrógeno durante el periodo y sitios del estudio se encuentran en el Anexo 6; Tabla A.6.1.

En agosto-2013, se registró valores de amonio de 0,02 a 0,07 mg.l⁻¹ y de 1,1 a 1,4 mg.l⁻¹ en la superficie y el fondo, respectivamente. En noviembre-13, época de desestratificación de la masa de agua con una disminución en la temperatura y del oxígeno disuelto, las concentraciones variaron entre 0,16 a 0,33 mg.l⁻¹ y 0,16 a 3,1 mg.l⁻¹ en la superficie y el fondo, respectivamente. El fenómeno de circulación de la masa de agua favoreció el incremento de la concentración de amonio debido a que este es removido desde los estratos profundos y la baja cantidad de oxígeno disponible para su oxidación (Esteves, 1988). En marzo-2014, se registraron las menores concentraciones con valores de 0,02 a 0,06 mg.l⁻¹ y de 0,53 a 0,88 mg.l⁻¹ en la superficie y fondo, respectivamente. De los tres sitios estudiados, el Centro Sur fue el que registró las menores concentraciones con valores entre 0,05 a 0,59 mg.l⁻¹.

En condiciones naturales las aguas epilimneticas presentan concentraciones menores de 0,1 mg.l⁻¹ de amonio (Tundisi & Tundisi, 2008). En los lagos estratificados y que presentan eutrofización como el Lago de Yojoa, las concentraciones de amonio son mas elevadas, aumentando en el hipolimnion a causa de la descomposición de la materia orgánica, la excreción y descomposición de organismos, mientras que en epilimnion las concentraciones son bajas debido al consumo del ion amonio por el fitoplancton, por lo general las concentraciones varían entre 1,0 – 2,0 mg.l⁻¹ (Tundisi & Tundisi, 2008) y (Wetzel, 1981).

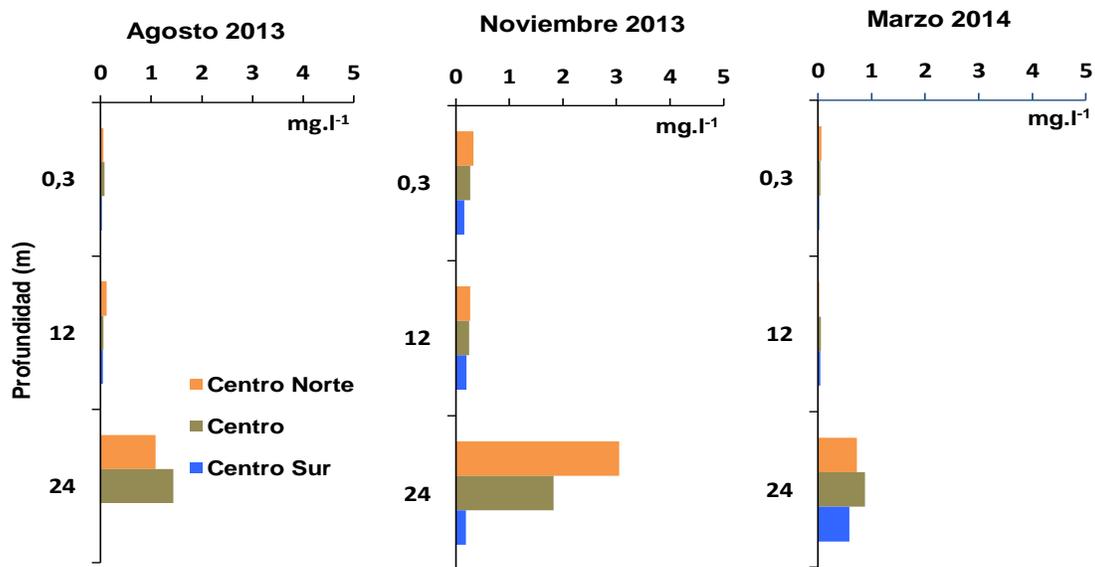


Figura 29. Distribución espacial y vertical del N-NH₄ total en las tres épocas de muestreo, en el Lago de Yojoa.

En cuanto a las concentraciones de N-NO₃ fluctuaron en cada época de muestreo en los distintos sitios estudiados y en la columna de agua. En agosto-2013 los valores oscilaron entre 0,02 a 0,05 mg.l⁻¹ presentando las menores concentraciones en el hipolimnion. Las bajas concentraciones de N-NO₃ encontradas por lo general fueron bajas debido a que es la forma en la que el nitrógeno es asimilado por la mayoría de organismos fotosintetizadores y es consumido con la misma rapidez que se produce y puede superar al ingreso del mismo (Roldán & Ramírez, 2008).

Para la época de circulación de la masa de agua en noviembre-2013, los valores determinados fueron <LDM (0,0056 mg.l⁻¹), puesto que las concentraciones oxígeno disminuyeron, por lo cual es de esperar una disminución de la concentración de N-NO₃ por la baja disponibilidad del oxígeno para la oxidación del amonio.

En marzo-2013, el lago presentó variación vertical y horizontal respecto al nitrato, en el sitio Centro Norte las concentraciones oscilaron entre 0,09 y 0,03 mg.l⁻¹ para la superficie y el fondo, respectivamente. En el punto Centro de 0,29 y 0,03 mg.l⁻¹, en la superficie y el fondo, respectivamente. Mientras que la parte media se registró un alta concentración de 1,09 mg.l⁻¹; este mismo sitio en agosto en el

fondo presentó una concentración de $0,40 \text{ mg.l}^{-1}$. Las altas concentraciones encontradas en estos sitios es atribuido en parte a la dinámica del cuerpo de agua y a una fuente externa de nitrato en este punto, donde se localiza el complejo industrial de la producción de peces para la comercialización. El sitio Centro Sur presentó una distribución homogénea con valores de $0,03 \text{ mg.l}^{-1}$.

En cuanto a la distribución vertical del nitrato, las concentraciones más altas se encontraron en la zona trofógena, que es donde se da la producción de nitritos y nitratos, producto del proceso de oxidación biológica por las bacterias nitrificantes el cual se lleva a cabo bajo condiciones aerobias (Roldán & Ramírez, 2008). La concentración de nitrato disminuyó en función de la capa más profunda como resultado del descenso de la concentración de oxígeno y del proceso de denitrificación que es simultáneo al de la denitrificación que se da más en condiciones anóxicas y en sedimentos con mucha materia orgánica (Wetzel, 1981).

Las concentraciones de nitritos encontradas en el Lago de Yojoa registraron valores entre $0,002$ y $0,001 \text{ mg.l}^{-1}$ entre la superficie y el fondo, en agosto y noviembre 2013, respectivamente. Mientras que para la época seca en marzo-2014, la concentración varió con valores $< \text{LDM}$ para el fondo y hasta $0,008 \text{ mg.l}^{-1}$ en la superficie. Razón por la cual los valores reportados no se consideran tóxicos para los organismos acuáticos, ya que no superan el valor de $0,009 \text{ mg.l}^{-1}$ (Esteves, 1988) y (Camargo & Alonso, 2007).

4.3.7.2. Distribución del fósforo total

En el Lago de Yojoa la concentración fósforo total presentó variación espacial y temporal. Las concentraciones más altas se registraron en agosto-2013, con la llegada de las precipitaciones, el rango de concentración varió de $0,026$ a $0,06 \text{ mg.l}^{-1}$ en la superficie y parte media; y de $0,11$ a $0,13 \text{ mg.l}^{-1}$ en el fondo. En la época de mezcla las concentraciones disminuyeron en la superficie y parte media presentando valores de $0,02$ a $0,03 \text{ mg.l}^{-1}$. Sin embargo, para el fondo las concentraciones aumentaron en los puntos Centro Norte y Centro con valores de $0,16$ a $0,41 \text{ mg.l}^{-1}$. En marzo-2014 las concentraciones oscilaron desde $> 0,02$

mg.l⁻¹ hasta 0,04 mg.l⁻¹. Para el fondo desde 0,04 a 0,14 mg.l⁻¹. Estos resultados se muestran claramente en la Figura 30 donde se aprecia la variación espacial y temporal de la concentración de fósforo total. Asimismo, se observa que en el fondo las concentraciones de fósforo son mayores ya que este se acumula en el sedimento (Wetzel, 1981).

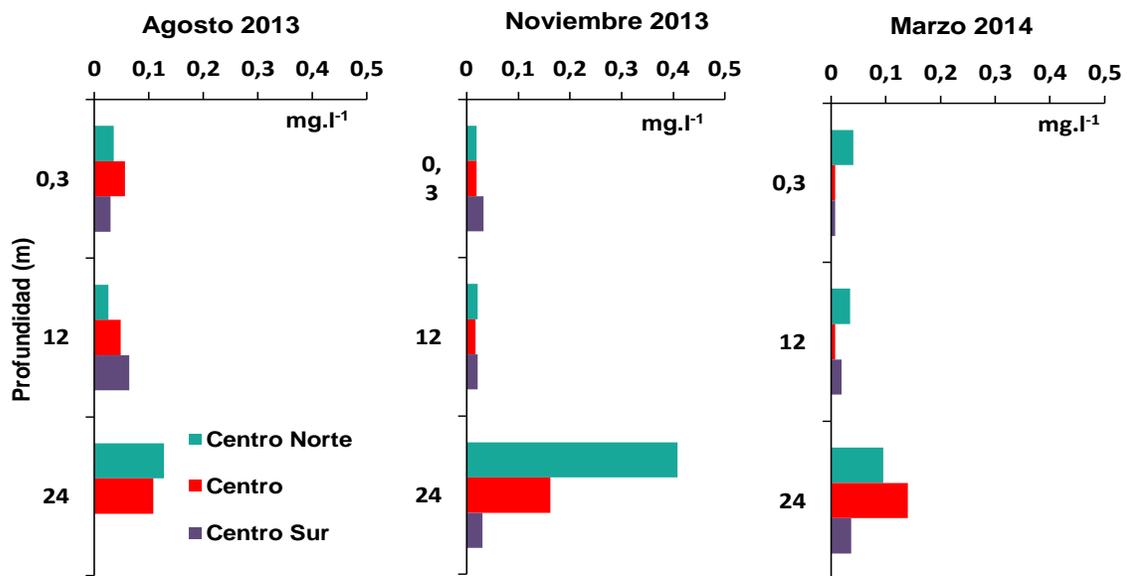


Figura 30. Distribución espacial y vertical del fósforo total en las tres épocas de muestreo, en el Lago de Yojoa.

En cuanto al fósforo reactivo disuelto (FRD) para las tres épocas se reportaron valores <LDM (0,016 mg.l⁻¹) en los tres puntos de muestreo y a las tres profundidades medidas debido a que es la forma inorganica asimilable por los microorganismo algales. De acuerdo con Wetzel (1981), las bajas concentraciones se debe a que en ecosistemas muy productivos o eutrofizados las concentraciones de fósforo como ortofosfato es asimilado rápidamente por los microorganismos (Wetzel, 1981). Sin embargo, a excepcion del punto Centro donde se encontraron concentraciones entre 0,02, y 0,03 mg.l⁻¹ en las tres profundidades, en los puntos Centro Norte y Centro en noviembre-2013 en el fondo se reportaron valores de 0,12 a 0,29 mg.l⁻¹ y en marzo-2014 entre 0,06 a 0,071 mg.l⁻¹.

En aguas superficiales no contaminadas las concentraciones de fósforo total varían entre 0,01 y 0,05 mg.l⁻¹ y para el fósforo reactivo disuelto pueden

presentarse en amplios límites, desde valores menores a 0,001 hasta 0,2 mg.l⁻¹ para lagos salinos cerrados (Wetzel, 1981).

En cuanto a la distribución vertical las menores concentraciones de fósforo se registraron en la zona trofógena. De acuerdo con Wetzel (1981) los lagos que generalmente presentan estratificación térmica con curvas de oxígeno clíno gradadas en la zona trofógena las concentraciones de fósforo son bajas, debido a que ocurre la liberación del fósforo antes de sedimentarse que es reciclado muy rápidamente. Mientras que en el hipolimnion se observó un incremento, el que es favorecido por la liberación del fósforo desde el sedimento a la columna de agua dado las condiciones anóxicas y de pH que prevalecieron en el hipolimnion (Esteves, 1988) y (Roldán & Ramírez, 2008).

4.3.8. Composición del fitoplancton en el Lago de Yojoa

Se identificaron los constituyentes de los grupos principales de los productores primarios, ya que son organismos importantes para el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos y su distribución está sujeta al movimiento de las aguas.

4.3.8.1. Estructura comunitaria

Durante las tres épocas de muestreo realizadas en el Lago de Yojoa la comunidad fitoplanctónica estuvo representada por cinco divisiones algales: Chlorophyta, Cyanophyta, Bacillariophyta, Dinophyta y Euglenophyta, en las cuales se identificaron 42 taxas (Figura 31 y Tabla 15).

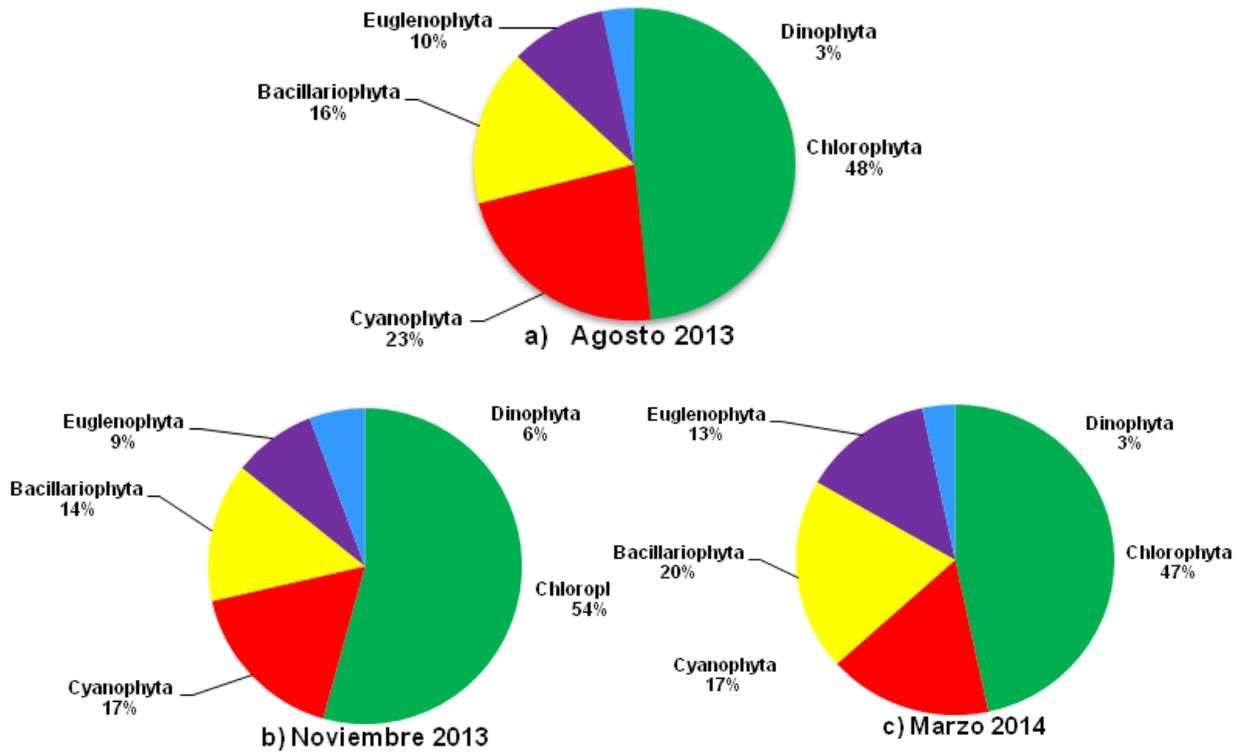


Figura 31. Aporte de los grupos del fitoplancton a la riqueza de especies para el periodo de estudio del Lago de Yojoa.

De las cinco divisiones identificadas la Chlorophyta fue el grupo dominante en cuanto a riqueza de especies durante las tres épocas de muestreo (47 – 54%), seguida por la Cyanophyta (17 - 23%), Bacillariophyta (14 - 20%), mientras que los demás grupos el aporte fue entre 3 a 13%. El total de taxas identificadas de cada división algal, para cada muestreo se detallan en el Anexo 7, Tabla A.7.1.

La distribución de los grupos taxonómicos durante el periodo de estudio fue: 45% de la división Chlorophyta con un aporte de 19 taxas, es el grupo más diversificado en las aguas dulces y son indicadoras de contaminación (Bellinger & Segee, 2010) y (Roldán & Ramírez, 2008). Sin embargo, en lagos mesotróficos y eutróficos no producen floraciones algales densas, pero a comienzos del verano puede ser dominante o co-dominante con floraciones algales mixtas cuando los niveles de nutrientes son altos, este fenómeno fue evidente en el Lago de Yojoa en la época seca (marzo-2014) (Bellinger & Segee, 2010).

La Cyanophyta representó el 21% con nueve taxas: Es una de las divisiones algales que posee una gran capacidad adaptativa en todos los biotipos del ecosistema lacustre, tienen un amplio rango de tolerancia a muchos factores, se desarrollan tanto en agua dulce como en agua marina y son indicadores de un estado de eutrofización avanzada (Reynolds, 2006) y (Ramírez J. J., 2000).

Similar a la Cyanophyta, la Bacillariophyta representó el 21% con un aporte de nueve taxas. La Bacillariophyta es una clase que posee la división Chrisophyta, son mejor conocidas como diatomeas, son una clase ampliamente diversificada en agua dulce y agua salobre. Esta clase comprende dos órdenes: las Centrales y las Pennales, estas últimas son más abundantes en el fitoplancton de agua dulce (Esteves, 1988). La Dinophyta y Euglenophyta fueron los grupos menos representados en el Lago de Yojoa, contribuyeron con menos del 15% a la riqueza de especies.

Algunas de estas especies encontradas en el Lago de Yojoa, han sido consideradas como indicadores de ambientes eutrofizados y tolerantes a polución orgánica. Según Pinilla (2000) y Bellinger & Segee (2010) dentro de la división Chlorophyta sobresalen especies como; *Staurastrum*, *Eudorina sp*, *Scenedesmus sp*, de las Cyanophyta: *Microcystis*, y *Chroococcus*, dentro de la división Bacillariophyta: *Aulacoseira granulata*, *Gomphonema sp*, *Nitzchia*, de Euglenophyta: *Euglena sp*, *Lepocinclis sp*, y de la División Dinophyta: *Peridinium sp*. Del total de las especies encontradas en el Lago de Yojoa el 62% corresponden a especies indicadoras de ambientes eutrofizados.

De acuerdo con Wetzel (1981), especies como *Scenedesmus sp*. y *Oscillatoria rubescens* requieren altas cantidades fósforo para su crecimiento y para alcanzar una densidad máxima. Estas especies fueron encontradas en el Lago de Yojoa durante las tres épocas de muestreo, por lo que las concentraciones de fósforo que ingresan al lago son altas, sin embargo las bajas concentraciones de fósforo registradas en los cuerpos de agua son relacionadas al alto consumo y a la rapidez con la que es asimilado.

Tabla 15. Aportes del fitoplancton durante las tres épocas de muestreo.

Agosto	Noviembre	Marzo
División Chlorophyta	División Chlorophyta	División Chlorophyta
<i>Chlorolobium sp</i>	<i>Ankyra sp</i>	<i>Ankystrodesmus sp</i>
<i>Closteriopsis sp</i>	<i>Botryococcus braunii</i>	<i>Botryococcus braunii</i>
<i>Monoraphidium sp</i>	<i>Chlorolobium sp</i>	* <i>Coelastrum indicum</i>
* <i>Oocystis lacustris</i>	<i>Coelastrum microporum</i>	<i>Coelastrum microporum</i>
* <i>Scenedesmus sp</i>	* <i>Coelastrum indicum</i>	* <i>Coelastrum reticulatum</i>
<i>Coelastrum astroideum</i>	* <i>Coelastrum reticulatum</i>	<i>Chlamydomonas</i>
* <i>Coelastrum reticulatum</i>	<i>Coenochloris sp</i>	* <i>Eudorina sp</i>
* <i>Coelastrum indicum</i>	<i>Crucigeniella rectangularis</i>	* <i>Eutetramorus fotii</i>
* <i>Staurastrum leptocladum</i>	* <i>Eudorina elegans</i>	* <i>Eutetramorus polycoccus</i>
* <i>Eudorina sp</i>	* <i>Eutetramorus polycoccus</i>	<i>Nephrocytium sp</i>
* <i>Eutetramorus sp</i>	<i>Mougeotia sp</i>	* <i>Scenedesmus sp</i>
<i>Kirchneriella sp</i>	<i>Nephrocytium sp</i>	<i>Quadrygula sp</i>
<i>Pediastrum Simplex</i>	* <i>Oocystis lacustris</i>	* <i>Staurastrum leptocladum</i>
<i>Pseudoquadrigula sp</i>	<i>Pediastrum duplex</i>	* <i>Oocystis lacustris</i>
<i>Quadrigula sp</i>	<i>Pediastrum Simplex</i>	División Cyanophyta
División Cyanophyta	<i>Pseudoquadrigula sp</i>	* <i>Aphanothece sp</i>
<i>Anabaena sp1</i>	* <i>Staurastrum sp</i>	* <i>Chroococcus sp1</i>
<i>Aphanocapsa sp</i>	* <i>Scenedesmus sp</i>	<i>Lyngbya hieronymusii</i>
* <i>Aphanothece sp</i>	<i>Schroederia sp</i>	<i>Merismopedia tenuissima</i>
* <i>Chroococcus sp1</i>	División Cyanophyta	* <i>Microcystis aeruginosa</i>
* <i>Microcystis aeruginosa</i>	* <i>Aphanothece sp</i>	<i>Pseudanabaena sp</i>
<i>Microcystis sp</i>	* <i>Chroococcus sp1</i>	División Bacillariophyta
<i>Oscillatoria sp</i>	<i>Lyngbya hieronymusii</i>	* <i>Aulacoseira granulata</i>
División Bacillariophyta	<i>Merismopedia tenuissima</i>	* <i>Cyclotella meneghiniana</i>
* <i>Aulacoseira granulata</i>	* <i>Microcystis aeruginosa</i>	<i>Synedra ulna</i>
<i>Cymbella sp</i>	<i>Pseudanabaena sp</i>	<i>Gomphonema sp</i>
* <i>Cyclotella sp</i>	División Bacillariophyta	<i>Navicula sp</i>
<i>Navicula sp</i>	* <i>Aulacoseira granulata</i>	<i>Stephanodiscus sp</i>
<i>Surirella sp</i>	* <i>Cyclotella meneghiniana</i>	División Dinophyta
División Dinophyta	<i>Gomphonema sp</i>	* <i>Peridinium sp</i>
* <i>Peridinium sp</i>	<i>Synedra ulna</i>	División Euglenophyta
División Euglenophyta	<i>Nitzschia</i>	* <i>Euglena sp</i>
* <i>Lepocinclis sp</i>	División Dinophyta	* <i>Lepocinclis sp</i>
<i>Phacus sp</i>	<i>Ceratium sp</i>	<i>Trachelomonas granulosa</i>
* <i>Euglena sp</i>	* <i>Peridinium sp</i>	<i>Trachelomonas hispida</i>
	División Euglenophyta	
	* <i>Lepocinclis sp</i>	
	* <i>Euglena sp</i>	
*Géneros constantes	<i>Trachelomonas</i>	

4.3.8.2. Abundancia numérica

La Cyanophyta fue el grupo más dominante con 99 y 92 % en agosto y noviembre 2013, respectivamente (Figura 32a y 32b). En marzo-2014 no hubo dominancia alguna ya que se reportó 49 y 50% de Cyanophyta y Chlorophyta, respectivamente (Figura 32c). La presencia de estos grupos algales se observó durante el periodo de estudio con la formación de densas capas de floración algal sobre la superficie de la masa de agua, sobre todo en la época de seca (Anexo 8).

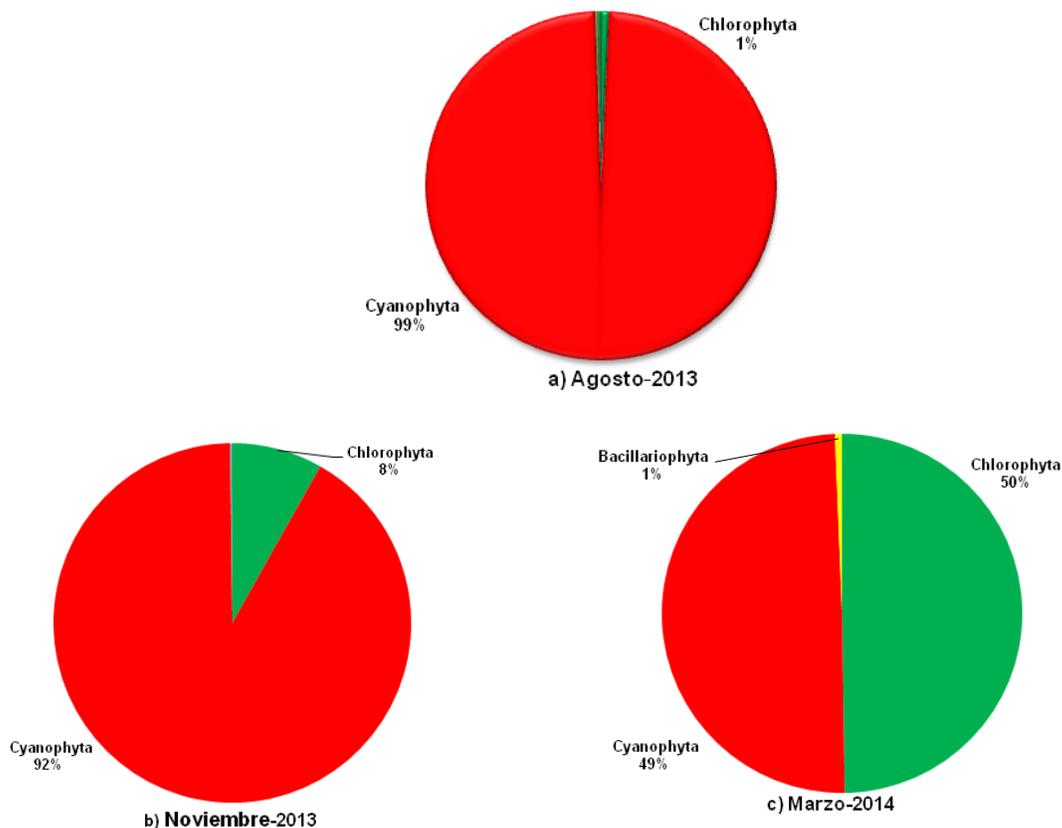


Figura 32. Abundancia de los principales grupos de fitoplancton para el periodo de estudio en el Lago de Yojoa.

En las tres épocas de estudio se observó una evolución, sucesión temporal y alternancia entre algunas especies de las distintas divisiones encontradas (Tabla 15 y Anexo 7 Tabla A.7.1). La dominancia de la Cyanophyta en el Lago de Yojoa se debió principalmente a su gran capacidad adaptativa y de tolerancia al ecosistema, ya que este presentó condiciones favorables para su desarrollo

(Bellinger & Segee, 2010). La Chlorophyta fue la división que presentó mayor aporte en cuanto a diversidad de especies, para noviembre-2013 aumentó un 7% en cuanto a la abundancia numérica y en marzo-2014 fue co-dominante junto con la Cyanophyta, fue la división en el que más se observó sucesión y alternancia debido a la ausencia y a la aparición de algunas especies en cada muestreo, de este grupo únicamente *Oocystis lacustris* fue constante durante el periodo de estudio. La dominancia, sucesión y la alternancia de especies en el Lago de Yojoa fue la respuesta del ensamble fitoplanctónico a los cambios en el ecosistema como la luz, temperatura, nutrientes, lavado hidráulico y herbivoría (Bellinger & Segee, 2010) y (Roldán & Ramírez, 2008).

En agosto-2013 se registró el número máximo de organismos, esto coincidió con la época en la que se registraron los valores más altos de temperatura de 25 a 29 °C, en ambientes cálidos alcanzan su máximo desarrollo, condiciones ideales de 8,14 unidades de pH, debido a que, a mayor actividad fotosintética, mayor es el consumo de CO₂, y la disponibilidad de nutrientes (Figura 33). En noviembre-2013 la población algal decayó bruscamente en más del 90%, atribuido a la disminución de la temperatura y la luz, al aumento del volumen de la masa de agua debido a las precipitaciones y al tiempo de residencia de la misma, que disminuye al aumentar el volumen de salida. El crecimiento exponencial de estos organismos es limitado por factores como la luz y nutrientes (Reynolds, 2006). En marzo-2014 con el inicio de la época seca se observó un ligero incremento de la población algal, atribuido a la influencia de las condiciones ambientales principalmente de la temperatura y la luz que para esta época registró un incremento de la misma con respecto al mes de noviembre.

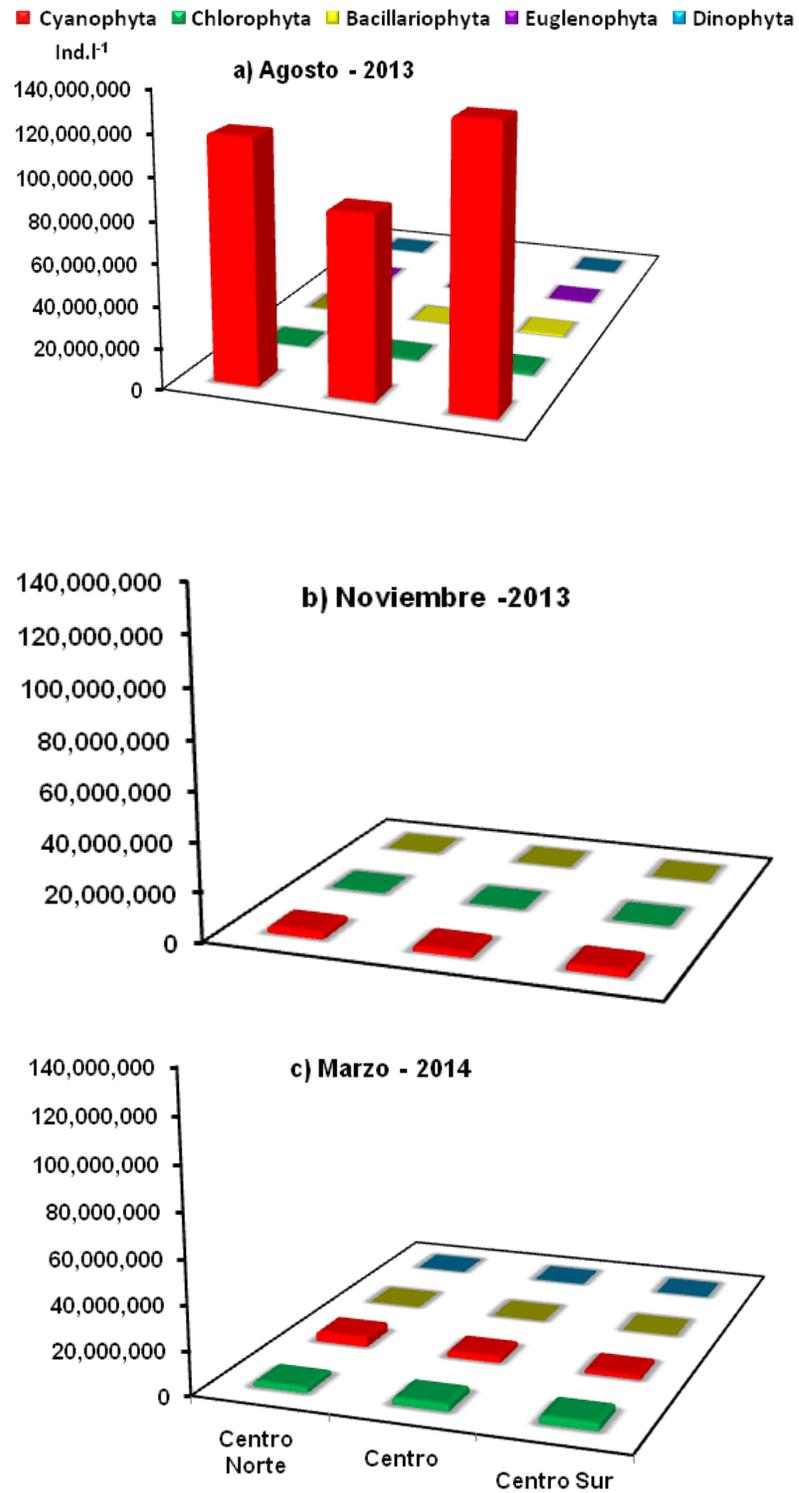


Figura 33. Distribución estacional de los distintos grupos algales para el periodo de estudio en el Lago de Yojoa.

En general, la dominancia de Cyanophyta formando densos florecimientos ha sido particularmente utilizada como un indicador del alto nivel de nutrientes y como un componente clave de diversos estados tróficos. Este grupo puede tolerar un amplio rango de condiciones ambientales. Aunque el Lago de Yojoa presentó un tiempo de residencia corto, entre 5,0 y 9,0 meses, la dominancia de Cyanophyta fue alta, dado que su proliferación es controlada por la cantidad de nutrientes en el cuerpo de agua. Lo anterior de acuerdo con De León (2001), que afirma que el tiempo de permanencia del agua en el sistema acuático regula la dominancia de las Cyanophyta en la comunidad fitoplanctónica.

Durante los tres periodos de estudio *Microcystis aeruginosa* fue la especie con mayor abundancia numérica. Las especies de este género puede formar crecimientos masivos en lagos eutróficos (Bellinger & Segee, 2010). En aguas ricas en nutrientes con entradas fluctuantes de fósforo esta especie se desarrolla con éxito dada su alta velocidad de absorción pudiendo acumular hasta 110 mg de fósforo por proteína y producir hasta 18 células nuevas (O'Sullivan & Reynolds, 2004).

4.3.8.3. Biomasa peso fresco y clorofila –a

Los valores de biomasa peso fresco en el Lago de Yojoa muestran la prevalencia de la Cyanophyta sobre los demás grupos algales encontrados en los tres periodos estudiados, este grupo fue dominante cuantitativamente en cada época (Figura 34). El aporte en biomasa total varió entre cada periodo de estudio, puntos de muestreo y especies. En agosto-2013 la Cyanophyta contribuyó con el 72% de la biomasa ($0,67 \text{ mg.l}^{-1}$); *Anabaena sp*, *Chroococcus sp*, *Oscillatoria sp*, *Lepocinclis sp* y *Cyclotella sp* realizaron el mayor aporte de biomasa. En noviembre-2013, el aporte de la Cyanophyta fue del 95% ($0,55 \text{ mg.l}^{-1}$); *Lyngbya hieronymusii* contribuyó con el 89% de la biomasa total ($0,48 \text{ mg.l}^{-1}$). En marzo-2014, se observó el mayor aporte en biomasa ($1,82 \text{ mg.l}^{-1}$), el 85% fue de las Cyanophytas ($1,48 \text{ mg.l}^{-1}$); *Anabaena sp*, *Lyngbya hieronymusii* y *Eutetramorus sp* fueron las especies con los mayores aportes.

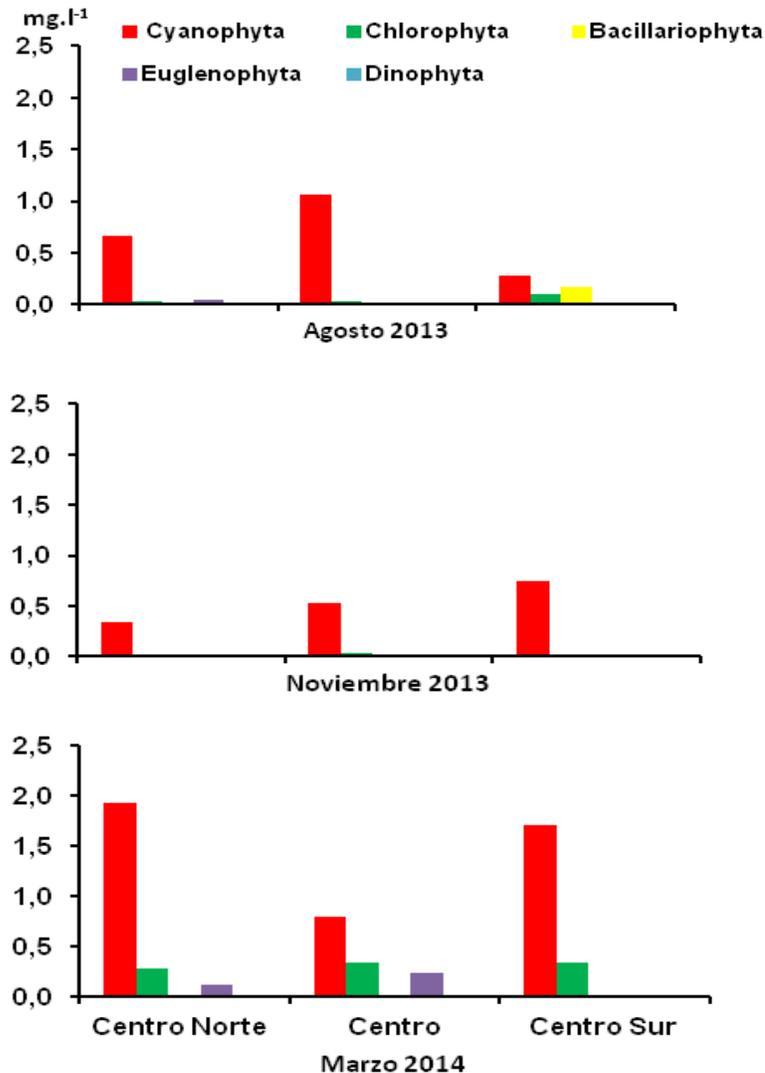


Figura 34. Concentración de la biomasa algal del Lago de Yojoa.

Las mayores concentraciones de clorofila- α medidas en el Lago de Yojoa se registraron en la época seca (marzo-2014), los valores oscilaron entre 4,4 y 23,8 $\mu\text{g.l}^{-1}$ (Figura 35). Las concentraciones reportadas en agosto-2013 no se correspondieron con la abundancia del fitoplancton, cuando hay mayor densidad numérica las concentraciones son menores, lo cual puede atribuirse al efecto de dilución con el ingreso de las precipitaciones de la época lluviosa. La variación de clorofila- α es asociada con la sucesión de especies. En marzo-2014 se observó mayor concentración de clorofila- α , en esa misma época se apreció un aumento de la división Chlorophyta que fue co-dominante con la Cyanophyta. De acuerdo con Oliva et al. (2008), además del efecto de la temperatura y los nutrientes sobre

la densidad del fitoplancton, el cambio en el tipo de especies dominantes produce un aumento en la concentración de clorofila- α .

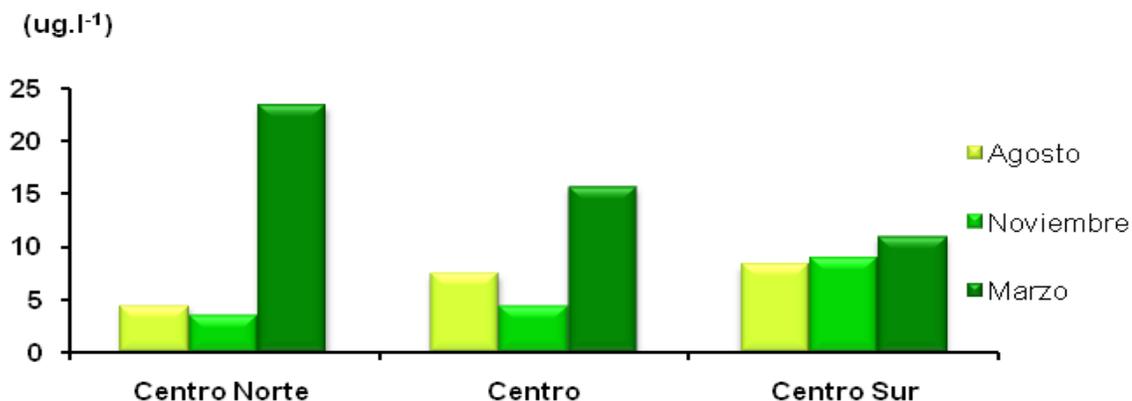


Figura 35. Concentración de clorofila-a en el Lago de Yojoa.

4.3.9. Composición del Zooplancton en el Lago de Yojoa

La comunidad del zooplacton en el Lago de Yojoa durante las tres épocas de estudio estuvo representada por tres Phylum: Rotífera, Artrópoda y Gastrotrichia. Los Rótíferos fueron el grupo dominante, de los que se reportaron 14 especies, seguido por el Phylum Artrópoda de los que se registraron de la clase Branchiopoda; cuatro especies del orden de Cladoseros, de la Copépoda; una especie del orden Calanoida y tres del orden Ciclopoida. Se registraron estadios larvales y juveniles de Copépodos que dominaron cuantitativamente, de la clase Insecta se registraron dos especies y de la clase Ostracoda se encontraron tres especies. Del Phylum Gastrotrichia se registró una especie en noviembre-2013 (Anexo 7, Tabla A.7.2).

El patrón de distribución presentó variación espacial y estacional en composición y estructura de comunidades. La mayor densidad del zooplancton se estimó en agosto-2013 y marzo-2014, y la menor para noviembre-2013 (Figura 36). Asimismo, en el punto Centro Sur fue donde se reportó la mayor abundancia de zooplancton reportandose en promedio $64\,405 \text{ Ind.m}^{-3}$, de $27\,352 \text{ Ind.m}^{-3}$ en el Centro Norte y de $24\,212 \text{ Ind.m}^{-3}$ en el Centro. Los estadios larvales y juveniles de Copépodos dominaron en los tres sitios y en las tres épocas estudiadas.

En cuanto a la densidad poblacional, las mayores poblaciones estuvieron representadas por los estadíos larvales y juveniles de Copépodos. Los Nauplios presentaron los valores más altos en agosto-2013 registrando una densidad de 28 564 Ind.m⁻³, en marzo-2014 la población de Nauplios se redujo en más del 60% con una densidad de 9 284 Ind.m⁻³. Los Copepoditos Calanoidas y Ciclopoida registraron promedios de 2 911 y 3 157 Ind.m⁻³, respectivamente. Así mismo, los Copépodos adultos; las especies *Thermocyclops inversus* y *Artodiaptomus dorsalis* del orden Ciclopoida y Calonoida, respectivamente, fueron especies abundantes y se observaron durante todo el estudio, reportando una densidad promedio de 2 588 y 1 400 Ind.m⁻³. De los Rotíferos *Keratella americana* fue la especie más abundante, con 6 194 Ind.m⁻³, en marzo-2014 fue la especie más abundante del zooplancton con un promedio de 13 789 Ind.m⁻³. La población de Cladóceros estuvo representada por *Ceriodaphnia lacustri* y *Diaphanosoma branchyrum* observándose una población de 2 482 y 1 588 Ind.m⁻³, respectivamente. En el Anexo 7, Tabla A.7.2 se aprecian los valores de las especies que se encontraron durante el periodo de estudio.

El grupo de los Rotíferos presentó la mayor riqueza taxonómica durante los tres periodos de muestreo. Las especies *Keratella americana*, *Trichocerca similis*, y *Ptygura sp*, estuvieron presentes durante las tres épocas estudiadas y las demás especies se encontraron en uno o dos periodos. En ambientes tropicales dulces acuícolas alterados como el Lago de Yojoa es común este patrón de riqueza taxonómica de los rotíferos, atribuido a que estos organismos son estrategas, oportunistas de tamaño pequeño, ciclo de vida corto y amplia tolerancia a una variedad de factores ambientales (Iannacone & Alvarino, 2007).

Los Copépodos Ciclopoides y Calonoides son considerados poco diversos, pero bastante abundantes en forma individual. El orden Ciclopoide representó el 18 % del total de los Copépodos y son característicos de ambientes eutróficos dados sus hábitos de alimentación que están basados en la selección (Cabrera, 2009), de este orden, la especie *Thermocyclops inversus* estuvo presente en todo el estudio. *Thermocyclops crassus* se registró en el segundo periodo de muestreo, presentando una alta densidad de organismos (3 020 Ind.m⁻³). Las especies

Thermocyclops han sido caracterizadas por alcanzar altas densidades en ambientes eutróficos donde pueden dominar las cianobacterias, siendo estas su recurso alimenticio (Gómez et al. 2013).

Sin embargo, de los Copépodos Calanoide, *Artodiaptomus dorsalis* fue la única especie encontrada, esto debido a que en ambientes eutróficos los Calanoides se encuentran en menor proporción dado a que el aparato bucal de estos puede ser afectado por algas filamentosas. De acuerdo con Gallo et al. (2009) *Artodiaptomus dorsalis* es una especie que presenta adaptaciones claras a condiciones cambiantes en el tiempo, este organismo hace uso discriminado de la dimensión temporal del nicho por lo que posee mayor poder de discriminación trófica, pues puede ser tanto filtrador como depredador (Gallo et al. 2009).

Durante el periodo de estudio hubo una predominancia de estadíos larvales y juveniles de Copépodos, generalmente son resultado de la reproducción continua en regiones tropicales (Neves et al. 2003), representaron más del 70% de este grupo, indicando que los copépodos se reprodujeron intensamente durante todo el periodo. Sin embargo, dadas las bajas proporciones de adultos pareciera que este grupo pudiese estar sometido a factores limitantes tanto fisicoquímicos, bióticos o causado por la presión de depredación. Esta especie ya ha sido registrada principalmente en Centroamérica (Nicaragua y Costa Rica), México y Cuba (Ramírez & Díaz, 1996 - 1997).

La abundancia del zooplancton en el Lago de Yojoa, fue influenciada por factores como la temperatura, la concentración de nutrientes, la dinámica del cuerpo de agua, por las interacciones bióticas como la depredación y la competencia. La mayor concentración del zooplancton se reportó en agosto-2013, cuando se registraron las temperaturas más altas y con el inicio de las precipitaciones. Según (Neves et al. 2003) en esta época la densidad del zooplancton aumenta debido a la disponibilidad de alimento como resultado del ingreso de nutrientes y material alóctono que llegan al cuerpo de agua a través de los tributarios. La poca diversidad de especies y la dominancia de Rotíferos han sido relacionada con altos niveles de materia orgánica, de los que únicamente cuatro especies

permanecieron durante el periodo de estudio: siendo *Keratella* una especie que se fue favorecida por el corto tiempo de residencia del ecosistema, dado su ciclo corto de vida y la tolerancia a las fluctuaciones ambientales (Gallo et al. 2004). La baja densidad de Copépodos con respecto a la alta concentración de estadios larvales y juveniles, pudo ser afectada por la depredación.

La densidad poblacional del zooplancton puede relacionarse con el grado de eutrofización, en ecosistemas acuáticos neotropicales considerados hipereutróficos, se han encontrados concentraciones que superan los 1 000 ind.l⁻¹ como es el caso del Lago de Yojoa que reportó valores medios hasta de 15 000 Ind.m⁻³ (Gallo et al. 2009). En ambientes eutróficos con altas concentraciones de nutrientes y con abundancia de cianobacterias, pocas especies son dominantes en altas densidades (Perbiche-Neves, 2013). El Lago de Yojoa presentó este patrón de poca diversidad de especies en altas densidades, para algunas especies se reportaron valores mayores a 1 000 ind.l⁻¹ como: *Keratella americana*, *Diaphanosoma*, *Ceriodaphnia lacustri*, *Thermocyclops inversus*, y todas las especies de Calanoides (Anexo 7, Tabla A.7.3).

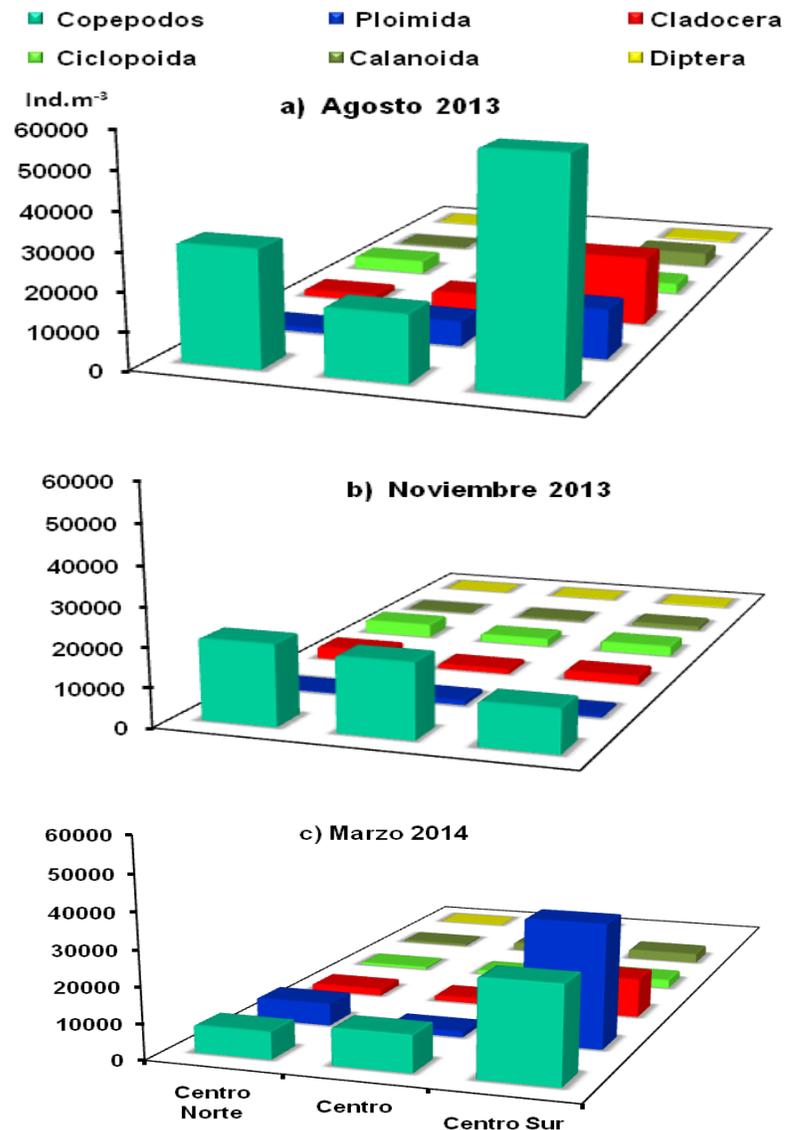


Figura 36. Distribución del zooplancton en el Lago de Yojoa.

4.3.10. Calidad microbiológica del agua del Lago de Yojoa

En cuanto a la calidad microbiológica referido a microorganismos patógenos presentes en el Lago de Yojoa, se determinó la presencia de Coliformes totales (CT), Coliformes termotolerantes (CTT) *Escherichia coli* (E. coli) y *Streptococos* (Estrep): Los Coliformes totales registraron un valor máximo de 1 700 NMP/100ml en agosto-2013 en el punto de salida del flujo de agua del lago, para los demás sitios muestreados se encontraron concentraciones entre 2,0 y 78 NMP/100ml (Tabla 16). En noviembre-2013 las concentraciones de Coliformes totales variaron

entre 28 y 550 UFC/100ml siendo el Centro Sur el punto que mostró más contaminación y el sitio Centro el de menor contaminación.

Tabla 16. Resultados microbiológicos del Lago de Yojoa, agosto y noviembre 2013.

Sitios Muestreados	Agosto				Noviembre			
	(NMP/100ml)				(UFC/100ml); Estrep (NMP/100ml)			
	C. T	C. T.T.	E. Coli	Estrep.	C. T	C. T.T.	E. Coli	Estrep.
Canal de Salida	1 700	68	5	4	150	150	3	130
Centro Norte	78	20	20	13	300	0	0	2
Centro	20	20	20	5	28	10	0	2
Centro Sur	2	2	<1,8	< 1,8	550	10	0	<1,8

En agosto-2013, la concentración mínima y máxima encontradas de Coliformes termotolerantes fueron de 2 y 68 el NMP/100ml. Para noviembre-2013, en la salida del cuerpo de agua se registró 150 UFC/100ml, en los demás sitios los resultados fueron entre 0 y 10 UFC/100ml.

En agosto-2013, los resultados para *E. coli*. y *Streptococos* variaron entre <1,8 a 20 NMP/100ml y <1,8 a 13 NMP/100ml, respectivamente. Mientras que en noviembre-2013 solamente se encontraron en la salida del lago.

Como es evidente, a través de los tributarios ingresaron altas concentraciones de estos contaminates patógenos. Sin embargo estos contaminates se diluyeron en un volumen grande de agua debido a las precipitaciones. Adicionalmente a esto la actividad de pastoreo de ganado que se realiza en la mayor parte de la costa del lago y a la descarga de aguas residuales de los restaurantes ubicados en los alrededores de la subcuenca, es un aporte considerable de microorganismos patógenos a la masa de agua.

De acuerdo con la Norma Técnica Nacional para los distintos usos del agua, los valores encontrados son menores (1 700 NMP/100ml máximo para C.T. y 150

UFC/100ml para C.T.T.) que los valores recomendados para el uso recreativo y para la acuicultura que son las actividades que se practican en el Lago de Yojoa, los valores recomendados para ambas actividades es de 5 000 NMP/100ml para Coliformes totales y de 1 000 NMP/100ml para Coliformes termotolerantes.

4.4. Caracterización de los sedimentos del Lago de Yojoa

4.4.1. Composición Granulométrica

La composición granulométrica de los sedimentos del Lago de Yojoa mostró en su mayoría una textura del tipo franco-limoso (58%), mientras que el 33% correspondió a una textura arcillo-limoso. Los porcentajes encontrados de limos, arcillas y arena fueron de 57%, 32% y 11%, respectivamente. La mayor fracción de arena se encontró en la parte noroeste del lago, próxima a la entrada del río Raíces (Figura 37a). El tipo franco-limoso predominó en la parte Norte y Sur (Figura 37b), al igual que la textura arcillo-limoso que además se encontró en el centro (Figura 37c) mientras que, la textura franco-arenoso predominó en el noroeste en la desembocadura del río Raíces (Figura 37a). Las partículas de menor tamaño se depositan a lo largo y ancho de la cubeta, según la dirección de las corrientes inducidas por el viento debido a la baja velocidad de sedimentación (Wetzel, 1981).

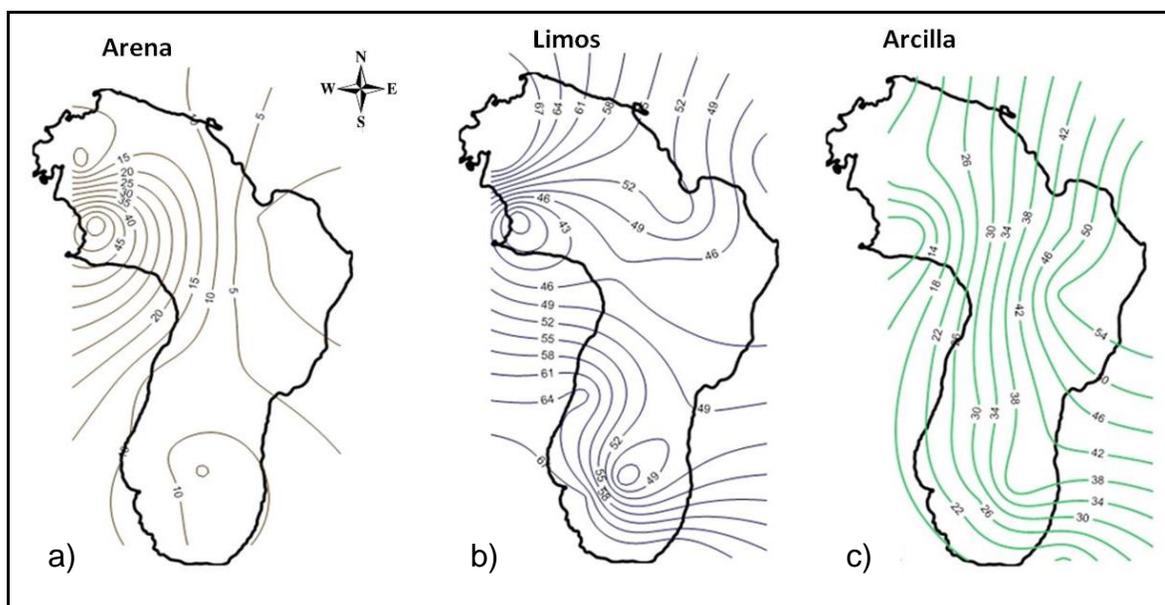


Figura 37. Distribución espacial de la textura granulométrica del sedimento del Lago de Yojoa.

El predominio de material fino (limo y arcilla) en el Lago de Yojoa se debe probablemente al proceso de erosión y transporte por escurrimiento superficial desde las microcuencas en la época lluviosa. La composición granulométrica medida en 12 sitios en el Lago de Yojoa se observa en la Figura 38.

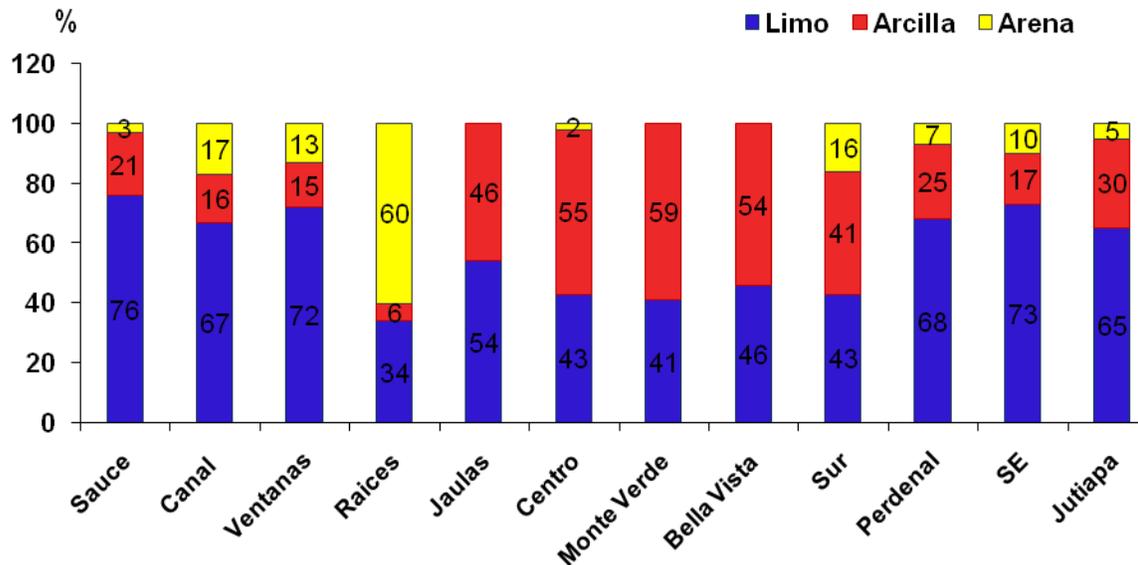


Figura 38. Distribución porcentual de la composición granulométrica del Lago de Yojoa.

4.4.2. Porcentaje de Materia Orgánica

Los porcentajes de materia orgánica medidos en el sedimento del Lago de Yojoa fueron mayores al 10%, en los tres sitios muestreados durante los tres períodos de estudio. En agosto-2013 se presentaron variaciones en el sitio Centro Norte en el porcentaje de materia orgánica el cual fue de 8,8%, para los demás sitios y épocas los porcentajes variaron entre 10,5 % y 13,3% (Figura 39). Además de la la tasa de sedimentación y de la relación entre las velocidades de aporte y descomposición, la cantidad de materia organica conservada en los sedimentos se debió, a la textura de los sedimentos que es más abundante en sedimentos finos que en gruesos (Pineda, 2009).

De acuerdo a los resultados obtenidos los sedimentos del Lago de Yojoa son clasificados del tipo gyttjia, la apariencia física del sedimento colectado en estado fresco fue bastante pastoso y color gris verdoso, el pH medido en la columna de

agua cercano a los sedimentos varió entre 7,0 y 8,0 unidades (Ramírez J. J., 2004). Dado que el origen de este tipo de sedimento es material fecal, en el Lago de Yojoa el sedimento se enriquece de las heces proveniente de los peces (tilapia), del zooplancton presente y del zoobentos.

Los porcentajes de materia orgánica obtenidos fueron bajos, por lo general en ecosistemas con alta actividad fitoplanctónica como el Lago de Yojoa los valores de materia orgánica oscilan entre 45 y 70% (Wetzel, 1981). Sin embargo en las regiones tropicales de acuerdo con Ramírez J. J. (2004), los valores bajos se deben principalmente a las altas tasas de actividad microbiana ocasionadas por las altas temperaturas presentes en la columna de agua. En los sistemas tropicales la mineralización de la materia orgánica es de de 4,0 a 9,0 veces más rápida que en lagos templados debido a las altas temperaturas que para el Lago de Yojoa oscilaron entre 24 y 28,5 °C, por ello en el Lago de Yojoa la materia orgánica no refleja la magnitud de producción del sistema (Roldán & Ramírez, 2008).

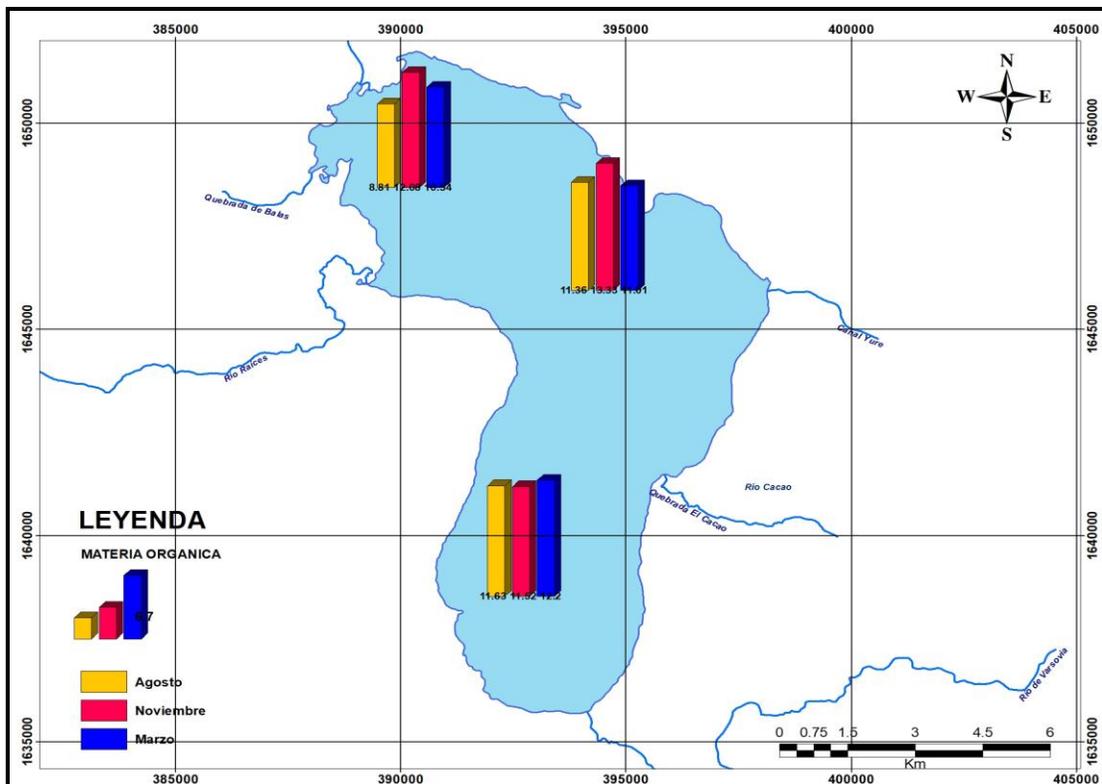


Figura 39. Contenido de materia orgánica en los sedimentos del Lago de Yojoa.

4.4.3. Metales pesados y cianuro en los sedimentos

Los metales pesados analizados durante el periodo de estudio en los sedimentos del Lago de Yojoa fueron: arsénico, cadmio zinc, cromo, cobre y plomo, además se analizó cianuro, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 17. Estos metales presentaron heterogeneidad espacial y temporal. En agosto-2014 con el inicio de las precipitaciones fue cuando se registraron las mayores concentraciones, siendo el zinc, plomo y cobre los que se encontraron en mayor concentración.

Los valores de arsénico registrados en los sedimentos del Lago de Yojoa variaron entre 8,2 a 16,5 $\mu\text{g.g}^{-1}$, según la guía canadiense de calidad de los sedimentos de los sistemas de aguas dulces (CEQGs, 2001) (Anexo 2: Tabla A.2.7), establece para el arsénico como valor estándar 5,9 $\mu\text{g.g}^{-1}$, de acuerdo a este valor el sedimento del Lago de Yojoa representa un riesgo para la biota acuática, pero no sobrepasa el valor de nivel de efectos probables.

Las concentraciones reportadas de cadmio fueron de 4,4 a 16,3 $\mu\text{g.g}^{-1}$, estos valores sobrepasaron el valor guía y el valor de efectos probables 0,3 y 3,9 $\mu\text{g.g}^{-1}$, respectivamente. Los resultados obtenidos en el Lago de Yojoa indican acumulación de este metal en los sedimentos. El cadmio se une fuertemente a la materia orgánica y en su mayor parte queda inmovilizado, sin embargo, este puede bioacumularse en organismos acuáticos dado que queda disponible para la vida vegetal y puede entrar fácilmente en el suministro de alimentos (ATSDR, 2008).

El contenido de zinc registrado en los sedimentos del lago presentó valor mínimo de 120 $\mu\text{g.g}^{-1}$ y máximos de 1 598,5 $\mu\text{g.g}^{-1}$. Las concentraciones estándares de zinc en los sedimentos de los sistemas de agua dulce de acuerdo en las normas canadienses es de 123 $\mu\text{g.g}^{-1}$. Es poco probable que el zinc que se encuentra en el suelo contaminado represente un riesgo para la salud, tendrían que ser ingeridos de 3,3 a 3,8 mg de zinc al día con el fin de alcanzar el valor de índice de dieta registrada (ATSDR, 2005). El zinc es ubicuo en el medio, es liberado al ambiente desde fuentes naturales y antropogénicas, la mayor parte del zinc en

lagos o ríos se asienta en la parte inferior, no se volatiliza desde el agua, pero se deposita principalmente en los sedimentos a través de la adsorción y precipitación. (ATSDR, 2005).

El contenido de cromo en los sedimentos del Lago de Yojoa osciló en un rango entre 10 y 21,1 $\mu\text{g.g}^{-1}$ estas concentraciones se encuentran por debajo del valor recomendado por las normas canadienses para los sedimentos que es de 37, 3 $\mu\text{g.g}^{-1}$: por tanto el contenido de cromo en los sedimentos del lago no representa un riesgo ecológico.

El cobre fue analizado en dos épocas, noviembre-2013 y marzo-2014, la concentración máxima encontrada en el Lago de Yojoa fue de 373 $\mu\text{g.g}^{-1}$ y la mínima de 47,6 $\mu\text{g.g}^{-1}$. El valor guía establecido en las normas canadienses es de 35,7 $\mu\text{g.g}^{-1}$. Al igual que otros metales, el cobre tiende a acumularse en los sedimentos, concentraciones altas de este metal son tóxicas para los organismos acuáticos y otros organismos vivos (ATSDR, 2004).

Las concentraciones de plomo variaron desde 195 $\mu\text{g.g}^{-1}$ hasta valores máximos de 2 202,6 $\mu\text{g.g}^{-1}$, estas concentraciones sugieren un riesgo ecológico, las normas canadienses establecen como valor guía 35 $\mu\text{g.g}^{-1}$ y 91,3 $\mu\text{g.g}^{-1}$ el valor de nivel de efectos probables (CEQGs, 2001). El plomo es extremadamente persistente tanto en el agua y en el suelo, puede acumularse en las plantas y los animales. Sin embargo, no se biomagnifica en la cadena alimenticia (ATSDR, 2007). Los efectos tóxicos del plomo identificados están asociados con la disminución en la abundancia de invertebrados benthicos e incluso con la mortalidad de estos organismos (CEQGs, 2001).

En el Lago de Yojoa la presencia de estos metales se atribuye a los vertidos de escorias de fundición y a los desechos de minería, los cuales son incorporados a través del río Raíces que drena sus aguas hacia el lago y que es el cuerpo receptor de las aguas residuales de la comunidad de las Vegas y de los residuos tratados de la mina el Mochito.

Estos metales se distribuyen de Norte a Sur, en la desembocadura del río Raíces y en el sitio Centro Norte donde se encontraron en menor concentración, mientras que en Centro y Centro sur las concentraciones fueron mayores (Figura 40).

Las características del Lago de Yojoa permiten que esos metales se depositen en los sedimentos, el pH del agua que mantiene condiciones alcalinas y la textura del sedimento en el que predominan los limos, arcillas y la presencia de materia orgánica, son los principales factores para que estos metales se adhieran al sedimento y permanezcan acumulados. Estos metales se depositan en los sedimentos a través de la adsorción y precipitación. Las arcillas, limos, óxidos de hierro y manganeso, y la materia orgánica del suelo se pueden unir a metales electrostáticamente (Núñez, 2011).

Tabla 17. Concentraciones de metales de pesados en el Lago de Yojoa ($\mu\text{g.g}^{-1}$).

Muestreo	Sitios	Arsénico	Cadmio	Zinc	Cromo	Cobre	Plomo	Cianuro
Agosto-2013	Centro Norte	8,47	5,57	120	18,31	nd	195,03	350
	Centro	12,23	16,29	1598,5	15,38	nd	2202,65	170
	Centro Sur	8,23	11,89	1045,6	21,13	nd	1608,57	165
Noviembre-2013	Centro Norte	16,43	4,44	319	9,96	47,9	227,42	<ld
	Centro	15,86	12,75	1118	12,97	373,1	1457,3	<ld
	Centro Sur	12,51	7,14	439,6	13,23	200,6	474	<ld
Marzo-2014	Centro Norte	16,52	6,92	406,3	16,69	164,3	376,03	14
	Centro	18,28	10,17	938,3	18,22	346,34	647,37	5
	Centro Sur	13,31	13,62	1101	17,52	331,3	1629	18

Nd = no determinado, <ld = menor al límite de detección

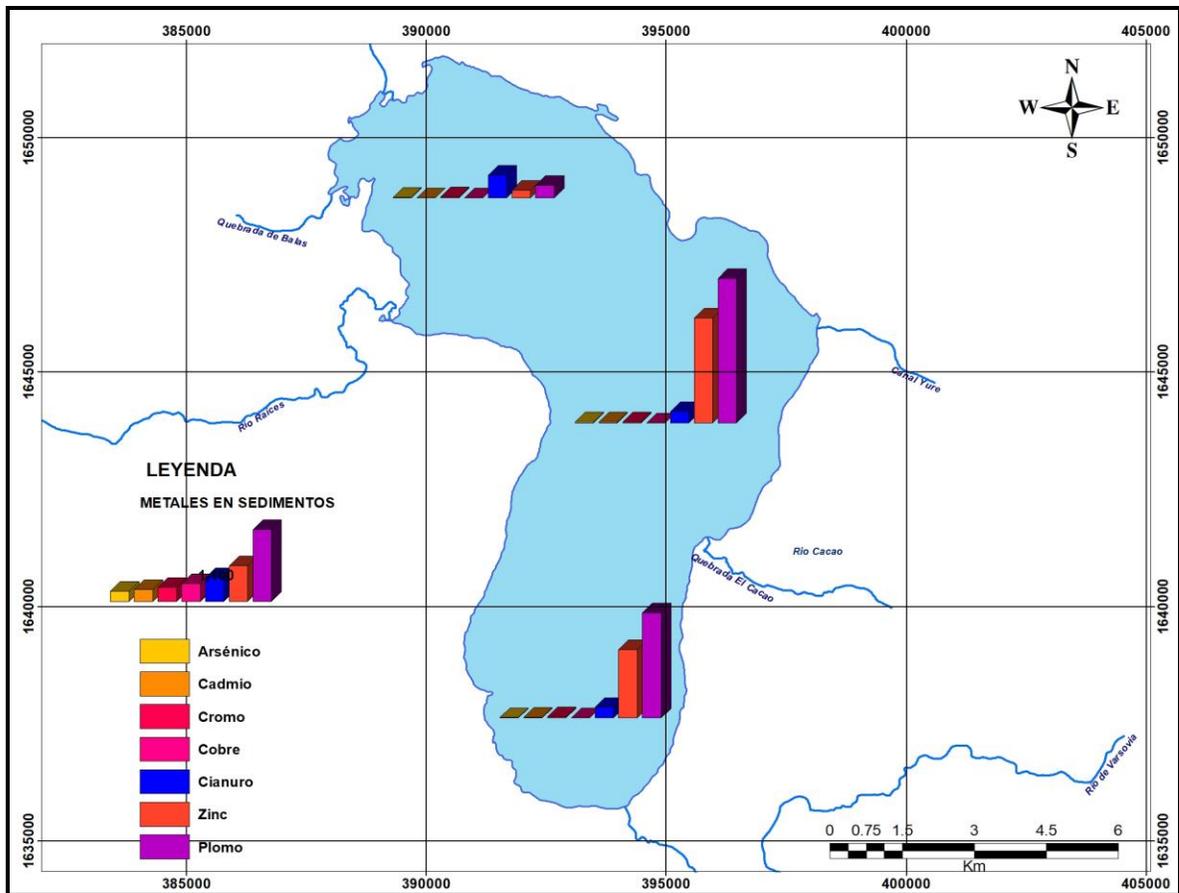


Figura 40. Metales pesados y cianuro en los sedimentos del Lago de Yojoa.

En cuanto al contenido de cianuro en el sedimento del Lago de Yojoa en agosto-2013, se encontraron concentraciones entre 165 y $350 \mu\text{g.g}^{-1}$, siendo el sitio Centro Norte donde registró el valor más alto con $350 \mu\text{g.g}^{-1}$. En noviembre-2013 se reportaron valores $<10 \mu\text{g.g}^{-1}$. En marzo-2014 el rango de concentración fue entre 10 y $18 \mu\text{g.g}^{-1}$. Aun no se han establecido criterios normativos de calidad de sedimentos para los compuestos de cianuro, pero se han desarrollado directrices de calidad de sedimentos de cianuro libre que sugieren cerca o igual a $100 \mu\text{g.g}^{-1}$ para aplicaciones particulares (ATDSR, 2006).

4.5. Condición trófica del Lago de Yojoa

El estado trófico del Lago de Yojoa se determinó en función de la medición de visibilidad al disco Secchi, concentración de clorofila-**a** y fósforo total, aplicando tres modelos para su determinación.

4.5.1. Estado trófico para disco secchi

En base a los valores establecidos por la OCDE (1982), para la transparencia secchi, se determinaron condiciones de estado trófico variables en cada periodo de estudio. Para agosto-2013 y marzo-2014 se determinaron condiciones eutroficas y para el mes de noviembre-2013 se determinó condición mesotrófica. En la Figura 41a se muestran las variaciones en el tiempo para cada modelo aplicado para la visibilidad de disco secchi. Aplicando el IET se reportaron condiciones mesotroficas y con el índice de IET modificado se registraron condiciones oligotroficas.

La aplicación de los modelos de IET mostraron baja dispersión, CV entre 1,6 y 9,6 %. El modelo de clasificación de estado trófico de la OCDE y el IET de Carlson (1977), en base al disco secchi clasifican al Lago de Yojoa como un sistema mesotrófico con tendencia a la eutrofia. Sin embargo, para el IETM de Toledo et al. (1984) esta variable parece estar influenciada por las épocas de muestreo. En el mes de noviembre la transparencia del agua aumentó debido al aumento del nivel de agua en el Lago por las precipitaciones y a la disminución del fitoplancton, por lo cual lo califica como oligotrófico.

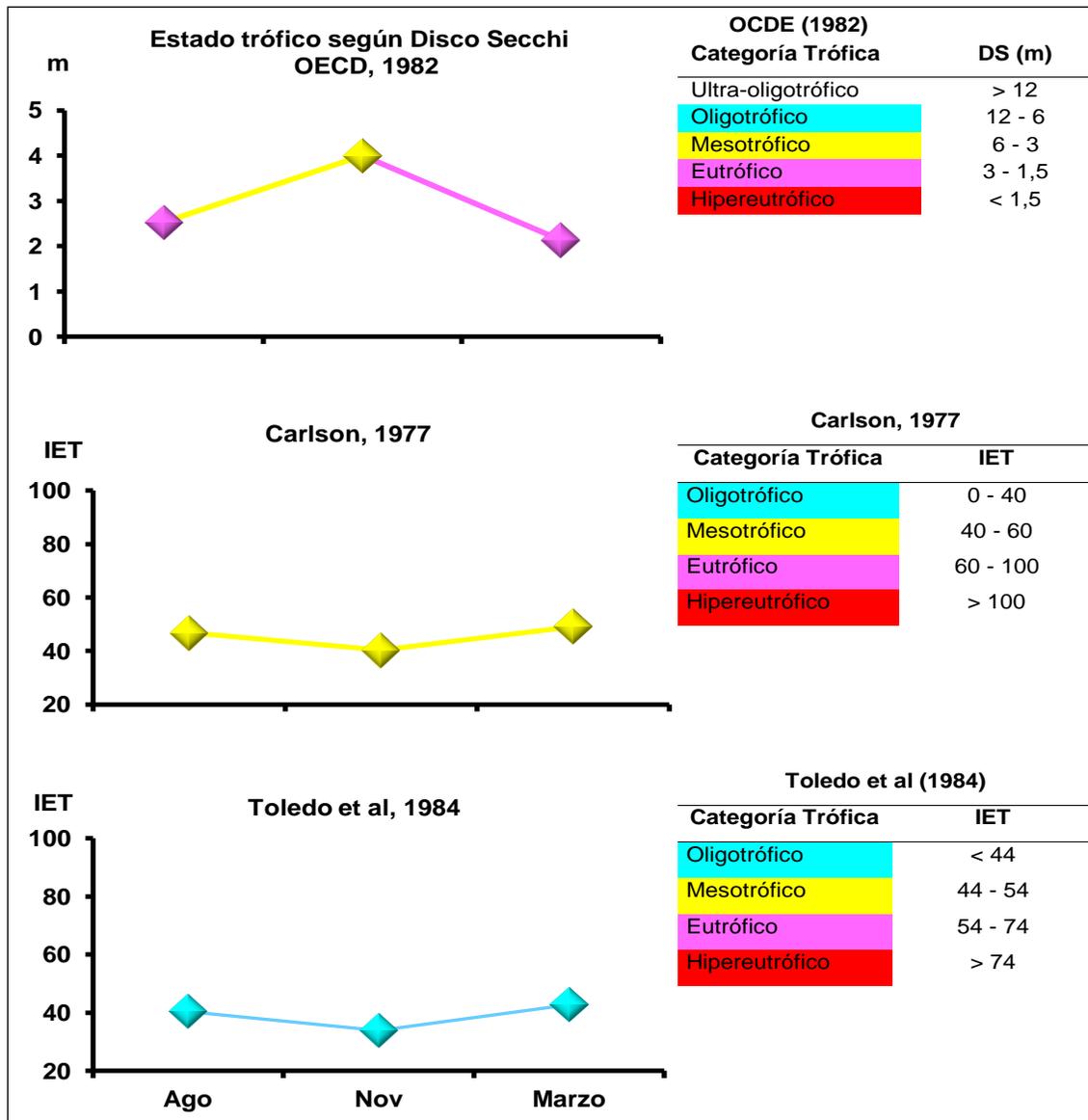


Figura 41a. Estado trófico resultante según el disco Secchi, de acuerdo al rango de valores propuesto por la OCDE, IET de Carlson (1977) e IETM modificado por Toledo et al. (1984). Agosto, noviembre 2013 y marzo 2014.

4.5.2. Estado trófico para el fósforo total

En cuanto al contenido de fósforo en los tres modelos aplicados (OCDE, IET e IETM) se clasificó al Lago de Yojoa como eutrófico. Únicamente para marzo-2014 se presentaron condiciones de mesotróficas de acuerdo al IET y el IETM modificado (Figura 41b). Independientemente de que las concentraciones de

fósforo en el Lago de Yojoa son bajas dado que es un cuerpo de agua bastante perturbado y este es consumido rápidamente por los organismos, las diferentes metodologías lo clasifican como un cuerpo de agua con tendencia a la eutrofización.

El modelo de Toledo et al. (1984) involucra al ortofosfato debido a que es la forma en que el fósforo es asimilado por los productores primarios, en base a esta variable el Lago de Yojoa presentó condiciones eutróficas durante los tres periodos estudiados.

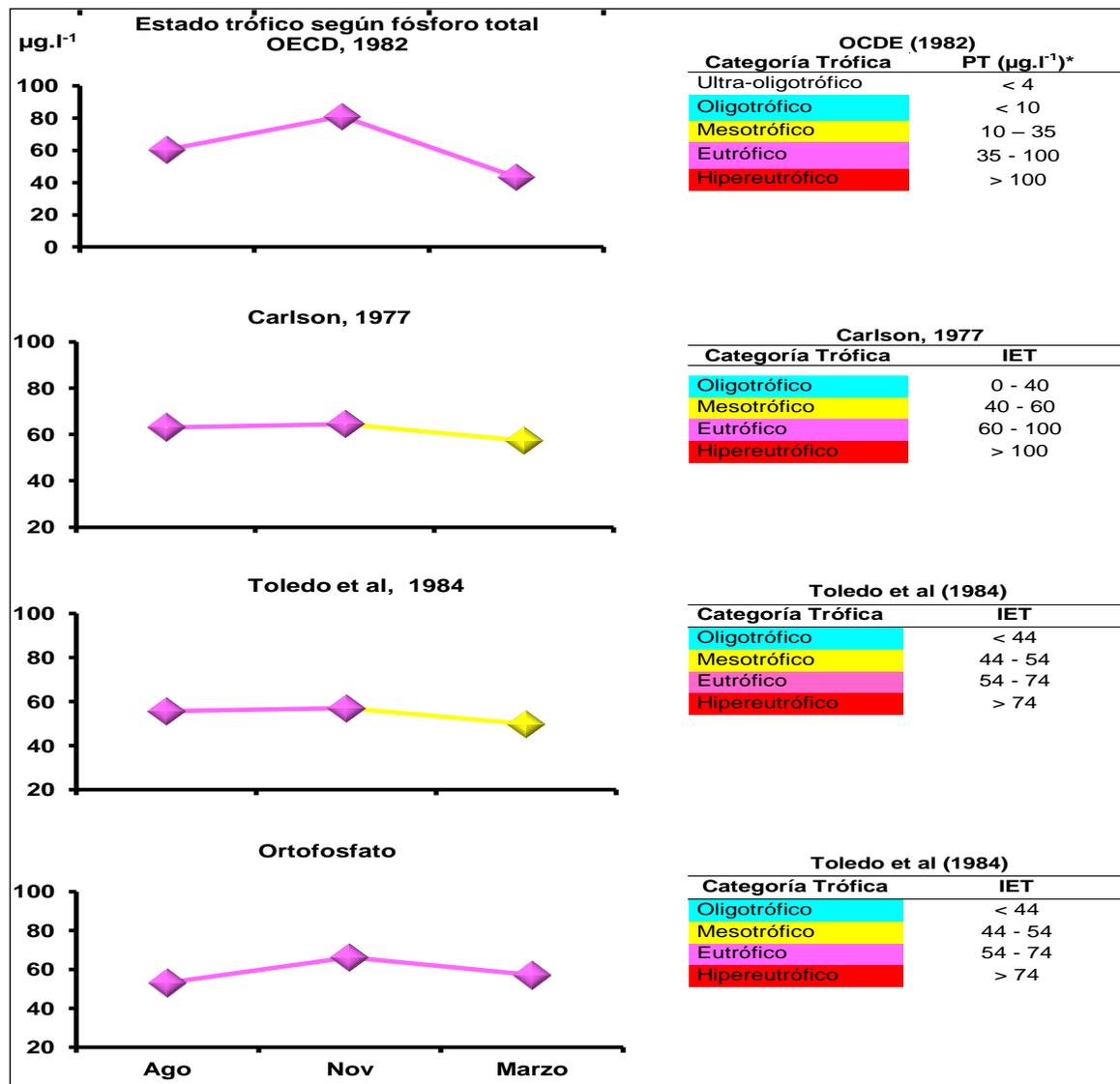


Figura 41b. Estado trófico resultante para fósforo total de acuerdo al rango de valores propuesto por la OCDE, IET de Carlson (1977) e IET modificado (Toledo et al. 1984): Agosto, noviembre 2013 y marzo 2014.

4.5.3. Estado trófico para la clorofila- α

El estado trófico para la clorofila- α varió de mesotrófico a eutrófico, en agosto y noviembre 2013, respectivamente. Los tres modelos utilizados coinciden en que el ecosistema se encontraba en estado mesotrófico. Para la metodología de la OCDE y el IETM en marzo-2014 resultó eutrófico, mientras que para el IET de Carlson (1977) el lago presentó condiciones mesotróficas en los tres periodos estudiados (Figura 41c).

El estado trófico de acuerdo a la clorofila- α y al fósforo total presentó ciertas similitudes en las tres metodologías. De acuerdo a la metodología de la OCDE, en el mes de marzo-2014 el Lago de Yojoa tuvo un carácter eutrófico. Respecto al IET tuvo un comportamiento mesotrófico. En cuanto al IETM modificado difieren ambas variables, para el fósforo pasa de eutrófico a mesotrófico y con la clorofila- α de mesotrófico a eutrófico.

El coeficiente de determinación (r^2) calculado para verificar la dependencia entre la clorofila- α y el fósforo total, mostró la influencia del fósforo sobre la clorofila- α en un 92%. Sin embargo, en el mes de marzo la dependencia es baja ($r^2 = 10\%$), en esta época las concentraciones de clorofila- α fueron altas y las de fósforo las más bajas. El hecho que este coeficiente sea bajo no indica que no exista una dependencia, sino que dada alta proliferación del fitoplancton hay un rápido consumo de fósforo. (Roldán & Ramírez, 2008). El coeficiente de determinación ($r^2 = 65\%$) utilizando la transparencia al disco secchi vs la concentración de clorofila- α , mostró que la disminución de la transparencia es debido al material algal.

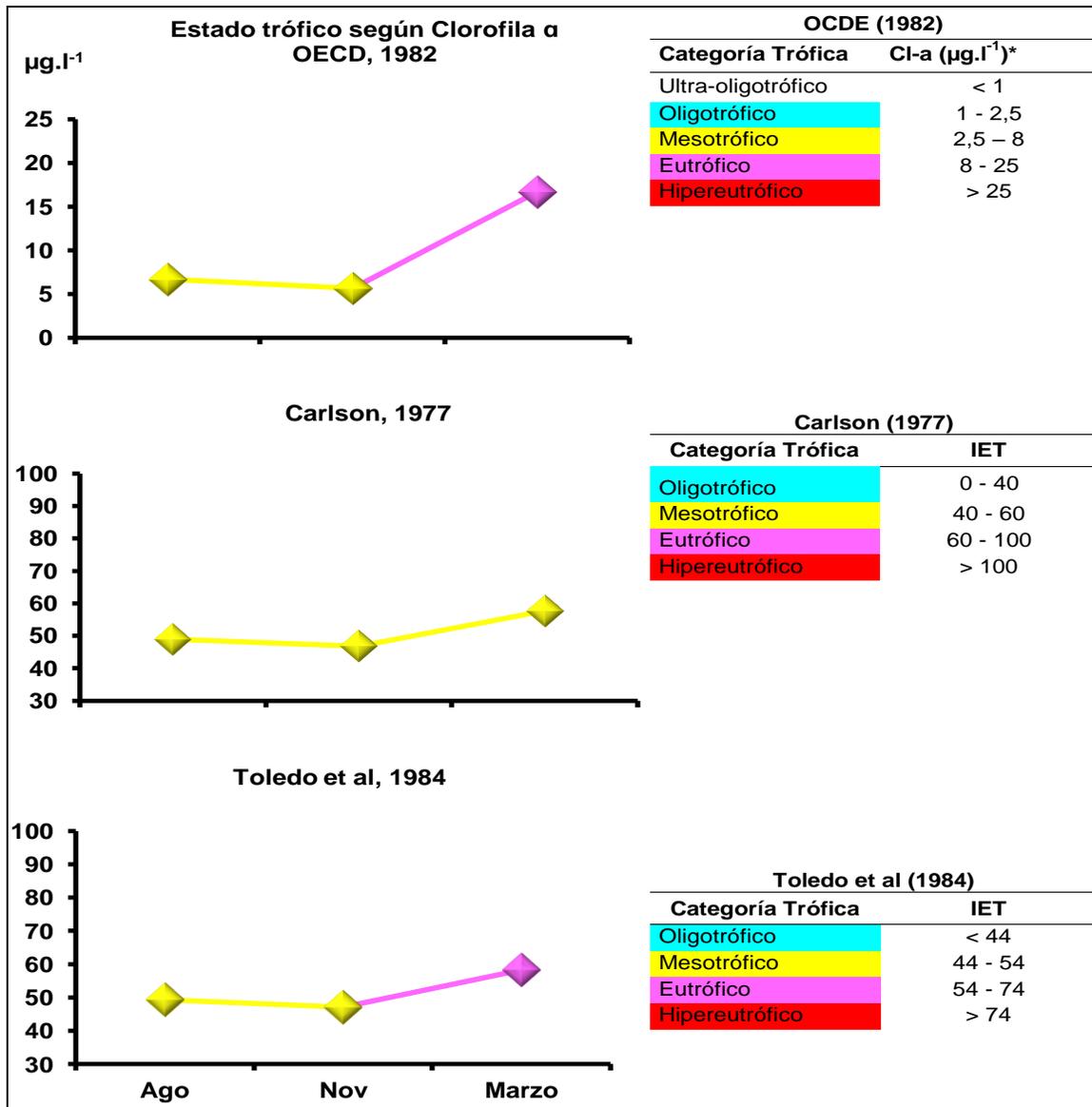


Figura 41c. Estado trófico resultante según la clorofila- α , de acuerdo al rango de valores propuesto por la OECD, IET de Carlson (1977) e IET modificado (Toledo et al. 1984). Agosto, noviembre 2013 y marzo 2014.

4.5.4. Estado trófico: Consideraciones General

De manera general de acuerdo a las concentraciones de clorofila- α , fósforo total y visibilidad al disco secchi, al aplicar el modelo propuesto por la OCDE, el Lago de Yojoa presentó condiciones eutróficas. De acuerdo a los modelos de IET es un cuerpo de agua con condiciones mesotróficas con tendencia a la eutrofia (Figura 41d).

El estado trófico del Lago de Yojoa fue influenciado por las características físico-químicas y la dinámica del cuerpo de agua. La carga de nutrientes se incrementó debido al ingreso de estos a través del área de drenaje, a las actividades antropogénicas dentro del ecosistema y las precipitaciones que arrastran material alóctono. El tiempo de residencia desempeña un papel importante dentro del ecosistema debido a que regula la permanencia de especies dentro del mismo y la pérdida de fracción de nutrientes. En el Lago de Yojoa el tiempo de residencia ha sido calculado entre cinco y nueve meses ya que el flujo de salida es regulado y controlado para generación de energía eléctrica, por lo que está en dependencia del volumen de agua que sale. Bajo estas condiciones el Lago de Yojoa es favorecido reduciendo el avance del proceso eutrofización y conservando un ambiente entre mesotrófico y eutrófico.

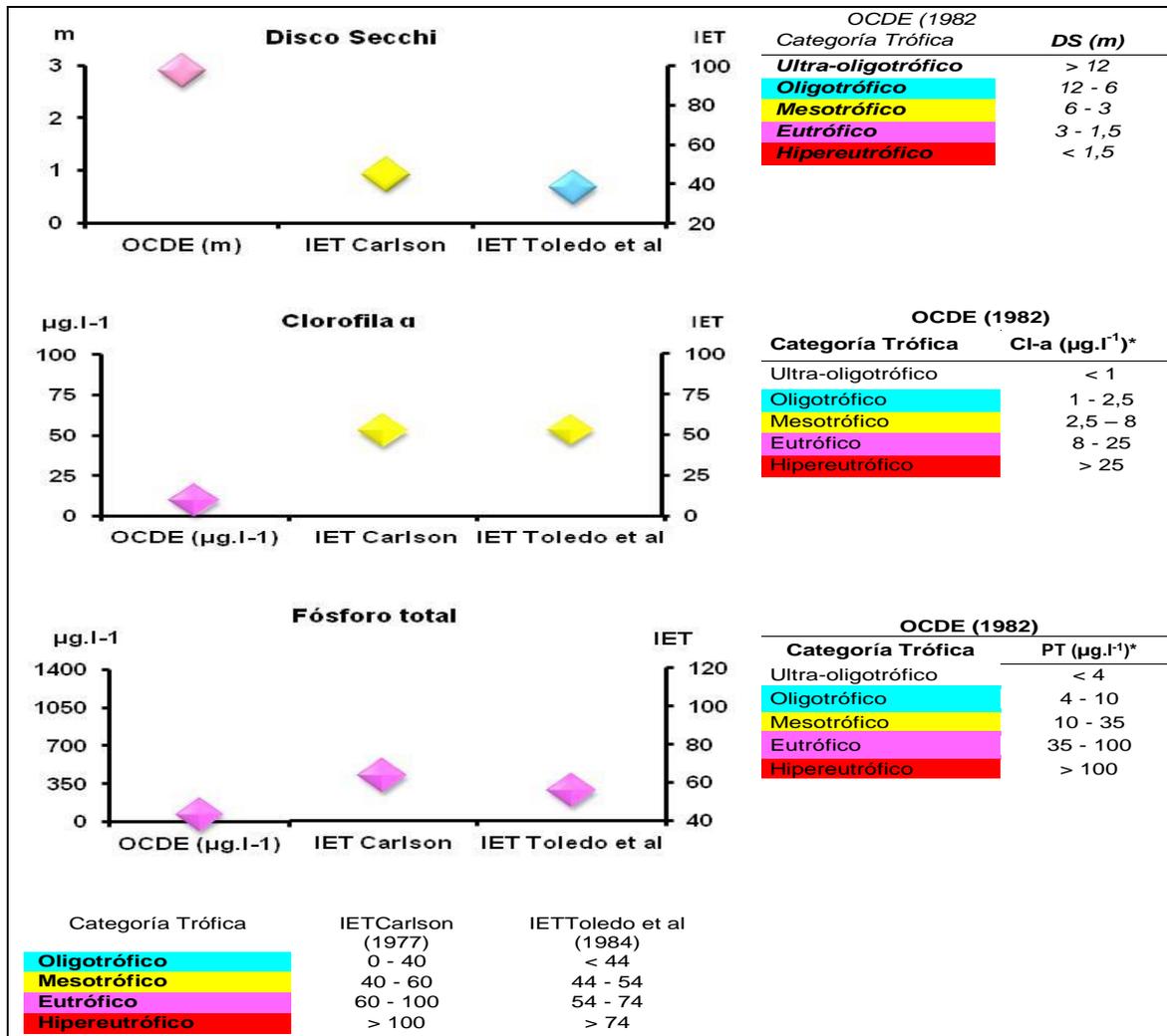


Figura 41d. Estado trófico resultante en el Lago de Yojoa según la transparencia del agua (disco Secchi), la clorofila-a y el fósforo total, de acuerdo al rango de valores propuesto por la OCDE (1982), IET simplificado (Carlson, 1977) e IETM (Toledo et al. 1984). Agosto, noviembre 2013 y marzo 2014.

V. CONCLUSIONES

1. Los principales tributarios que drenan sus aguas al Lago de Yojoa, pueden considerarse como aguas de buena calidad físico química. Sin embargo, evidencian problemas de contaminación microbiológica además, las concentraciones de metales pesados encontrados en el agua y en los sedimentos del río Raíces, representan un riesgo potencial para la salud humana y para la biota acuática.
2. Las cargas estimadas de nutrientes mostraron que la mayor exportación del fósforo y del nitrógeno hacia el lago es a través del cultivo de peces en jaulas flotantes, esta actividad es la mayor causante del deterioro avanzado del sistema ecológico.
3. El Lago de Yojoa presentó estratificación de las principales variables físicas y químicas medidas, apreciándose diferencias de temperatura con múltiples termoclinas y curvas clinógrada de oxígeno, estas variables influyeron en la estratificación de los principales iones, de nutrientes, en la rápida oxidación de la materia orgánica y en la productividad del mismo.
4. La naturaleza química del agua del Lago de Yojoa es de un sistema de mineralización moderada con aguas moderadamente productivas y de dureza intermedia, dada la actividad biológica (fotosíntesis y respiración) y las características geológicas del área de drenaje.
5. Las bajas concentraciones de nutrientes en el Lago de Yojoa se atribuyen al proceso de dilución en época lluviosa, la demanda, el consumo eficiente y la asimilación rápida por parte de organismos fotosintetizadores.
6. El Lago de Yojoa es un ecosistema altamente productivo en repuesta a la alta concentración de nutrientes que recibe, las características fisicoquímicas y la dinámica del cuerpo de agua, lo cual se refleja en la poca riqueza del fitoplancton con dominancia de Cyanophyta y densos florecimientos de *Microcystis*. Además del zooplancton, que presentó poca riqueza de especies en altas densidades y

características de ambientes eutrofizados como *Keratella americana*, *Thermocyclops* y *Artodiaptomus*.

7. La textura del sedimento (limos y arcillas) predominante en el Lago de Yojoa favoreció la conservación de la materia orgánica ya que esta se conserva mejor en sedimentos finos. Además en la acumulación de metales pesados, estos tienden a permanecer en sedimentos donde predominan los limos, arcillas y la presencia de materia orgánica.

8. El Lago de Yojoa es un ecosistema con un estado avanzado de eutrofización como resultado de las actividades antropogénicas que se desarrollan en el área, en particular el cultivo de peces en jaula a través de la cual se incorpora la mayor carga de nutrientes. Además es influenciado por las características físico-químicas y la dinámica del cuerpo de agua. El tiempo de residencia del agua que es regulado y controlado para la generación de energía eléctrica, desempeña un papel importante dentro del ecosistema debido a que regula la permanencia de especies dentro del mismo y la pérdida de fracción de nutrientes.

VI. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda a la autoridad de manejo del Lago de Yojoa (HONDULAGO) implementar medidas que conlleven a reducir la contaminación antropogénica e industrial en los principales tributarios que drenan sus aguas al lago, ya que estos transportan altas concentraciones de contaminantes, microorganismos patógenos y en particular el río Raíces que transporta metales pesados.
2. HONDULAGO debe implementar medidas y realizar acciones en el corto y largo plazo en relación a las actividades de desarrollo en el área, dirigidas a reducir la carga contaminante que ingresa al cuerpo de agua, en particular, el cultivo de peces en jaula a escala industrial, que es la que causa el acelerado deterioro del ecosistema.
3. HONDULAGO debe diseñar un plan de manejo ambiental en la subcuenca que conlleve a usar óptimamente los insumos agrícolas, debido a los altos aportes de nutrientes que recibe el Lago de Yojoa.
4. Se recomienda a HONDULAGO monitorear y controlar las descargas directas e indirectas de vertidos de aguas residuales y agroindustriales que se hacen al cuerpo de agua.
5. HONDULAGO debe desarrollar lineamientos y un plan de acción para la protección y uso sostenible del ecosistema.
6. El Ministerio de Recursos Naturales y Ambiente (MIAMBIENTE) y HONDULAGO, deben crear políticas para que la toma de decisiones sobre el manejo y el desarrollo en la subcuenca vayan orientados al manejo sustentable y además, realizar actividades, gestiones, proyectos y programas dirigidos a la recuperación del ecosistema.

7. Las entidades que realizan estudios e investigaciones en la subcuenca deben enfocarse a estudios específicos del ecosistema y considerar la hidrodinámica, las características morfométricas del sistema y considerar la variación estacional, debido a que influyen en la productividad y la diversidad de especies de los ecosistemas. Además ampliar los puntos de monitoreo, para poder determinar la influencia de cada una de las actividades que se realizan en la zona.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- APHA, A. P., AWWA, A. W., & WEF, W. E. (1999). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*.
- AQUAFINCA, SAINT PETER FISH . (2011). *Inversión Térmica y Mezcla del Lago de Yojoa*.
- Arias, J. C., & Ramírez, J. J. (2009). Caracterización preliminar de los sedimentos de un embalse tropical:represa La Fe (El Retiro, Antioquia, Colombia). *Limnetica* 28(1), 75-78.
- ATDSR, A. p. (2006). *Toxicología del Cianuro*. Atlanta, Georgia, Estados Unidos: Departamento de Salud y Servicios Humanos de Estados Unidos, Servicio de Salud Pública.
- ATSDR, A. f. (2004). *Reseña toxicológica del cobre*. Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU., Servicio de Salud Pública.
- ATSDR, A. f. (2005). *Reseña toxicológica del zinc*. Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU., Servicio de Salud Pública.
- ATSDR, A. f. (2007). *Reseña toxicológica del plomo*. Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU. Servicio de Salud Pública.
- ATSDR, A. f. (2008). *Reseña toxicológica del cadmio*. Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE. UU.,.
- Baird, C. (2001). *Química Ambiental*. Barcelona, España: REVERTÉ, S.A.
- Barrenechea, A. (2005). *Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua*. . Manual de tratamiento de Agua. Tomo 1. PAHO.
- Basterrechea, M. (2008). *Modelo para la Estimación de cargas tolerables de contaminantes en el Lago de Yojoa, para las actividades de producción pesquera, hidroeléctrica, agropecuaria y comercial, y recomendaciones para su regulación y control*.SERNA-MARENA.
- Bellinger, E. G., & Segee, D. C. (2010). *FreshwaterAlgae:Identification and Use as Bioindicators*. Reino Unido: Wiley Blackwell.
- Beveridge, M. (1986). *Piscicultura en jaulas y corrales. Modelos para calcular la capacidad de carga y las repercusiones en el ambiente*. FAO Doc. Téc. Pesca, (255): 100 p.

- Bobadilla, L., López, S., & Villodas, M. (2014). *Estudio y análisis químico de la contaminación antropogénica de las aguas de las Albuferas de medio mundo*. Ingeniería Ambiental: Universidad Privada del Norte.
- Bronmark, C., & Lars, H. (2005). *The Biology of Lakesand Ponds*. New York, United States: Oxford.
- Bureau Veritas Formación. (2008). *Manual para la formación en medio ambiente*. Valladolid, España: LEX NOVA S.A.
- Cabrera, A. G. (2009). *Variaciones espaciales y temporales de la comunidad zooplanctónica en dos localidades del embalse Suata*. Aragua, Venezuela: UNIVERSIDAD Central de Venezuela.
- Callisto, M., & Esteves, F. A. (1996). Caracterização Granulométrica de Sedimento do um Lago Amazonico Impactado por Rejeito de Bauxita en un Lago Natural (Pará Brazil). *Acta Limnologica Brasilensia Vol.8*, 115-126.
- Camargo, J., & Alonso, A. (2007). Contaminación por nitrógeno inorgánico en los ecosistemas acuáticos: problemas medioambientales, criterios de calidad del agua, e implicaciones del cambio climático. *Ecosistemas*, 98-110.
- CAPRE, N. R. (1995). *Normas de Calidad de Agua para Consumo Humano*. Comité Coordinador Regional de Instituciones de agua potable y saneamiento de Centroamérica, Panama y República Dominicana.
- Castagnino, W. (1982). *Investigación de modelos simplificados de eutroficación en lagos tropicales*. . Organización Panamericana de la Salud, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.
- CCME. (2008). *Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life - Guidance on the Site-Specific Application of Water Quality Guidelines in Canada: Procedures for Deriving Numerical Water Quality Objectives*.
- CEQGs, . E. (2001). *Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life*. Canadian Council of Ministers of the Environment.
- Cimera. (2004). *Estudio Limnológico De Las Charcas De Maracalda y Kulukupadra (Zuia, Alava)*. Dirección de Aguas del Departamento de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente del Gobierno Vasco.
- Custodio, E., & LLamas, M. R. (2001). *Hidrología subterránea*. Barcelona, España: Omega.

- De León, L. (2001). Floraciones de cianobacterias (algas verde-azules) características, causas, efectos y recomendaciones. *Sección Limnología, Instituto de Biología, Facultad De Ciencias*.
- Decreto. (71-71). *La Gaceta, Diario Oficial de la República de Honduras*. Tegucigalpa, Honduras. Diciembre de 1971.
- Dudgeon, D. (2008). *Tropical Stream Ecology*. Lawrence, Kansas: Advisory Board.
- Empresa Nacional de Energía Eléctrica. (s.f.). *Central Hidroeléctrica Francisco Morazán*. Obtenido de Central Hidroeléctrica Francisco Morazán: www.enee.hn/index.php/centrales-hidroelectricas/81-cajon
- ENEE, E. N. (2014). <http://www.enee.hn/index.php/empresa>. Recuperado el 20 de Mayo de 2014, de <http://www.enee.hn/index.php/empresa>: <http://www.enee.hn/index.php/centrales-hidroelectricas/80-canaveral>
- ERSAPS, E. R. (2009). Indicadores 2 009 del Sector Agua y Saneamiento en Honduras. *ERSAPS*, 5.
- Esteves, F. d. (1988). *Fundamentos de Limnología*. Rio de Janeiro, Brasil: Interciencia Ltda.
- FAO. (1985). *Water quality for agriculture, by R.S Ayers, D.W. Westcot: Irrigation and Drainage Paper 29 Rev. 1*. Roma, Italia.
- FAO. (2009). *El papel del ganado en la contaminación y el agotamiento del agua*.
- Fontúrbel, F. (2006). Evaluación rápida de la diversidad de fitoplancton en aguas eutróficas del Lago Titikaka (Bolivia) y su uso como indicador del grado de contaminación. *Ciencia Abierta Internacional. vol. 29*.
- Gallo, L. J., Aguirre, N., Palacio, J., & Ramírez, J. J. (2009). Zooplankton (Rotifera and Microcrustacea) and its relationship with the level water changes in Ayapel floodplain lake (Córdoba) Colombia. *Caldasia Vol. 31*.
- Gallo, L. J., Aguirre, N., Palacio, J., & Ramírez, J. J. (2009). Zooplankton (Rotifera and Microcrustacea) and its relationship with the level water changes in Ayapel floodplain lake (Córdoba) Colombia. *Caldasia Vol. 31*.
- Gallo, L. J., Gaviria, S., & Ramírez, J. J. (2004). Dinámica de la comunidad zooplanctónica (excepto protozoa) en la laguna del parque Norte, Medellín (Antioquia, Colombia). *Actual Biol* 26, 132-146.

- Geólogos del Mundo. (2007). *Studio Idrogeologico e Ambientale del Bacino del Lago di Yojoa Honduras*.
- Geólogos del Mundo. (2009 - 2010). *Programa para la Regeneración Medio Ambiental del Lago de Yojoa*. Siguatepeque, Honduras.
- Gómez, J. L., Peña, B., Guzmán, J. L., & Gallardo, V. (2013). Composición, abundancia del zooplancton y calidad de agua en un microreservorio en el estado de Morelos. *Hidrobiológica*, vol. 23, núm. 2, 227-240.
- Guillén, R. (2015). *Situación de los Recursos Hídricos en Centroamérica*. Tegucigalpa, Honduras: Asociación Mundial para el Agua (WGP).
- Hasson, C. B.-A. (2005). *The Biology of Lakes and Ponds*. Oxford: Oxford University.
- Hernández, I., Garay, M., & Marín, M. (2013). *Estudio Limnológico en el Lago de Yojoa*. Tegucigalpa, Honduras: Laboratorio de Hidrobiología, Ciudad Universitaria.
- Herrera, Y., & Guillot, G. (1999). Composición taxonomica del zooplancton del embalse de betania departamento del Huila, Colombia. *Acta Biologica Colombiana Vol 4*.
- Higgins, C., & Dzombak, D. (2006). Free Cyanide Sorption on Freshwater Sediment and Model Components. *Soil & Sediment Contamination*, 497-510.
- House, P. (2002). *Diagnóstico Ambiental del Lago de Yojoa, Honduras. Revisión Bibliográfica. The Nature Conservancy. AMUPROLAGO*. .
- Huaranga, F. (2012). *Contaminación por metales pesados en la Cuenca del Río Moche, 1980-2010*. Lima, Perú: Scintia Agropecuaria.
- Hutchinson, G. (1969). Eutrophication, past and present. En N. A. Sciences, *Eutrophication: Causas, Consequenses Correctives* (págs. 17-27). Washington D.C: National Academy Sciences.
- Iannacone, J., & Alvariño, L. (2007). *Diversidad y abundancia de comunidades zooplanctónicas litorales del humedal pantanos de Villa, Lima, Peru*. Lima, Perú: Gayana.
- INE. (2010). *Proyección de la población de Honduras para el año 2010*. Tegucigalpa, Honduras.

- Jacome, M., & Llanos, L. (1990). Caracterización de la Materia Orgánica en los sedimentos del Río Jubones, en el área comprendida entre el puente la Iberia hasta su desembocadura. *Acta Oceanográfica del Pacífico*, 97-102.
- Jørgensen, S., & Vollenweider, R. (1988). *Guidelines of Lakes Management: Principles of Lake Management. Vol 1*. United Nations Environment Programme: International Environment Lake Committee.
- MARENA. (2005). *Análisis de contexto territorial y Plan de Gestión de los recursos naturales de la Subcuenca del lago de Yojoa*.
- Merayo, S., & González, E. (2010). Variaciones de abundancia y biomasa del zooplancton en un embalse tropical oligo-mesotrófico del norte de Venezuela. *Biología Tropical Vol. 58*, 603- 619.
- Morell, I., & Hernández, F. (2000). *El Agua en Castellón*. Castelló de la Plana, España: Universidad de Jaume.
- Moreno, D., & Ramírez, J. J. (2010). Variación Temporal de la Condición Trófica del Lago del Parque Norte, Medellín (Antioquia), Colombia. *Actual Biol 32 (92)*, 75-87.
- Moreno, D., Quintero, J., & López, A. (2010). Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia. *ContactoS 78*, 25-33.
- Moreno, F. (2010). Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia. *ContactoS 78*, 25-33.
- Moreta, J. C. (2008). *La Eutrofización de los Lagos y sus Consecuencias*. Ibarra, Ecuador: Universidad del Norte.
- Nebel, B. J., & Wright, R. T. (1999). *Ciencias Ambientales: Ecología y Desarrollo Sostenible*. México: Pearson Educación.
- Neves, I., Rocha, O., Roche, K. F., & Pinto, A. A. (2003). Zooplankton community structure of two marginal lakes of the River Cuiabá (Mato Grosso, Brazil) with analysis of Rotifera and Cladocera diversity. *Brazilian Journal*.
- NTNA, S. d. (2001). *Norma Técnica Naciona para Agua: Uso Agrícola y Pecuario, Uso Recreativo, Preservación de la Flora y la Fauna, Abastecimiento de Poblaciones y Uso en la Acuicultura*. Tegucigalpa, Honduras.
- Núñez, J. H. (2011). Evaluación de metales pesados en los sedimentos superficiales del río Pirro. *Tecnología en Marcha, Vol. 26, N° 1*, 28-35.

- NYSRTAR. (6 de Febrero de 2013). *El Mochito, Honduras- Careers International*. Recuperado el 19 de Mayo de 2014, de El Mochito, Honduras- Careers International: online.careersinternational.com/nyrstar/testimonial/136.html
- O'Sullivan, P., & Reynolds, C. (2004). *The Lakes Handbook, VOLUME 1, LIMNOLOGY AND LIMNETIC ECOLOGY*. USA: Blackwell Science Ltd a Blackwell Publishing company.
- OCDE, O. p. (1982). Eutroficación de las aguas. Monitoreo, Evaluación y Control.
- Oliva Martínez, M. G., Rodríguez Rocha, A., Lugo Vázquez, A., & Sánchez Rodríguez, M. d. (Agosto de 2008). Composición y dinámica del fitoplancton en un lago urbano hipertrófico. *Hidrobiológica*, 18.
- OMS. (1996). *Guidelines for Drinking-Water Quality. Volume 2. Health criteria and other supporting information. Segunda edición. Ginebra, 1996*. Ginebra: Segunda Edición.
- OMS. (2006). *Organización Mundial de la Salud, Guías para la Calidad del Agua Potable Vol.1, Tercera Edición*.
- Organismo Internaciona de Sanidad Agropecuaria, O. (2005). *Inventario nacional de los cuerpos de agua continentales*. Tegucigalpa, Honduras.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, (. (1996). *Piscicultura en jaulas y corrales, Modelos para calculr capacidad de carga y las repercusiones en el ambiente*. Diliman, Quezon City República de Filipinas: IFDR, College of Fisheries University of the Philippines.
- Otero, L. (2011). *Temporalidad de parámetros de calidad en el lago de yojoa, Honduras*. Oviedo: Universidad de Oviedo, Departamento de Geología.
- Padilla, T., & García, N. (2012). *Hidroquímica del agua superficial de la subcuenca del río Quiscab*. Guatemala: Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, ISSN-1010-2760, RNPS-0111, Vol. 21, No. Esp., diciembre, pp. 17-20.
- Paretti, N., Aside, F., & AMUPROLAGO. (2008). *Studio Idrogeologico e Ambientale del Bacino del Lago di Yojoa*. Honduras.
- Perbiche-Neves. (2013). Relations among planktonic rotifers, cyclopoid copepods, and water quality in two Brazilian reservoirs. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 138-149.

- Pineda, V. (2009). *Granulometría y geoquímica de los sedimentos marinos en el área comprendida entre el seno Reloncaví y Golfo Cocovado, Chile*. Recuperado el Febrero de 2018, de Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62412166003>
- Pinilla, G. (2000). *Indicadores Biológicos en Ecosistemas Acuáticos Continentales de Colombia, Compilación Bibliográfica*. Santafé de Bogotá de Colombia: Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.
- Ramírez, A., & Viña, G. (1998). *Limnología Colombiana, Aportes a su conocimiento y estadísticas de análisis*. Bogotá, Colombia: Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.
- Ramírez, J. J. (2000). *Fitoplancton de agua dulce: aspectos ecológicos, taxonomico y sanitarios*. Colombia: Universidad de Antioquía.
- Ramírez, J. J. (2004). Caracterización de una Laguna Tropical Raza. *Caldasia* 26(1), 173-184.
- Ramírez, J. J., & Díaz, A. (1996 - 1997). Fluctuación estacional del zooplancton en la laguna del Parque Norte, Medellín Colombia. *REVISTA DE BIOLOGIA TROPICAL*, 549-563.
- Ramos, J., & Márquez, Á. (2007). *Hidroquímica de las aguas subterráneas en terrenos volcánicos*. Santa Cruz de Tenerife, España: Programa de aguas subterráneas en la Directiva del Marco de Aguas. .
- Ramos, L. D., Ferrary, M. L., Munguía Guerrero, L., & Tarradellas, J. (1991). *Determinación de plomo y cobre en peces y manejo de sus residuos en el Lago de Yojoa, Honduras*. Tegucigalpa, Honduras: Centro Estudios y Control de Contaminantes (CESCCO) & Ecole Polytechnique Fédéral INSTITUT DU GENIE DE Lausanne, Suisse.
- Reconco, A. (2013). *Evaluación de Fuentes de Contaminación Puntual y Estrategias de Producción más Limpia en el Lago de Yojoa, Honduras*. Catacamas, Olancho: Universidad Nacional de Agricultura.
- Reynolds, C. (2006). *Ecology of Phytoplankton*. United States: Board.
- Rivera, N. (2004). *Water Quality in the Cautín and Imperial Rivers*. IX Region-Chile: Información Tecnológica-Vol. 15 N°5-
- Roldán, G., & Ramírez, J. J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical*. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia.

- Romero, F. (2007). *Batimetría del Lago de Yojoa*. Siguatepeque, Honduras: Escuela Nacional de Ciencias Forestales, Departamento de Investigación Forestal Aplicada.
- Ruttner, F. (1972). *Fundamentals of Limnology*. Toronto, Canadá: University of Toronto Press.
- SAG, S. d., & MARENA. (2003). *Caracterización físico-territorial de las microcuencas del Lago de Yojoa*. Honduras.
- Ministerio de Salud. (2005). *Norma Técnica Nacional para agua de: uso agrícola y pecuario, uso recreativo, uso en preservación de la flora y la fauna (calidad básica del agua), uso en abastecimiento de poblaciones y uso en acuicultura*. Tegucigalpa, Honduras.
- Sandoval, S. (2003). *Evaluación de la calidad del agua del Lago de Yojoa*. Tegucigalpa, Honduras: Unidad de servicios técnicos, ENEE.
- Sandoval, S. (2006-2009). *Acerca de la Calidad del Agua del Lago de Yojoa*. Tegucigalpa, Honduras: Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE).
- SERNA, S. d. (7 de Marzo de 2014). *SERNA*. Recuperado el 20 de mayo de 2014, de SERNA: www.serna.gob.hn/.../913-ministro-de-serna-visita-instalaciones-de-aqua
- Simpson, S. L., & Batley, G. E. (2013). *Sediment Quality Assessment, A Practical Guide*. Clayton South, Australia: CSIRO.
- Studer, E. (2007). *La contaminación ambiental del Lago de Yojoa: Un estudio bibliográfico respecto a un Sistema de Indicadores Ambientales*. Tegucigalpa, Honduras.
- Studer, E. (2007). *Evaluación de Parámetros físicos, químicos y biológicos Indicadores del Estado Trófico del Lago de Yojoa, Honduras*. Tegucigalpa, Honduras.
- Tundisi, J., & Tundisi, T. M. (2008). *Limnología*. Sao Pablo, Brasil: Oficina de Textos.
- USEPA. (2000). *Nutrient Criteria Technical Guidance Manual. Lakes and Reservoirs*. Washington, DC.: EPA-822-B-00-001, U.S. EPA, Office of Water, Office of Science and Technology.
- Vevey, E. d. (1990). *Contaminación de Lago de Yojoa por Metales Pesados*. Tegucigalpa, Honduras.

Walker, C. H., Hopkin, S. P., Sibly, R. M., & Peakall, D. B. (2006). *Principles of Ecotoxicology*. United States: Taylor & Francis.

Ward, J. V. (1992). AQUATIC INSECT ECOLOGY. *Biology and Habitat John Wiley & Sons, New York*, 438.

Wetzel, R. (1981). *Limnología*. Barcelona, España: OMEGA.

Wetzel, R. (1981). *Limnology Lake and River Ecosystems*. London: ELSEVIER ACADEMIC PRESS.

Zuniga Andrade, E. (1990). *Las modalidades de lluvias en Honduras*.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1

Tabla A.1.1. Variables fisicoquímicas, técnica y metodología analítica utilizada por los laboratorios del CIRA-UNAN.

Variables Determinadas	Técnica/método	Referencias para el Método	PON ¹	Rango/límite de detección	
Turbidez	Nefelométrica	2130.B ²	PON-AN-01	0,00 a 999	UNT
pH a 25°C	Potenciométrica	4500-H.B ²	PON-AN-02	0,10 a 14,00	Unidades
Conductividad a 25°C	Potenciométrica	2510.B ²	PON-AN-03	1,0 a 10000,00	µS.cm ⁻¹
Color verdadero	Comparación Visual	2120.B ²	PON-AN-04	5,0 a 70,00	mg.l ⁻¹ Pt-Co
Sólidos Totales suspendidos	Gravimétrica	2540.D ²	PON-AR-03	Hasta20000,00	mg.l ⁻¹
Dureza total	Volumétrica - titulación con EDTA	ICS-900	PON-AN-05	0,13	mg.l ⁻¹
Calcio		3500-Ca.B ²	PON-AN-06	0,08	mg.l ⁻¹
Magnesio	Por cálculo	ICS-900			0,20
Sodio	Potenciométrica con Electrodo de Ion Selectivo	ICS-900	PON-AN-07	0,25	mg.l ⁻¹
Potasio	Fotometría en llama	ICS-900	PON-AN-09	0,10	mg.l ⁻¹
Carbonatos Bicarbonatos Alcalinidad total	Volumétrica - titulación con HCl	2320.B ²	PON-AN-11	2,00 0,75 0,62	mg.l ⁻¹
Cloruros Nitratos Sulfatos	Cromatografía Iónica con Supresión Química	4110.B ²	PON-AN-12	0,25 0,25 0,011	mg.l ⁻¹
Sílice	Método del Molibdosilicato	4500-SiO ₂ .C ²	PON-AN-15	0,20	mg.l ⁻¹
Hierro total	Método de la Fenantrolina	3500-Fe.B ²	PON-AN-16	0,02	mg.l ⁻¹
Nitritos	Método de la Sulfanilamida	4500-NO ₂ .B ²	PON-AN-20	0,003	mg.l ⁻¹
Amonio	Método del Azul de Indofenol	Rodier, J. (1981)	PON-AN-21	0,005	mg.l ⁻¹
Nitrógeno total	Método de la Segunda Derivada	Crumpton, W.G. (1992) ³	PON-AN-18	0,10	mg.l ⁻¹
Fósforo total y Reactivo disuelto	Método del Ácido Ascórbico	4500-P.B.E ²	PON-AR-20	0,016	mg.l ⁻¹
		4500-P.E ²	PON-AR-22		

¹PON-AN/AR: Procedimiento Operativo Normalizado del Laboratorio de Aguas Naturales/Aguas Residuales.

²American Public Health Association (APHA). (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21th*. Washington: APHA.

³Crumpton, W., Inerhart T. & Mitchel P. (1992). *Nitrate and N analisis with second-derivate spectroscopy*. *Lymnology & Oceanography*, 37: 907-913.

⁵ American Public Health Association (APHA), (2005). *Standard Methods for the Extimacion of Water and Wastewater. 21st.Ed*. Washington: APHA

⁶ Bransletter A., Sletten R.S., Mentler A, & Wenzel W. (1996). *Estimating Disoolved Organic Carbon in Natural Water by UV absorbance (254 nm)*.

Caracterización limnológica del Lago de Yojoa y Calidad del agua procedente del área drenaje

DBO5	Consumo de oxígeno en oxidación natural de la materia orgánica por 5 días	5210B ⁵ APHA, 2005	PON-AR-23	1,00	mg.l ⁻¹
DQO	Oxidación de materia orgánica en dicromato potásico y sulfato de mercurio	5220C ⁵ APHA, 2005	PON-AR-24	10,00	mg.l ⁻¹

Tabla A.1.2 Variables físico – químicas, técnica y metodología analítica utilizada por los laboratorios del CIRA-UNAN.

Variable	Técnica/Método	Referencias del Método	Rango/límite de detección
Carbono orgánico disuelto	UV 254 nm ⁶	Bransletter et al, 1996	0,129 mg.l ⁻¹
Materia orgánica	Oxidación Húmeda ⁷	Combustión húmeda método de WaykleBlack	
Granulometría	Sedimentación		
Metales pesados Arsénico Total Cadmio Total Cinc Total Cromo Total Plomo Total Cobre Total	Espectrometría de absorción atómica	E. Rothery et al 1984. ⁸ E. Rothery et al 1979.	2,02 µg.l ⁻¹ 0,15 µg.l ⁻¹ 35,95 µg.l ⁻¹ 0,71 µg.l ⁻¹ 4,64 µg.l ⁻¹ 3,84 µg.l ⁻¹
Análisis microbiológico⁴ Coliformes totales Coliformes termotolerantes E.Coli Estreptococos	Recuento por el Método de Membrana de Filtración.	9222B ⁵ 9222D ⁵ 9222G1-2D ⁵ 9230D ⁵	
Hidrobiológico:-Fitoplancton Cualitativo Abundancia numérica biomasa peso-húmedo Clorofila-a	Observación directa/Microscopía Conteo Biovolumen ¹⁰ Espectrofotometría UV-VIS ¹¹	(Utermoehl, 1958) ¹⁰ (Nush & Palme, 1975) ¹¹	---- Ind l ⁻¹ mg l ⁻¹ µg l ⁻¹
Hidrobiológico:-Zooplancton Cualitativo Cuantitativo	Observación directa/Microscopía Conteo	(Utermoehl, 1958) ¹⁰ (Nush & Palme, 1975) ¹¹	Ind l ⁻¹ mg l ⁻¹ µg l ⁻¹

⁷López, J. (1990). El Diagnóstico de suelos y plantas. Métodos de campo y laboratorio. Ediciones Mundi-Prensa. 4ta Edición. Madrid, España.

⁸E. Rothery, 1984. Operational Manual-VGA-76. VARIAN.

⁹E. Rothery, 1979. Operational Manual ASSFlame. VARIAN

¹⁰ Utermoehl, H. (1958). Zur Vervollkommung der quantitativen Phytoplanktonmethodik. *Mitt. Internat. Verein. Limnol.* (9), 1-38.

¹¹ Nush, E. A., & Palme, G. P. (1975). Biologische Methoden für die Praxis der Gewässeruntersuchung, Bestimmung des Chlorophyll-a und Phaeopigment-gehaltes in Oberflächenwasser. *Wasser/Abwasser*(16), 562-565.

¹²Krammer k. & Lange-Bertalot H. 1985. Naviculaceae, pág. 230

¹³Krammer k. & Lange-Bertalot H. 1991. Bacillariophyceae 3. Thiel pág. 576

¹⁴Carter, J.R. 1981. A taxonomic study of the diatoms form studing freshwater in Shetland. pág. 629

¹⁵Barbe, E. & Haworth, E. 1981. A guide to the morphology of the diamtoms frustule. pág. 113

Anexo 2

Tabla A.2.1. Resultados de variables fisicoquímicas medidas in situ.

Tributarios	Hora	Temperatura (°C)	Conductividad eléctrica (µs/cm)	Oxígeno disuelto (mg/l)	% Saturación de oxígeno	pH (Unds.)
Agosto						
Yure	17h38	26,2	48,8	7,86	103,5	6,66
Cacao	12h15	25	67,9	7,9	105	7
Varsovia	14h11	26,6	82,1	7,7	105,3	8
Raíces	08h45	24,1	380	7,64	96,4	7,93
El Helado	16h15	21,4	271	8,54	102	7,58
Octubre						
Yure	14h38	26,4	48,94	5,98	101,8	6,3
Cacao	15h40	24,5	71,05	6,25	103,8	7,1
Varsovia	16h30	23,6	79,3	5,99	98	6,81
Raíces	07h30	25	373,33	6,17	97,6	7,31
El Helado	09h30	20	277,32	6,48	100,6	7,4
Noviembre						
Yure	13h15	23,5	56	4,85	57,9	6,04
Cacao	14h20	23,6	32,7	5,92	70,5	7,33
Varsovia	15h25	22	76,9	6,58	60	7,19
Raíces	08h20	22,1	373	5,67	70,5	7,76
El Helado	09h50	19,1	261	8,51	93,1	7,58
Enero						
Yure	12h10	21,2	65,8	5,7	62	5,52
Cacao	13h10	18,8	79,9	6,5	73	5,57
Varsovia	13h58	18,8	81,2	6,0	63	6,48
Raíces	07h30	20,2	422	5,2	59	6,58
El Helado	08h55	18,6	275	6,3	66	6,7
Marzo						
Yure	15h35	27,2	56,1	4,72	61,2	7,33
Cacao	13h50	25,3	82,4	5,95	73,3	7,78
Varsovia	14h40	25,4	95,3	6,06	74,6	8,01
Raíces	08h45	23,8	451	5,66	71,3	7,68
El Helado	09h50	20,1	279	6,0	74,5	7,48

Tabla A.2.2. Resultado de variables fisicoquímicas medidas en el laboratorio.

Tributarios	Turbidez (UTN)	pH (Unds.)	Conductividad eléctrica ($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	Color (mg.l^{-1}) Pt-Co	Sólidos totales disueltos (mg.l^{-1})	Dureza (mg.l^{-1})	Alcalinidad (mg.l^{-1})
Agosto							
Yure	6,2	8,12	66,5	15,0	62,07	33,31	41,5
Cacao	2,5	7,94	66,5	15,0	56,26	26,03	36
Varsovia	3	8,08	79,1	15,0	66,67	31,23	43
Raíces	112,8	8,16	368	10,0	249,48	220,68	184
El Helado	23,7	8,18	257	25,0	152,07	136,86	136
Noviembre							
Yure	11	7,55	45,2	15,0	26,3	14,59	20
Cacao	12,2	7,3	57,75	15,0	47,7	25,55	27
Varsovia	22,9	7,81	65,6	15,0	49,17	21,2	32,5
Raíces	6,75	8,25	351	10	187,79	156,3	164
El Helado	17,3	8,15	249	< rd	153,47	149	138
Marzo							
Yure	1,5	8,13	54,8	15,0	42,83	13,25	23
Cacao	6,5	8,41	86,6	15,0	74,72	29,15	36
Varsovia	1,3	8,3	95,9	15,0	79,99	28,55	40
Raíces	2,1	8,24	455	5,0	283,18	269,75	161
El Helado	1	8,37	260	5,0	161,53	150,3	143

Tabla A.2.3. Resultados de sólidos suspendidos totales de los principales tributarios (mg.l⁻¹).

Tributarios	Agosto	Octubre	Noviembre	Enero	Marzo
Yure	28,50	2,10	2,90	1,84	1,00
Cacao	5,70	1,00	10,31	1,84	1,00
Varsovia	1,70	1,00	25,00	1,82	1,00
Raíces	5,90	9,90	1,31	2,84	1,50
El Helado	15,10	7,30	2,50	3,09	2,10

Tabla A.2.4. Resultados microbiológicos de los principales tributarios.

Tributarios	Agosto-2013 (NMP/100ml)				Noviembre-2013 (UFC/100ml)			
	C. T	C.TT	<i>E. Coli</i>	Estrep	C. T	C.TT	<i>E. Coli</i>	Estrep
Río Yure	2400	1300	1300	2400	2000	750	200	540
Cacao	2400	490	490	1600	5500	3500	1100	1700
Varsovia	22000	13000	2200	4900	105000	60000	0	4900
Raíces	92000	54000	5400	3500	50500	31750	15000	7900
Helado	Nd	Nd	Nd	Nd	17000	11500	0	4900

Tabla A.2.5 Concentraciones totales de metales pesados, río Raíces (µg.l⁻¹).

Épocas muestreadas	Arsénico	Cadmio	Zinc	Cromo	Plomo	Cobre	Cianuro
Agosto	17,99	1,03	151,7	0,71	43,22	Nd	0,005
Noviembre	3,45	0,075	17,975	0,355	5,92	8,85	0,005
Marzo	6,71	0,075	45,35	0,355	5,5	5,32	0,005

Nd: no determinado

Tabla A.2.6. Concentraciones totales de metales en sedimentos del río Raíces (µg.g⁻¹).

Época	Arsénico	Cadmio	Zinc	Cromo	Plomo	Cobre
Agosto	33,31	32,25	3079,26	10,58	2520,56	
Noviembre	1,14	6,72	685,81	6,57	312,35	24,95
Marzo	25,64	10,57	980,14	7,77	655,48	68,02

Tabla A.2.7. Valores límites de la calidad de los sedimentos ($\mu\text{g.g}^{-1}$).

Metales	Valor guía	Nivel de efectos probable
Arsénico	5,9	17
Cadmio	0,3	3,5
Cobre	35,7	197
Zinc	123	315
Plomo	35	91,3
Cromo	37,3	90

(CEQGs, 2001).

Tabla A.2.8. Resultados de la demanda química de oxígeno en los tributarios principales (mg.l^{-1}).

Tributarios	Agosto	Octubre	Noviembre	Enero	Marzo
Yure	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld
Cacao	<ld	<ld	11,74	<ld	<ld
Varsovia	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld
Raíces	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld
El Helado	<ld	<ld	<ld	<ld	17,78

Anexo 3

Tabla A.3.1. Resultado de concentración de nutrientes en los tributarios principales.

Época	Fósforo total	Ortofosfato	Nitrógeno total	Nitrógeno de nitritos	Nitrógeno de amonio	Nitrógeno de nitratos
	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹	mg.l ⁻¹
Yure						
Agosto	0,008	<ld	0,408	0,004	0,027	0,122
Octubre	0,008	<ld	0,341	0,004	0,050	0,054
Noviembre	0,039	<ld	0,869	0,002	0,047	0,144
Enero	0,019	<ld	0,11			
Marzo	0,008	<ld	0,698			
El Cacao						
Agosto	0,032	<ld	0,704	0,002	0,025	0,140
Octubre	0,033	0,023	0,36	0,004	0,042	0,028
Noviembre	0,029	<ld	0,558	0,001	0,043	0,142
Enero	0,008	<ld	1,07			
Marzo	0,037	<ld	0,439			
Varsovia						
Agosto	0,022	<ld	0,313	0,002	0,033	0,095
Octubre	0,039	<ld	0,349	0,003	0,026	0,151
Noviembre	0,021	<ld	0,1	0,001	0,044	0,176
Enero	0,008	<ld	0,09			
Marzo	0,008	<ld	0,444			
Raíces						
Agosto	0,149	<ld	2,476	0,086	0,231	1,246
Octubre	0,025	<ld	1,128	0,024	0,027	0,788
Noviembre	0,0119	<ld	2,92	0,180	0,290	2,059
Enero	0,008	<ld	0,52			
Marzo	0,017	<ld	2,722			
El Helado						
Agosto	0,034	<ld	1,39	0,001	0,019	0,564
Octubre	0,051	<ld	0,903	0,002	0,023	0,528
Noviembre	0,035	<ld	0,793	0,002	0,034	0,524
Enero	0,008	<ld	0,35			
Marzo	0,055	<ld	0,794			

Tabla A.3.2. Resultado de las mediciones de caudales de entrada ($\text{mm}^3 \cdot \text{mes}^{-1}$), 2013-2014.

Tributarios	Agosto	Octubre	Noviembre	Enero	Marzo	Promedio
Yure	26,07	18,44	32,74	15,34	10,23	20,56
Cacao	2,61	3,46	3,71	1,63	0,66	2,41
Varsovia	11,56	27,89	32,79	18,34	9,33	19,98
Raíces	25,40	33,52	25,30	9,31	6,41	19,99
El Helado	29,02	50,78	36,25	18,19	5,87	28,02
Qtotal	94,65	134,08	130,80	62,81	32,50	90,97

Tabla A.3.3. Resultado de las mediciones del caudal de salida ($\text{mm}^3 \cdot \text{mes}^{-1}$) 2013 -2014.

Meses	Caudal
Agosto	74,47
Octubre	71,16
Noviembre	181,96
Enero	181,55
Marzo	237,41

Tabla A.3.4. Cálculo de la carga de fósforo total que ingresa Lago de Yojoa a través de los tributarios.

Época	Caudal (Q)	PT	Carga PT	Carga PT	Carga
	l.s^{-1}	mg.l^{-1}	kg.d^{-1}	Kg.mes^{-1}	Ton.a^{-1}
Yure					
Agosto	10056,8	0,008	7,0	208,5	2,8
Octubre	7115,5	0,039	24,0	719,3	9,5
Noviembre	12631,3	0,019	20,7	622,1	8,2
Enero	5917,3	0,008	4,1	122,7	1,6
Marzo	3948,5	0,008	2,7	81,9	1,1
Cacao					
Agosto	1007,5	0,032	2,8	83,6	1,1
Octubre	1334,0	0,033	3,8	114,1	1,5
Noviembre	1431,7	0,029	3,6	107,6	1,4
Enero	628,8	0,008	0,4	13,0	0,2
Marzo	256,1	0,037	0,8	24,6	0,3
Varsovia					
Agosto	4459,3	0,022	8,5	254,3	3,4
Octubre	10759,0	0,039	36,3	1087,6	14,4
Noviembre	12651,9	0,021	23,0	688,7	9,1
Enero	7076,9	0,008	4,9	146,7	1,9
Marzo	3599,3	0,008	2,5	74,6	1,0
Raíces					
Agosto	9797,8	0,149	126,1	3784,0	49,9
Octubre	12930,4	0,025	27,9	837,9	11,1
Noviembre	9762,4	0,012	10,0	301,1	4,0
Enero	3591,9	0,008	2,5	74,5	1,0
Marzo	2471,1	0,017	3,6	108,9	1,4
El Helado					
Agosto	11194,3	0,034	32,9	986,5	13,0
Octubre	19590,8	0,051	86,3	2589,7	34,2
Noviembre	13984,6	0,035	42,3	1268,7	16,7
Enero	7018,6	0,008	4,9	145,5	1,9
Marzo	2264,2	0,055	10,8	322,8	4,3

Tabla A.3.5. Cálculo de la carga de nitrógeno total que ingresa Lago de Yojoa a través de los tributarios.

Época	Caudal (Q)	NT	Carga NT	Carga NT	Carga
	l.s^{-1}	mg.l^{-1}	kg.d^{-1}	Kg.mes^{-1}	Ton.a^{-1}
Yure					
Agosto	10056,8	0,4	354,5	10635,4	140,4
Octubre	7115,5	0,3	209,6	6289,2	83,0
Noviembre	12631,3	0,9	948,4	28451,3	375,6
Enero	5917,3	0,1	56,2	1687,1	22,3
Marzo	3948,5	0,7	238,1	7143,6	94,3
Cacao					
Agosto	1007,5	0,7	61,3	1838,4	24,3
Octubre	1334,0	0,4	41,5	1244,8	16,4
Noviembre	1431,7	0,6	69,0	2070,7	27,3
Enero	628,8	1,1	58,1	1743,9	23,0
Marzo	256,1	0,4	9,7	291,4	3,8
Varsovia					
Agosto	4459,3	0,3	120,6	3617,8	47,8
Octubre	10759,0	0,3	324,4	9732,7	128,5
Noviembre	12651,9	0,1	109,3	3279,4	43,3
Enero	7076,9	0,1	55,0	1650,9	21,8
Marzo	3599,3	0,4	138,1	4142,3	54,7
Raíces					
Agosto	9797,8	2,5	2096,0	62880,2	830,0
Octubre	12930,4	1,1	1260,2	37805,7	499,0
Noviembre	9762,4	2,9	2462,9	73888,1	975,3
Enero	3591,9	0,5	161,4	4841,3	63,9
Marzo	2471,1	2,7	581,2	17434,8	230,1
El Helado					
Agosto	11194,3	1,4	1344,4	40331,7	532,4
Octubre	19590,8	0,9	1528,5	45853,6	605,3
Noviembre	13984,6	0,8	958,2	28744,6	379,4
Enero	7018,6	0,4	212,2	6367,3	84,0
Marzo	2264,2	0,8	155,3	4659,8	61,5

Tabla A.3.6. Cálculo de la carga de nitrógeno y fósforo total que sale del Lago de Yojoa a través del canal de salida.

Época	Caudal (Q) (l.s ⁻¹)	Concentración (mg.l ⁻¹)	Carga (kg.d ⁻¹)	Carga (Kg.mes ⁻¹)	Carga (Ton.a ⁻¹)
Fósforo total					
Agosto	28730	0,008	19,9	595,7	7,9
Octubre	27453	0,079	187,4	5621,5	74,2
Noviembre	70201	0,035	212,3	6368,6	84,1
Enero	70042	0,008	48,4	1452,4	19,2
Marzo	91594	0,017	134,5	4036,0	53,3
Nitrógeno total					
Agosto	28730	0,869	2157,1	64712,8	854,2
Octubre	27453	0,277	657,0	19710,8	260,2
Noviembre	70201	0,516	3129,7	93891,9	1239,4
Enero	70042	0,480	2904,8	87143,5	1150,3
Marzo	91594	0,498	3941,0	118231,0	1560,6

Tabla A.3.7. Calculo carga de fósforo total por uso de suelo.

Microcuenca	Uso de suelo (km ²)*Coeficiente de exportación para el fósforo total (g.m ⁻² .a)			Carga de fósforo Total (Ton.a ⁻¹)		
	Urbano	Agrícola	Bosque	Urbano	Agrícola	Bosque
El Helado	2,09*0,1	23,82*0,05	16,37*0,01	0,21	1,19	0,16
Raíces	3,57*0,1	30,48*0,05	27,93*0,01	0,36	1,52	0,28
Las Balas	0,33*0,1	11,32*0,05	6,29*0,01	0,03	0,57	0,06
El Novillo	0,54*0,1	11,46*0,05	10,59*0,01	0,05	0,57	0,11
Horconcitos	1,56*0,1	20,83*0,05	24,35*0,01	0,16	1,04	0,24
La Pita	0,66*0,1	5,98*0,05	6,88*0,01	0,07	0,30	0,07
Conchas	0,55*0,1	4,03*0,05	4,87*0,01	0,06	0,20	0,05
Monteverde	0,42*0,1	5,79*0,05	7,52*0,01	0,04	0,29	0,08
La Joya	1,39*0,1	6,99*0,05	4,44*0,01	0,14	0,35	0,04
Sabanetas	1,04*0,1	14,47*0,05	2,89*0,01	0,11	0,72	0,03
Varsovia	0,69*0,1	15,49*0,05	37,47*0,01	0,07	0,77	0,37
Yure	0,44*0,1	9,50*0,05	25,042*0,01	0,04	0,47	0,25

(Castagnino, 1982).

Tabla A.3.8. Calculo carga de nitrógeno total por uso de suelo.

Microcuenca	Uso de suelo (Km ²)*Coeficiente de exportación para el nitrógeno total (g.m ⁻² .a)			Carga de fósforo (Ton.a ⁻¹)		
	Urbano	Agrícola	Bosque	Urbano	Agrícola	Bosque
El Helado	2,09*0,5	23,82*0,5	16,37*0,01	1,05	11,91	4,91
Raíces	3,57*0,5	30,48*0,5	27,93*0,01	1,78	15,24	8,38
Las Balas	0,33*0,5	11,32*0,5	6,29*0,01	0,17	5,66	1,88
El Novillo	0,54*0,5	11,46*0,5	10,59*0,01	0,27	5,73	3,18
Horconcitos	1,56*0,5	20,83*0,5	24,35*0,01	0,78	10,42	7,31
La Pita	0,66*0,5	5,98*0,5	6,88*0,01	0,33	2,99	2,06
Conchas	0,55*0,5	4,03*0,5	4,87*0,01	0,27	2,01	1,46
Monteverde	0,42*0,5	5,79*0,5	7,52*0,01	0,21	2,89	2,25
La Joya	1,39*0,5	6,99*0,5	4,44*0,01	0,7	3,5	1,33
Sabanetas	1,04*0,5	14,47*0,5	2,89*0,01	0,52	7,23	0,87
Varsovia	0,69*0,5	15,49*0,5	37,47*0,01	0,34	7,75	11,24
Yure	0,44*0,5	9,50*0,5	25,042*0,01	0,22	4,75	7,51

(Castagnino, 1982).

Tabla A.3.9. Calculo de carga de fósforo y nitrógeno por precipitación.

Precipitación (P) (mm.a ⁻¹)	Concentración de fósforo en la precipitación (CPP mg.l ⁻¹)	Concentración de nitrógeno en la precipitación (CNP mg.l ⁻¹)	Área del cuerpo de agua (m ²)	Carga de fósforo (QPP Ton.a ⁻¹)	Carga de nitrógeno (QNP Ton.a ⁻¹)
3 235	0,07	1	84 000	0,021	0,3

(Jørgensen & Vollenweider, 1988).

Tabla A.3.10. Calculo de carga de fósforo y nitrógeno artificial.

Número de Habitantes por área (Σh)	Carga anual per-capita de fósforo (EP g)	Carga anual per-capita de nitrógeno (NP g)	Carga de fósforo (QP _w Ton.a ⁻¹)	Carga de nitrógeno (QN _w Ton.a ⁻¹)
53 048	1 200	3 400	70,02	198,82

(Jørgensen & Vollenweider, 1988).

Tabla A. 3.11. Calculo de carga de fósforo y nitrógeno por cultivo de peces en jaulas.

Ton de tilapia al año	Contenido de fósforo en una Ton de tilapia (kg)	Contenido nitrógeno en una Ton de tilapia (kg)	Carga de fósforo (Ton.a ⁻¹)	Carga de nitrógeno (Ton.a ⁻¹)
9000	26	100	258	992

(Beveridge, 1986).

Anexo 4.

Tabla A.4.1. Medición de temperatura a diferentes profundidades, en los tres sitios de muestreo, durante el periodo estudiado en el Lago de Yojoa.

Profundidad (m)	Centro Norte			Centro			Centro Sur		
	Ago.	Nov.	Marzo	Ago.	Nov.	Marzo	Ago.	Nov.	Marzo
	°C								
0	28,05	27,1	26,9	29,4	26,6	26,7	29,4	26,7	26,2
1	28,5	27,1	26,8	29	26,6	26,5	29,3	26,5	26,2
2	28,6	27,1	26,8	28,7	26,7	26,4	29,2	26,3	26,2
3	28,5	27	26,5	28,7	26,7	26,5	29	26,3	26,4
4	28,3	26,7	26,3	28,7	26,8	26,4	29,2	26,2	26,6
5	28,1	26,7	26,2	28,5	26,7	26,3	29,2	26,1	26,5
6	28,1	26,6	26,2	28,5	26,7	26,4	28,9	26,2	26,6
7	28	26,7	26,2	28,5	26,7	26,6	29	26,4	26,6
8	28	26,5	26,1	28,4	26,7	26,3	29	26,5	26,8
9	28	26,5	26,1	28,5	26,7	26,3	29	26,4	26,8
10	27,9	26,5	26,1	28,5	26,7	26,2	29	26,5	26,7
12	27,8	26,4	24,8	28,3	26,6	24,9	28,8	26,4	26,5
14	27,9	26,4	24,4	27,7	26,6	24	28,5	26,4	26,6
16	27,4	26,4	23,9	27,4	26,7	23,8	28,4	26,7	26,3
18	27,1	25,8	23,7	26,6	26,2	23,7	27,5	26,5	24,3
20	26,9	26	23,3		25,8				
22	27	25,7	23,3		25,8				
23	25,6								

Tabla A.4.2. Resultado de la medición de oxígeno disuelto a diferentes profundidades, en los tres sitios de muestreo, durante el periodo estudiado en el Lago de Yojoa.

Profundidad (m)	Centro Norte			Centro			Centro Sur		
	Ago.	Nov.	Marzo	Ago.	Nov.	Marzo	Ago.	Nov.	Marzo
0	7,36	2,07	6,13	7,45	3,25	5,49	7,7	5,39	5,52
1	7,38	2,14	6,13	7,33	3,29	5,3	7,56	4,56	5,5
2	7,38	2,3	6,08	7,38	3,24	5,3	7,63	5,2	5,37
3	7,17	2,8	5,71	7,34	2,85	5,24	7,66	4,42	5,24
4	7,06	3,22	5,93	7,25	2,75	5,33	7,66	5,11	5,43
5	6,52	3,28	4,98	7,28	2,78	5,23	7,46	4,94	5,68
6	6,58	3,12	5,67	7,15	2,7	5,03	7,46	4,93	5,33
7	6,74	3,11	5,56	7,12	2,61	4,85	7,5	4,72	5,36
8	6,74	2,09	5,59	7,15	2,71	4,96	7,71	4,71	5,93
9	6,16	2,27	5,57	7,06	2,64	4,81	7,6	4,65	5,54
10	5,74	2,15	5,31	7,12	2,93	3,61	7,51	4,88	5,42
12	5,9	2,12	0,83	6,41	2,64	0,64	7,12	4,8	5,85
14	5,98	2,28	1,77	2,83	2,59	0,61	6,77	4,67	5,71
16	2,72	2,21	0,59	2,73	2,31	0,7	4,32	4,41	4,82
18	1,73	0,61	0,58	1,99	0,7	0,57	3,9	3,88	1,55
20	1,55	0,58	1,26		0,73				
22	1,73	0,62	0,72		0,48				
23	1,46								

Tabla A.4.3. Resultado de la medición del porcentaje de saturación de oxígeno a diferentes profundidades, en los tres sitios de muestreo, durante el periodo estudiado en el Lago de Yojoa.

Profundidad (m)	Centro Norte			Centro			Centro Sur		
	Ago.	Nov.	Marzo	Ago.	Nov.	Marzo	Ago.	Nov.	Marzo
	°C								
0	102	25	78	102,6	39,3	69,8	107,2	68,3	68,5
1	98,7	27,2	78	100,7	43,5	67,1	105,7	64	68
2	98,7	29,6	77,8	101,6	40	67	106	69,5	67,6
3	98	34,5	74,7	100,9	34,3	66	106,3	61	66,4
4	95,2	41,3	72,1	99,6	35,1	67,3	105,6	57,7	68,4
5	89,3	41,4	62,7	99,8	36	66	104,3	62,3	74,5
6	89,2	39,3	71,1	98	34,6	63,4	102,7	60	69,5
7	91,4	39,5	70,9	97,6	33,1	61,1	102,8	62,3	68
8	91,4	26,1	70,5	97,5	34,4	62,9	105,5	59,5	75,8
9	83,3	29	69,8	96,7	33,5	61,1	105	60,3	70,3
10	78	27,3	66,9	97,2	34,7	45,2	102,8	58,1	69
12	79,7	27	10,1	87,4	34	8	97,1	59,5	79,3
14	80,9	29,1	21,2	45,2	32,9	7,4	95	55,5	71,9
16	36	28,2	7,4	30,5	29,5	8,5	42,9	54,8	56,7
18	23,1	7,5	7,2	27,4	8,71	7,4	54,3	49,5	18,5
20	20,6	7,2	15		9,3				
22	23	8,2	8,7		5,7				
23	18,6								

Tabla A.4.4. Resultado de la medición del pH a diferentes profundidades, en los tres sitios de muestreo, durante el periodo estudiado en el Lago de Yojoa.

Profundidad (m)	Centro Norte			Centro			Centro Sur		
	Ago.	Nov.	Marzo	Ago.	Nov.	Marzo	Ago.	Nov.	Marzo
	°C								
0	7,9	6,66	8,52,	7,98	7,4	8,21	8,59	7,36	8,51
1	8,3	7,03	8,78	8,31	7,6	8,53	8,7	7,67	8,53
2	8,4	7,1	8,79	8,43	7,59	8,49	8,61	7,76	8,58
3	8,38	7,2	8,75	8,38	7,55	8,51	8,64	7,76	8,62
4	8,27	7,4	8,78	8,37	7,58	8,52	8,6	7,86	8,64
5	8,17	7,53	8,78	8,36	7,6	8,51	8,58	7,9	8,65
6	8,18	7,54	8,77	8,32	7,59	8,5	8,56	7,93	8,65
7	8,24	7,54	8,76	8,33	7,58	8,56	8,56	7,96	8,62
8	8,18	7,48	8,75	8,33	7,61	8,44	8,57	7,98	8,82
9	8,1	7,46	8,71	8,33	7,69	8,39	8,57	7,92	8,63
10	8,02	7,46	8,7	8,32	7,61	8,09	8,55	7,88	8,57
12	7,97	7,43	7,32	8,17	7,65	7,19	8,44	7,93	8,55
14	7,96	7,48	7,21	7,57	7,61	6,89	8,37	7,95	8,58
16	7,44	7,48	7,06	7,4	7,56	6,93	7,64	7,75	7,81
18	7,2	7,32	7,02	7,08	7,18	6,87	7,23	7,54	7,04
20	7,23	7,17	7		7,16				
22	7,22	7,16	6,95		7				
23	6,8								

Tabla A.4.5. Resultado de la medición de la conductividad eléctrica a diferentes profundidades, en los tres sitios de muestreo, durante el periodo estudiado en el Lago de Yojoa.

Profundidad (m)	Centro Norte			Centro			Centro Sur		
	Ago.	Nov.	Marzo	Ago.	Nov.	Marzo	Ago.	Nov.	Marzo
	°C								
0	135,2	159,8	152,8	135,3	163,5	146,8	136,7	159,8	138,8
1	135,3	163,3	146,4	134	161,9	149,9	134,7	160	146,5
2	134,9	162,9	145,8	134,3	162,9	146,5	135,6	160,2	147,3
3	135,9	134,9	174,4	133,8	162,3	143,1	135,5	159,6	149,1
4	135,3	161,1	146,3	134	162,4	143,1	135,1	160,2	141,7
5	136,8	162,1	147,4	134,4	162,5	143,4	135,2	159,3	137,5
6	136,4	162,3	146,1	134,1	162,1	143,2	135,6	160,5	136,9
7	135,6	162,3	145,9	134,7	162,5	142,8	135,3	158,6	140,4
8	136	162,6	146,1	134,3	162,4	144,8	135,1	160,4	140,8
9	137,3	162,2	146,1	134,1	162,6	146	135,3	160,4	141,2
10	140,6	162,3	146,3	134,3	162,4	150,3	135,5	160,1	141
12	138,5	162,5	159,3	132,7	161,7	158,6	136,1	160	141,7
14	138,7	161,9	158,9	142,1	162,5	163,5	136,7	159,2	141
16	150,6	161,7	161,9	153,8	164,2	166,3	149,7	159,2	151,1
18	168,3	192	162,4	186,8	162,7	167,6	180,2	160,2	169,3
20	173,2	197	165,3		214				
22	170,5	209	168,2		221				
23	233								

Anexo 5.

Tabla A. 5. 1. Concentración de cationes en el Lago de Yojoa (agosto, noviembre 2013 y marzo 2014).

Puntos de Muestreo	Profundidad (m)	Calcio (mg.l ⁻¹)			Magnesio (mg.l ⁻¹)			Sodio (mg.l ⁻¹)			Potasio (mg.l ⁻¹)		
		Ago.	Nov.	Mar.	Ago.	Nov.	Mar.	Ago.	Nov.	Mar.	Ago.	Nov.	Mar.
Centro Norte	0	24,2	25,65	25,32	2,02	1,7	1,21	2,6	2,63	2,29	1,63	1,58	1,31
	10	24,62	26,05	26,29	1,77	1,22	1,21	2,7	2,63	2,38	1,63	1,58	1,28
	23	30,46	33,67	30,3	1,77	2,67	1,3	2,7	2,93	2,38	1,63	1,78	1,4
Centro	0	23,78	25,06	23,68	1,77	4,05	1,11	2,5	1,56	1,88	1,63	1,39	1,69
	10	23,78	25,05	26,49	2,02	1,46	1,24	2,6	2,53	2,57	1,63	1,58	1,33
	22	32,06	29,46	27,94	3,4	3,77	0,95	2,6	2,73	2,31	1,73	1,68	1,27
Centro Sur	0	23,25	25,45	22,73	3,89	1,58	1,43	2,4	2,53	2,36	1,63	1,48	1,77
	10	23,25	25,06	22,57	2,92	5,06	1,46	2,5	1,6	2,72	1,63	1,42	1,72
	18		22,97	26,66		4,56	1,25		1,48	2,19		1,42	1,79

Tabla A.5.2. Concentración de aniones en el Lago de Yojoa (agosto, noviembre 2013 y marzo 2014).

Puntos de Muestreo	Profundidad (m)	Bicarbonatos (mg.l ⁻¹)			Sulfatos (mg.l ⁻¹)			Carbonatos (mg.l ⁻¹)			Cloruros (mg.l ⁻¹)		
		Ago.	Nov.	Mar.	Ago.	Nov.	Mar.	Ago.	Nov.	Mar.	Ago.	Nov.	Mar.
Centro Norte	0	90,31	90,31	65,9	4,43	8,32	2,53	2	1,0	10,8	nd	0,125	1,96
	10	91,53	90,31	70,78	4,79	6,3	2,48	2	1,0	8,4	nd	0,125	1,37
	23	113,5	123,3	102,5	3,37	5,14	1,1	2	1,0	1,0	nd	0,125	1,7
Centro	0	89,09	90,31	63,46	6,2	4,05	3,52	2	1,0	9,6	nd	0,125	1,91
	10	89,09	88,48	78,11	4,96	10,07	2,67	2	1,0	6	nd	0,125	1,21
	22	129,4	115,9	97,63	3,55	6,92	1,09	2	1,0	1,0	nd	0,125	1,51
Centro Sur	0	90,31	84,82	68,34	6,03	10,88	2,04	2	1,0	7,2	nd	0,125	2,44
	10	90,31	90,31	65,9	5,67	7,57	2,33	2	1,0	9,6	nd	0,125	1,68
	18	nd	91,53	97,63	nd	7,85	0,76	nd	1,0	1,0	nd	0,125	1,72

(nd: no determinado)

Anexo 6.

Tabla A.6.1. Resultado de la medición de nitrógeno a diferentes profundidades, en los tres sitios de muestreo, durante el periodo estudiado en el lago de Yojoa.

Épocas de muestreo	Centro Norte			Centro			Centro Sur		
	(0,3 m)	Centro (10-12 m)	Fondo (18 -24 m)	(0,3 m)	Centro (10-12 m)	Fondo (18 -24 m)	(0,3 m)	Centro (10-12 m)	Fondo (18 -24 m)
Nitrógeno total (mg.l ⁻¹)									
Agosto	0,429	0,479	1,237	0,188	0,724	3,072	0,465	0,505	
Noviembre	0,683	0,5	3,33	0,655	0,586	2,205	0,418	0,53	0,503
Marzo	0,891	0,782	0,909	0,649	0,734	1,012	0,54	0,679	0,903
N-Nitritos (mg.l ⁻¹)									
Agosto	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	
Noviembre	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Marzo	0,008	0,007	0,000	0,007	0,008	0,001	0,008	0,008	0,002
N- Nitratos (mg.l ⁻¹)									
Agosto	0,041	0,052	0,024	0,047	0,052	0,399	0,047	0,043	
Noviembre	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006
Marzo	0,088	0,077	0,028	0,291	1,093	0,028	0,028	0,028	0,028
N- Amonio (mg.l ⁻¹)									
Agosto	0,057	0,119	1,083	0,073	0,056	1,441	0,023	0,050	
Noviembre	0,328	0,269	3,047	0,266	0,254	1,831	0,165	0,203	0,193
Marzo	0,062	0,024	0,728	0,047	0,056	0,877	0,020	0,041	0,587

Tabla A.6.2. Resultado de la medición de fósforo a diferentes profundidades, en los tres sitios de muestreo, durante el periodo estudiado en el lago de Yojoa.

Épocas de muestreo	Centro Norte			Centro			Centro Sur		
	0,3 m	Centro	Fondo	0,3 m	Centro	Fondo	0,3 m	Centro	Fondo
Fósforo total (mg.l ⁻¹)									
Agosto	0,036	0,026	0,128	0,056	0,048	0,108	0,03	0,064	
Noviembre	0,019	0,021	0,408	0,019	0,017	0,162	0,033	0,021	0,031
Marzo	0,041	0,035	0,095	0,008	0,008	0,14	0,008	0,019	0,037
Fósforo reactivo disuelto (mg.l ⁻¹)									
Agosto	0,008	0,008	0,008	0,022	0,029	0,023	0,017	0,008	
Noviembre	0,008	0,008	0,288	0,008	0,008	0,119	0,008	0,008	0,008
Marzo	0,008	0,008	0,072	0,008	0,008	0,057	0,008	0,008	0,008

Anexo 7.

Tabla A.7.1. Composición cuantitativa del fitoplancton del Lago de Yojoa.

División Chlorophyta	Agosto	Noviembre	Marzo
<i>Chlorolobium sp</i>	54455	5530	
<i>Closteriopsis sp</i>	18850		
<i>Monoraphidium sp</i>	13566		
<i>Oocystis lacustris</i>	110307	34519	103211
<i>Scenedesmus sp</i>	25133		16085
<i>Coelastrum astroideum</i>	268088		
<i>Eudorina sp</i>	854533		
<i>Ankyra sp</i>		17762	
<i>Botryococcus braunii</i>		84454	
<i>Coelastrum microporum</i>		24130	
<i>Eutetramorus sp</i>		52281	3025283
<i>Schroederia sp</i>		26811	
<i>Chlamydomonas sp</i>			8042
<i>Quadrygula sp</i>			8042
<i>Nephrocytium sp</i>			20106
División Cyanophyta			
<i>Anabaena sp 1</i>	1284592	189351	148785
<i>Anabaena sp 2</i>	12566		
<i>Aphanothece sp</i>	491496	519457	1273380
<i>Chroococcus sp1</i>	209444	550959	616584
<i>Chroococcus sp2</i>	232483		
<i>Microcystis aeruginosa</i>	1.1E+08	1122697	3216690
<i>Oscillatoria sp</i>	25133		
<i>Anabaenopsis raciborski</i>	50266		
<i>Lyngbya</i>	25133	15751	36191
<i>Pseudanabaena sp</i>		154497	
<i>Merismopedia tenuissima</i>		221188	
División Bacillariophyta			
<i>Nitzschia sp</i>		2011	4021
<i>Cyclotella sp</i>	268422		37621
División Euglenophyta			
<i>Lepocinclis sp</i>	435644		
<i>Phacus sp</i>	25133		
División Dinophyta			
<i>Peridinium sp</i>		3016	4021

Tabla A.7.2. Especies de zooplancton en el Lago de Yojoa, durante la tres épocas de muestreo.

Phylum	Clase	Orden	Especies	Agosto	Noviembre	Marzo
Rotifera	Monogonta	Ploimida	<i>Collotheca sp</i>	X	X	
			<i>Trichocerca similis</i>	X	X	X
			* <i>Keratella americana</i>	X	X	X
			<i>Keratella cochlearis</i>	X		X
			<i>Euchlanis sp</i>	X	X	
			<i>Polyarthra sp</i>	X	X	
			<i>Lepadella rhomboides</i>	X		
			<i>Hexarthra intermedia</i>		X	X
			<i>Lecane pumila</i>			X
			<i>Brachionus angularis</i>			X
			<i>Conochilus sp</i>			X
			<i>Epiphanes macrourus</i>			X
			<i>filinia opiliensis</i>			X
			<i>Monostyla lunaris</i>			X
	Flosculariaceae		<i>Ptygura sp</i>	X	X	x
	Dinigonte	Bdelloidea	<i>Bdelloidea sp</i>	X		
Gastrotrichia			<i>Chaetonotus similis</i>		X	
Artropoda	Branchiopoda	Cladocera	<i>Daphnia pulex</i>	X	X	X
			<i>Diaphaosoma branchyrum</i>	X	X	X
			* <i>Ceriodaphnia lacustri</i>	X	X	X
			<i>Bosmina longirostris</i>			X
	Copepoda	Ciclopoida	<i>Thermocyclops inversus</i>	X	X	X
			<i>Thermocyclops crassus</i>		X	
			<i>Mesocyclops thermocyclopida</i>			X
		Calanoida	<i>Artodiaptomus dorsalis</i>	X	X	X
	Estadios larvales y juveniles de Copepodos		<i>Copepoditos Cyclopoida</i>	X	X	X
			<i>Copepoditos Calanoida</i>	X	X	X
			* <i>Nauplios</i>	X	X	X
	Insecta	Diptera	<i>Chaoborus sp</i>	X	X	X
	Ostracoda	Podocopoida	<i>Cyprinotus sp</i>	X		X
			<i>G.n.i.</i>	X	X	
<i>Limnocythere sp</i>				X		

Tabla A.7.3. Composición cuantitativa del zooplancton en el Lago de Yojoa

Especies	Agosto (2013)	Noviembre (2013)	Marzo (2014)
Rotifera			
<i>Collotheca sp</i>	422	10	
<i>Trichocerca similis</i>	26	60	52
* <i>Keratella americana</i>	6194	435	13789
<i>Keratella cochlearis</i>	61.5		49
<i>Euchlanis sp</i>	51	73	
<i>Polyarthra sp</i>		36	
<i>Lepadella rhomboides</i>	328		
<i>Hexarthra intermedia</i>		87	X
<i>Lecane pumila</i>			45
<i>Brachionus angularis</i>			8
<i>Conochilus sp</i>			589
<i>Epiphanes macrourus</i>			491
<i>filinia opiliensis</i>			X
<i>Monostyla lunaris</i>			49
<i>Ptygura sp</i>	422	62	737
<i>Bdelloidea sp</i>	76		16
<i>Chaetonotus similis</i>		14	
Cladocera			
<i>Daphnia pulex</i>	1009	713	377
<i>Diaphanosoma branchyrum</i>	3630	545	590
<i>Ceriodaphnia lacustri</i>	3517	1195	3930
<i>Bosmina longirostris</i>			X
Ciclopoida			
<i>Thermocyclops inversus</i>	2837	1654	3272
<i>Thermocyclops crassus</i>		1016	
<i>Mesocyclops thermocyclopida</i>			422
Calanoida			
<i>Artodiaptomus dorsalis</i>	1650	600	1951
<i>Estadios larvales y juveniles de Copepodos</i>			
<i>Copepoditos Cyclopoida</i>	4007	3994	1471
<i>Copepoditos Calanoida</i>	3017	1430	4285
* <i>Nauplios</i>	28564	11656	9284
Diptera			
<i>Chaoborus sp</i>	229	196	139
Ostracoda			
<i>Cyprinotus sp</i>	114		X
<i>G.n.i.</i>	16	X	
<i>Limnocythere sp</i>		96	

Anexo 8

Anexo.8.1. Floración algal en el Lago de Yojoa.

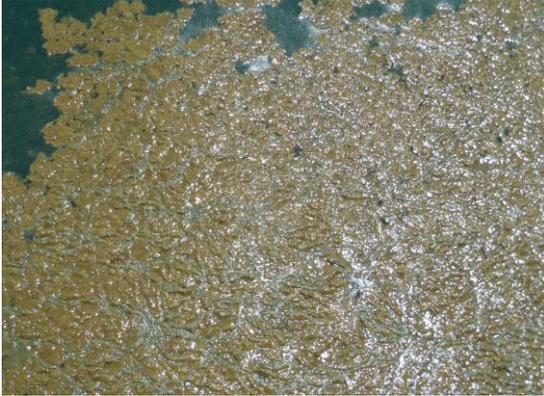


Foto 1. Marzo 2013.



Foto 2. Agosto 2013.



Foto 3. Noviembre 2013.



Foto 4. Marzo 2014.

Anexo.8.2. Especies del aporte del fitoplancton encontrado en el Lago de Yojoa

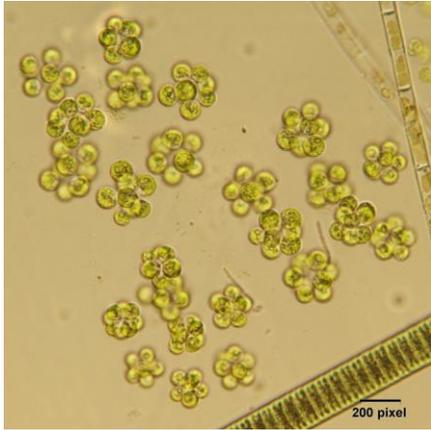


Foto 1. *Eutetramorus fottii*.

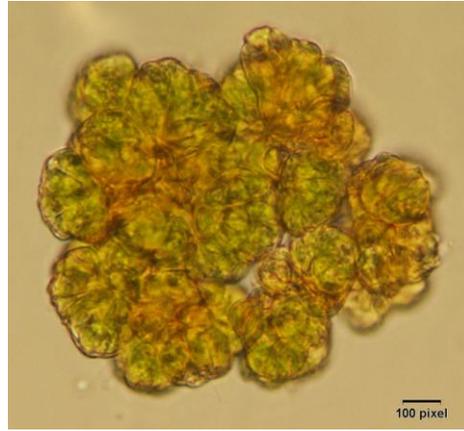


Foto 2. *Botrycoccus braunii*

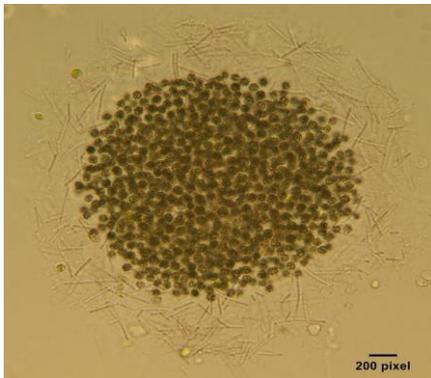


Foto 3. *Microcystis* y *pseudoanabaena*.

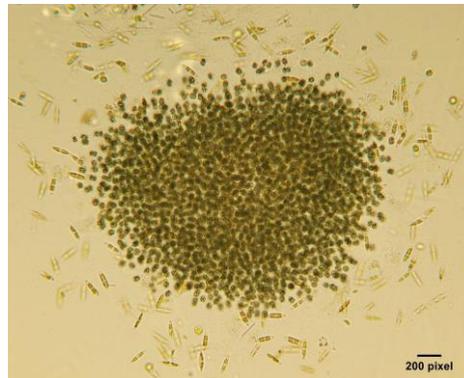


Foto 4. *Microcystis* y *Nitzscha palea*.

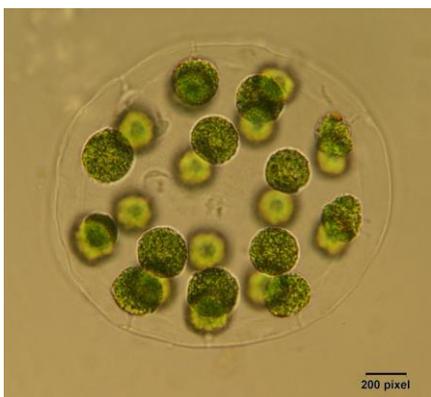


Foto 5. *Eudorina elegans*.

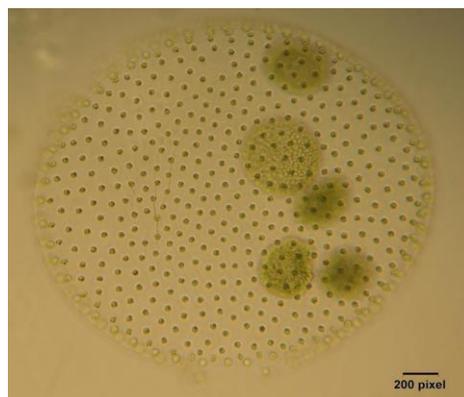


Foto 6. *Volvox*.



Foto 11. *Aulacoseira*.

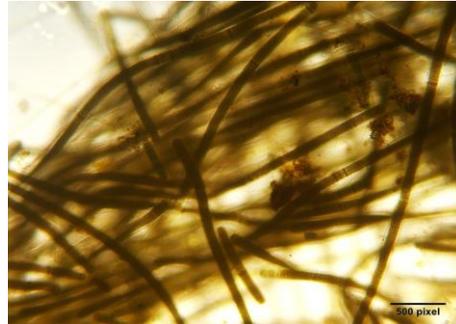


Foto 12. *Lyngbya*.

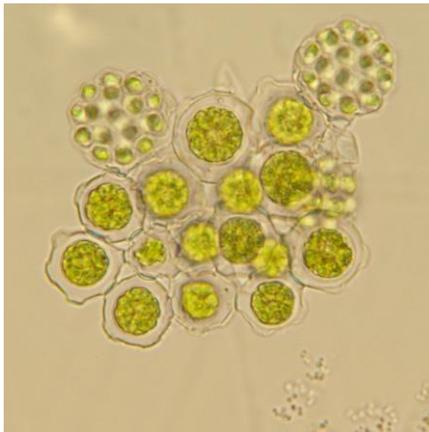


Foto 13. *Coelastrum*.

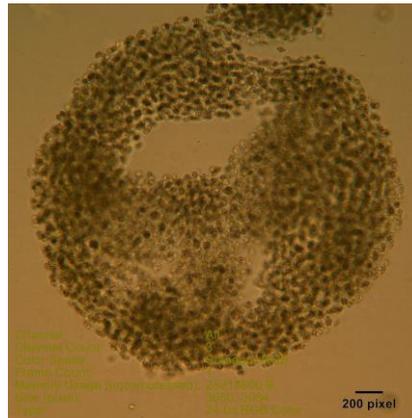


Foto. 14 *Microcystis*.



Foto 15. *Lyngbya hieronymusii*.



Foto. 16. *Eutetramorus poliococcus*.



Foto 17. *Staurastrum leptocladum*.



Foto 18. *Oocystis lacustris*.

Fuente: Laboratorio Hidrobiología. CIRA-UNAN.