



UNIVERSIDAD DE OVIEDO

FACULTAD DE GEOLOGÍA

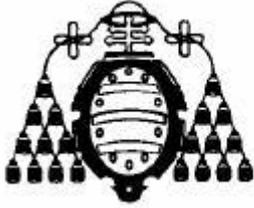
TEMPORALIDAD DE PARÁMETROS DE CALIDAD EN EL LAGO DE YOJOA, HONDURAS

TRABAJO FIN DE MÁSTER



LAURA OTERO BORREGÁN

JULIO, 2011



UNIVERSIDAD DE OVIEDO
Departamento de Geología

C/Jesus Arias de Velasco s/n. 33005 Oviedo.
Tfno.: 98 510 31 04/02/18. Fax 98 510 31 03
e-mail: geodir@asturias.geol.uniovi.es

D. Carlos Ignacio Salvador González, Profesor Titular del área de Estratigrafía y D. Agustín Martín Izard, Director del Departamento de Geología de la Universidad de Oviedo,

AUTORIZAN

A D^a. Laura Otero Borregán , para que presente el Trabajo fin de Master titulado: “TEMPORALIDAD DE PARÁMETROS DE CALIDAD EN EL LAGO DE YOJOA, HONDURAS”, para optar al título de Máster “Recursos Geológicos y Geotecnia”.

Lo que manifiestan en calidad de Directores del mismo, en cumplimiento de las normas vigentes en ésta Universidad.

Oviedo 11 de Julio de 2011

Fdo. Carlos Salvador González

Fdo. Agustín Martín Izard

AGRADECIMIENTOS

He de agradecer ante todo a Geólogos del Mundo en su Delegación de Asturias, y en especial a Astrid González Menéndez, la oportunidad que me han dado para desarrollar una labor tan gratificante como es la colaboración humanitaria en países en vías de desarrollo, y al mismo tiempo poder conocer parte de Honduras y así llevar a cabo este Trabajo de Máster. También, gracias a los compañeros de la ONG que participaron en el mismo.

En esta misma línea, agradecer a las contrapartes hondureñas, ASIDE, ESNACIFOR y muy especialmente AMUPROLAGO, por su constante colaboración en el desarrollo del proyecto y la logística facilitada para llevarlo a cabo, por brindarme su amistad y cuidar de nuestro bienestar en Honduras.

A todas las entidades que de algún modo han ayudado al desarrollo de este estudio, en particular a la ENEE, por facilitar documentación indispensable para el desarrollo de la investigación.

Dar las gracias a mis directores, Carlos Ignacio Salvador González y Agustín Martín Izard, por sus consejos y aportaciones, nadie mejor que ellos para dirigir este trabajo.

Y por último, no por ello menos importante, a mis padres, gracias por estar siempre apoyándome a lo largo de toda mi formación académica, sin vuestra ayuda esto no sería posible.

ÍNDICE

I.	Abreviaturas	v
II.	Resumen (Abstract)	vii
1.	Introducción	1
2.	Objetivos de la investigación	3
3.	Antecedentes de estudio	4
4.	Descripción de la región del Lago de Yojoa	10
4.1.	Situación geográfica y administrativa	10
4.2.	Geomorfología regional y local	13
4.3.	Suelos	15
4.4.	Clima	17
4.5.	Hidrología	18
4.6.	Biodiversidad	20
4.7.	Geología	21
4.7.1	Marco geológico regional	21
4.7.2	Tectónica Regional y Local	22
4.7.3	Estratigrafía regional y local	23
4.8.	Actividades que se desarrollan en la subcuenca del Lago de Yojoa	26
4.8.1.	Población	26
4.8.2.	Agricultura	27
4.8.3.	Ganadería y avícolas	28
4.8.4.	Acuicultura	29
4.8.5.	Restaurantes	30
4.8.6.	Minería	31
4.9.	Posibles fuentes de contaminación	33
5.	Parámetros físico-químicos analizados	35
5.1.	Metodología de trabajo	35
5.1.1.	Metodología: estudio con sonda multiparamétrica	38
5.1.2.	Metodología: estudio de muestras de agua para análisis en laboratorio	40
5.2.	Parámetros registrados	42
5.2.1.	Descripción de parámetros analizados en común: sonda y laboratorio	42
5.2.2.	Descripción de parámetros analizados exclusivamente por la sonda	44
5.2.3.	Descripción de parámetros analizados exclusivamente en el laboratorio	49
5.2.4.	Descripción de otros parámetros	59
6.	Resultados obtenidos y distribución estacional y espacial	62
6.1.	Resultados de parámetros comunes: sonda y laboratorio	62
6.2.	Resultados de parámetros analizados por la sonda	67
6.3.	Resultados de parámetros analizados en laboratorio	72
7.	Interpretación	88
7.1.	Síntesis	93
8.	Comparativa con estudios anteriores. Distribución temporal	94
9.	Estado trófico del Lago de Yojoa	111
10.	Índice de calidad del agua	114

11. Conclusiones	123
12. Bibliografía	124
13. Anexos	133

I. ABREVIATURAS

AFE: Administración Forestal del Estado, Honduras
AMUPROLAGO: Asociación de Municipios del Lago de Yojoa y su Área de Influencia
ASIDE: Asociación de Investigación para el Desarrollo Ecológico y Socioeconómico
BCH: Banco Central de Honduras
CASC: Centro Sismológico de América Central
CATIE: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
CCAD: Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo
CEDEX: Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, Ministerio de Fomento, España.
CEPIS: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.
CEPREDENAC: Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central.
CESCCO: Centro de Estudios y Control de Contaminantes, Tegucigalpa, Honduras
CIAT: Centro Internacional de Agricultura Tropical
COHDEFOR: Corporación Hondureña de Desarrollo Forestal
DIGERENARE: Dirección General de Recursos Naturales Renovables, Honduras.
ENEE: Empresa Nacional de Energía Eléctrica
EPFL: Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (Escuela Politécnica Federal de Lausana, Suiza)
ESNACIFOR: Escuela Nacional de Ciencias Forestales, Honduras
FAU: Formazine Attenuation Units (Unidad de turbidez de formacina)
FHIA: Fundación Hondureña de Investigación Agrícola
Fm: Formación geológica
FOHPREI: Ley del Fondo Hondureño de Preinversión
GEOMINH: Dirección General de Minas e Hidrocarburos, Honduras
GPS: Global Positioning System (Sistema de posicionamiento global)
ICE: Instituto Costarricense de Electricidad
INETER: Instituto de Estudios Territoriales Nicaragüenses
INSIVUMEH: Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, Guatemala.
MARENA: Manejo de Recursos Naturales en Cuencas Prioritarias
msnm: Metros sobre el nivel del mar
N.D.: No detectado
NORSAR: Array Sísmica Noruega
NTNAPH: Norma Técnica Nacional de Aguas Potables de Honduras
OCDE: Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos
OD: Oxígeno Disuelto
ORP: Potencial Oxido-Reducción
PDAC: The Prospectors and Developers Association of Canada
PSU: Unidad Práctica de Salinidad (Practical Salinity Unit)

RMS: Risk Management Solutions, EEUU
SAG: Secretaría de Agricultura y Ganadería, Honduras
SERNA: Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente Tegucigalpa, Honduras.
SNET: Servicio Nacional de Estudios Territoriales, Salvador
TAG: Ayudas de Asistencia Técnica (Technical Assistance Grant)
TSD: Total Sólidos Disueltos
UNAM: Universidad Nacional Autónoma de México
UNT: Nephelometric Turbidity Unit (Unidades Nefelométricas de Turbidez)
UP: Universidad de Panamá
UPM: Universidad Politécnica de Madrid
UPRN: Universidad de Puerto Rico, Mayagüez
USAID: Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional
USDA: Departamento de Agricultura de los Estados Unidos
PANACAM: Parque Nacional Cerro Azul Meambar, Honduras.
ECOLAGO: Fundación Ecológica Lago de Yojoa, Honduras.
COSUDE: Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación.
UNAH: Universidad Nacional Autónoma de Honduras.
ASECOVE: Asociación Ecológica Corazón Verde, Honduras.

II. RESUMEN

La idea de esta tesis surge como parte integrada en el proyecto de la ONG, Geólogos del Mundo, “Ampliación del Programa para la Regeneración Medioambiental del Lago de Yojoa” que se desarrolla en Honduras y que se ha dividido en dos fases, una primera etapa de Septiembre del 2009 a Mayo de 2010 y una segunda etapa de Agosto del 2010 a Junio de 2011. La mayoría de los datos con los que se va a trabajar en esta tesis pertenecen a dicha ONG, una parte de los cuales han sido tomados por la ponente y otra parte por el equipo desplazado a Honduras durante la primera fase del proyecto.

El Lago de Yojoa es un lago monomítico cuyas aguas se encuentran estratificadas y sólo se mezclan una vez al año en los meses de Diciembre-Enero tras una inversión térmica de sus aguas.

Se han analizado parámetros ambientales que caractericen la calidad y estado de las aguas superficiales del Lago, tanto por análisis en laboratorio como con sonda multiparamétrica, estableciendo cómo es actualmente la distribución espacial y estacional de ellos, a la vez que se hace una comparativa con estudios anteriores para diagnosticar cómo ha sido la evolución del lago en las últimas décadas.

Los resultados más relevantes son la presencia de una elevada contaminación microbiana, un enriquecimiento de las aguas en nutrientes (nitratos, nitritos, ortofosfatos y fósforo libre), una evolución en el estado trófico del lago que ha pasado de ser oligotrófico-mesotrófico a mesotrófico-eutrófico en la actualidad y un índice de calidad de aguas que las califica entre regulares y malas destacando un potencial crecimiento algal.

En cuanto a los posibles focos de contaminación que afectan las aguas, existen multitud de fuentes que influyen en esta degradación de la calidad y el estado del lago, a saber: agricultura, ganadería, acuicultura, hostelería, minería de metales pesados, falta de saneamiento de los municipios, educación ambiental de los habitantes de la subcuenca, etc.

ABSTRACT

The idea of this thesis emerges as an integrated part in the project of the NGO, Geologists of the World, "Extending the Environmental Regeneration Programme for Yojoa Lake" which takes place in Honduras and has been divided into two phases, first phase September 2009 to May 2010 and a second phase in August 2010 to June 2011. Most of the data that goes to work in this thesis belong to the NGO, some of which have been taken by the rapporteur and partly by the team traveled to Honduras during the first phase of the project.

Yojoa Lake is a lake whose waters are monomictic stratified and mixed only once a year during the months of December-January after an inversion of the water.

Environmental parameters were analyzed to characterize the quality and condition of the surface waters of the lake, both for laboratory analysis as multiparameter probe, establishing what is now the spatial and seasonal distribution of them, while making a comparative study previous to diagnose what has been the evolution of the lake in recent decades.

The most important is the presence of a high microbial contamination of waters enriched in nutrients (nitrate, nitrite, orthophosphate and phosphorus free), an evolution in the trophic status of the lake has changed from oligotrophic to mesotrophic, mesotrophic, currently eutrophic and a water quality index that calls between regular and highlighting poor algal growth potential.

As for potential sources of pollution affecting the waters, there are many sources that influence the degradation of the quality and condition of the lake, namely: agriculture, livestock, aquaculture, hotels, mining of heavy metals, lack of sanitation municipalities, environmental education of the inhabitants of the sub, and so on.

1. INTRODUCCIÓN

El estudio realizado se desarrolla en el Lago de Yojoa (su nombre deriva de Yoco-ha), que en lengua Maya significa “agua acumulada sobre la tierra” (AMUPROLAGO, 2007).



Fig. 1 – Delimitación del Área de Usos Múltiples del Lago de Yojoa

El Lago de Yojoa es la principal reserva natural de agua dulce del país. A su vez, está integrada por un área central catalogada como “Zona Recreativa Natural”, y se halla flanqueada por una zona circundante establecida bajo la categoría de “Área de Usos Múltiples” (Fig.1).



Fig. 2- Vista panorámica del Lago de Yojoa y los Parques Nacionales que lo rodean

Consecuencia de esta categoría, Zona de Usos Múltiples, el Lago de Yojoa se encuentra sometido a una fuerte presión ambiental, permitiendo que una gran cantidad de actores se beneficien de algún modo de su explotación, con actividades que repercuten de un modo directo e indirecto en el bienestar del lago y la calidad de sus aguas, como son, la minería de metales pesados, la agricultura, la acuicultura, la ganadería, la hostelería y la generación de energía eléctrica entre otros.

La subcuenca del Lago se encuentra rodeada por montañas, algunas de las cuales están catalogadas como parques nacionales: Parque Nacional Cerro Azul Meambar en la costa sur del lago y Parque Nacional Montaña de Santa Bárbara al norte (Fig.2) donde se concentra una alta riqueza de especies y ecosistemas importantes a nivel nacional.

2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Como objetivo principal de esta investigación, se ha planteado evaluar la calidad de las aguas del Lago de Yojoa, para lo que se analizan tres tipos de distribución, una primera estacional, observando si existen cambios en los registros en función de la estación seca o de lluvias de que se trate, una segunda espacial, observando la distribución superficial de los parámetros en el Lago presentando hipótesis acerca de las posibles fuentes de contaminación y una tercera temporal, comparando los resultados obtenidos en esta campaña con estudios previos, intentando así determinar si con el paso de los años han existido o no variaciones importantes.

Por otro lado, se calcula el ICA (Índice de Calidad del Agua) y se evalúa el grado de eutrofización del Lago.

Finalmente, se revisa la base bibliográfica existente en AMUPROLAGO con el fin de poder ampliar este trabajo en futuras investigaciones.

3. ANTECEDENTES DE ESTUDIO

Los informes de los estudios previos han sido soportes fundamentales para la realización de esta tesis: son bastantes completos y constan de información científica, económica, social y del ámbito medioambiental e hídrico tanto del Lago de Yojoa como de su Cuenca Tributaria.

En 1993, Vaux et. al, a través de USAID, realiza el primer estudio ambiental en el Lago de Yojoa, cuyo título es “Evaluación ambiental del Lago de Yojoa y su cuenca tributaria”. En este trabajo se analizan parámetros ambientales como son la temperatura, la conductividad, la alcalinidad, la dureza, la turbidez (transparencia de Secchi) y la concentración de nutrientes (nitratos y fosfatos). Pero la parte fundamental de su estudio se centra en clasificar el lago como cálido y monomítico, explica la existencia de una estratificación térmica de las aguas durante la mayor parte del año que solo se mezclan en los meses de Diciembre-Enero, es el primer autor que trata el concepto de inversión térmica en el lago y que destaca la elevada contaminación bacteriológica que presentan las aguas.

Sandoval (2003), parte integrante de la ENEE, revisa el trabajo realizado por Vaux et. al., y realiza un informe en él que caracteriza la naturaleza físico-química del lago, se identifican los focos, la intensidad y la naturaleza de la contaminación sobre el cuerpo de agua del lago; por otro lado se calcula el nivel trófico y se realizan recomendaciones para el control de las fuentes de contaminación detectadas.

Para la realización del trabajo realiza una campaña de campo y recogida de muestras durante 2001 y 2002 tanto en las propias aguas del lago (aguas superficiales y profundas) como en sus afluentes. Los parámetros analizados en este trabajo son físico-químicos generales (T, pH, conductividad, alcalinidad-metales alcalinos, dureza, Transparencia de Secchi y OD), microbiológicos (coliformes totales y fecales), agroquímicos (pesticidas organoclorados y organofosforados), nutrientes (N-NO₃, N-NO₂, N-NH₃ y PO₄³⁻) y metales pesados (Cu, Pb, Cd, Zn) a los que añade, por sus efectos, el Mn, Fe.

Compara los resultados obtenidos con los de Vaux et al, detectando una cierta tendencia ascendente de la mayoría de los parámetros, con un claro incremento de nutrientes en las aguas y una elevada contaminación bacteriológica. A su vez, destaca la importancia de no encontrar metales pesados ni pesticidas en las aguas.

Por otra parte, confirma la existencia de una estratificación térmica del lago, con una única época de mezcla de sus aguas, por tanto, caracteriza el lago como monomítico. En cuanto al estado trófico del lago, considera, basándose en la transparencia de Secchi y la concentración de nutrientes, que el Lago de Yojoa en un lago que califica de Mesotrófico a Oligotrófico.

Salvo los análisis microbiológicos, que se exceden, hay que destacar que ninguno de los valores registrados para los parámetros analizados supera los valores establecidos por la normativa para aguas potables vigente en el momento.

Sandoval declara que “la situación actual del Lago, en general, no es mala y que aún manifiesta buena salud aunque acompañada de ciertos achaques que requieren de una pronta intervención para evitar complicaciones posteriores”.

En 2002, House, en colaboración con AMUPROLAGO, realiza una revisión de la bibliografía ambiental, dividiendo el trabajo en dos partes; en la primera parte realiza una amplia descripción de la región de estudio (ubicación, área, topografía, geología, suelos, clima, hidrología-cuencas y áreas protegidas) y en la segunda hace un análisis ambiental de la zona (usos de la tierra, turismo, ecología, biodiversidad y amenazas).

La información recopilada y ordenada en este informe servirá de base para una planificación de Sitios de Conservación según la metodología de The Nature Conservancy (TNC). Cabe destacar que en sus anexos se muestra un inventario de la fauna y flora existente en la subcuenca del Lago.

En 2003, AMUPROLAGO, realiza un estudio cuyos objetivos están enfocados en ejecutar acciones estratégicas para la Cuenca del Lago de Yojoa. Se caracteriza por tener una abundante información técnica, científica y de conocimiento local del Lago, destacando una descripción del área de estudio, su caracterización biofísica, descripción de las características socioeconómicas, la caracterización legal e institucional y especificaciones sobre las distintas zonas de uso de la subcuenca del Lago.

Este Plan de Manejo o de Gestión se ha elaborado como un instrumento gerencial, armoniza las necesidades de conservación de la biodiversidad con los intereses locales y regionales; es flexible y consensuado o acordado con todos los actores claves involucrados; la inversión en su preparación es coherente con el tamaño del área, con su complejidad ecológica y social y con el momento de su desarrollo; contempla un financiamiento estratégico; es gradual, es decir, sigue un proceso de aproximación sucesivo (en que el nivel de detalle va aumentando gradualmente); es de carácter participativo (los niveles de interacción están vinculados a actores definidos); usa un vocabulario accesible para todos los usuarios, por lo que es de fácil comprensión; es realista y aplicable (tiene un componente fuerte de capacitación profesional); es estratégico, tiene una visión de largo plazo y por último define claramente las responsabilidades en su ejecución.

En 2006, los organismos SAG y MARENA desarrollan un trabajo en el que presentan, además de un completo análisis socio-económico y ambiental, un detallado estudio del balance hídrico de la subcuenca, donde se toman en cuenta todos los datos hidrológicos, meteorológicos y edáficos disponibles, usando un modelo numérico para los análisis del estado actual y de las previsiones futuras de

carácter hidrológico. En dicho balance hídrico, se deja patente que los aportes mensuales y acumulados son superiores a la descarga natural que soporta el Lago, considerando el balance general del Lago como positivo.

Por otra parte, se realiza un estudio de la calidad de las aguas de los seis tributarios principales del Lago (Canal-Río Yure y Varsovia, quebradas Las Balas, Raíces, El Cacao y Río Helado). En él, todos los parámetros analizados cumplen con la Norma Técnica de Aguas Potables vigente en el momento y se determina que existe una fuerte contaminación bacteriológica; además se observa una cierta estacionalidad de los caudales y de los parámetros físico-químicos estudiados, que presentan una cierta fluctuación marcada por las precipitaciones y el uso de los suelos de cada una de las microcuencas.

El informe final está dividido en cuatro partes; en la primera se realiza un diagnóstico del estado de los recursos hídricos (introducción, información socio-política, información físico-geográfica y una evaluación del contexto actual y potencial de la subcuenca del lago para la planificación de sus recursos hídricos); en la segunda parte, se desarrolla el Plan de manejo integrado de los recursos hídricos; en la tercera parte se realiza una propuesta consensuada de alternativas para la definición de una política sostenible de dichos recursos y por último, en la cuarta parte, se realiza una propuesta para el desarrollo de acciones reguladoras para coordinar y orientar la planificación de los recursos hídricos de la subcuenca.

En este trabajo, además, se acompaña de un Atlas Municipal, no sólo de la subcuenca del Lago, sino de cada una de las doce microcuencas que la constituyen. A nivel de la subcuenca se realizan mapas de caracterización general, como características físicas del territorio, localización de municipios, distribución de la población y presión demográfica, procedencia del agua y servicios sanitarios de las viviendas, alumbrado y energía. A nivel de microcuenca se realizan siete mapas en detalle de cada una de ellas, localización y caracterización general, elevaciones, pendientes, cobertura del suelo, geología, conflictos de usos del suelo y ordenamiento territorial.

En 2006, Sandoval, retoma el estudio que él mismo había elaborado 5 años atrás, realizando una comparativa en el tiempo de los mismos parámetros analizados en el Lago de Yojoa, y aunque existe cierta tendencia positiva de algunos de los parámetros estudiados, no observa grandes cambios con respecto a los resultados obtenidos años atrás, y concluye que la caracterización realizada en el año 2001-2002 sigue vigente en 2006.

En 2007, Remonti et al. trabajando para la ONG Geólogos sin Fronteras, elabora un cuadro descriptivo de las características geológicas, hidrogeológicas y ambientales del lago, además del desarrollo de un balance hídrico.

Cabe destacar en este estudio la presencia de un marco geológico-estructural muy completo de la subcuenca del Lago, con una detallada

información estratigráfica de los alrededores del Lago, acompañada de fotografías identificativas de la mayoría de las Formaciones presentes.

En cuanto a las conclusiones realizadas del balance hídrico se puede resumir que: Los aportes generales de aguas recibidas exceden a las demandas de dicho recurso, por tanto, el balance general es positivo. Aunque este comportamiento no es uniforme a lo largo del año hidrológico, durante la época de estiaje los volúmenes de agua extraídos exceden al aporte de los caudales registrados en todas las microcuencas que forman parte del área de captación del lago. Estas reducciones significativas, no sólo afectan al volumen disponible del lago, sino que también repercuten en la dinámica de expansión de los usos de la tierra de los alrededores del espejo, reduciendo por tanto la capacidad de almacenamiento del Lago. No obstante, en otros meses se observa un comportamiento positivo de almacenaje, que podría indicar un balance de fuerzas, compensando los meses de estiaje y obteniendo un balance hídrico global positivo.

Por otra parte, se recalca la idea de que existe un flujo subterráneo regional en rocas fisuradas carbonatadas y volcánicas, con dirección de flujo del SSW a NNE, aproximadamente perpendicular la costa atlántica. El Lago recibe aportes principalmente de la escorrentía de las aguas superficiales y en menor medida de aguas subterráneas.

En 2007, Studer perteneciente a la EPFL, trabajando en colaboración con CESCO, AMUPROLAGO y SERNA presenta su trabajo fin de máster en el que evalúa una metodología que permita establecer el estado trófico del Lago de Yojoa, lo que implica el análisis de los parámetros que lo determinan. Con este fin se ejecutaron varias campañas de muestreo. Los principales parámetros evaluados son la clorofila, las diferentes formas de nitrógeno y fósforo, la transparencia Secchi y el oxígeno disuelto. Se determinaron las relaciones entre los diferentes parámetros y los resultados obtenidos se compararon con datos de otros años.

Studer determina que una parte importante de las concentraciones de las diferentes formas de nitrógeno y fósforo se encuentran en estado sólido, no disponible para el fitoplancton. Una estimación de los aportes anuales en fósforo y nitrógeno al nivel de la subcuenca del Lago de Yojoa, indica que el mayor aporte de fósforo proviene de las acuaculturas, aunque el estudio de las cargas de los afluentes, así como la estimación de los aportes desde las subcuenca indica que hay cantidades importantes de fósforo que se acumulan en el lago. La liberación de fósforo a partir de material sedimentado al fondo del lago es probablemente un proceso importante, que implica un aumento del crecimiento del fitoplancton. Se trata de una fuente interna de fósforo a la que se suman los aportes exteriores.

Respecto al nitrógeno parece ser la agricultura la que más aporta. Al parecer los aportes provenientes del ganado y de las aguas negras de la población tienen menor importancia respecto a su cantidad. No obstante habrá que

considerar igualmente la biodisponibilidad de estos aportes. La quebrada Raíces y Río Frío, que desembocan en la zona noroeste al lago, son los tributarios que más nutrientes aportan.

Aunque se determina que actualmente el factor limitante del crecimiento fitoplanctónico es el fósforo, indica que con el tiempo este factor podría pasar a ser el nitrógeno y concluye que en el Lago de Yojoa existe un cambio en el estado trófico durante los últimos diecisiete años, pasando de un nivel oligotrófico a uno meso-eutrófico, enriqueciéndose fuertemente en nutrientes. El Lago de Yojoa está en proceso de eutrofización.

En 2010, Geólogos del Mundo dentro del proyecto que sirve de soporte a esta Tesis, elabora un informe contemplando los aspectos más importantes de la contaminación de las microcuencas afluentes al Lago de Yojoa elaborando a su vez mapas de distribución. Realizan una primera clasificación de los focos de contaminación en función de su localización dividiendo éstos en fuentes extensas o difusas, cuando la contaminación se produce a partir de muchas fuentes pequeñas, cuya localización esta poco definida y fuentes localizadas o puntuales, cuando se observa un foco de contaminación de pequeña escala e identificable.

Para la elaboración de los mapas, hacen una segunda clasificación, esta vez basada en el tipo de actividad humana que lo provoca, dividiendo las fuentes de contaminación en urbana, agrícola e industrial.

En 2010, Díaz Gutiérrez, alumno de ESNACIFOR en colaboración con la ONG, Geólogos del Mundo, realiza un proyecto fin de carrera que consiste en hacer una comparativa entre dos zonas del Lago, por un lado las jaulas productoras de tilapias de la empresa Aquafinca Saint Peter, S.A y por otro lado, los restaurantes ribereños del lago. En ambas zonas, la presencia de *Eichornia crassipes*, también denominado Lirio Acuático, es muy elevada.

Los parámetros analizados en todos los puntos de muestreo fueron nitratos y orto-fosfatos, ya que son determinantes en el crecimiento de plantas acuáticas y, para complementar estos parámetros se midió el pH, la conductividad, el oxígeno disuelto (OD), el total de sólidos disuelto (TSD) y la salinidad del agua.

Los resultados mostraron que la mayor concentración de ortofosfatos fue registrada en el área de influencia de las casetas ribereñas y en menor concentración en el área comprendida por la empresa Aquafinca; en cambio, los nitratos presentaron valores similares entre los puntos medidos. La época en que se presentaron las mayores concentraciones de nitratos y ortofosfatos, según los resultados obtenidos durante el año 2010 ocurrió en la canícula (principios de Agosto).

El OD en la época lluviosa disminuye en la región donde se ubican las jaulas, sin embargo para el área de influencia de las casetas ribereñas, los valores tienden a mantenerse estables o subir. La conductividad eléctrica siempre se mostró alta en la región de las jaulas, en comparación con la zona de las casetas. Las mayores lecturas de transparencia con el disco Secchi fueron en el área productiva de Aquafinca y menor en el área de las casetas ribereñas.

Haciendo balance de todos los resultados obtenidos, clasifica el Lago de Yojoa en un nivel mesotrófico.

4. DESCRIPCIÓN DE LA REGIÓN DEL LAGO YOJOA

En este capítulo se pretende ofrecer una visión general de la geografía, geomorfología, climatología, hidrología, geología y estratigrafía, haciendo también referencia a los suelos y biodiversidad, pasando de una visión a nivel nacional y regional a una concreta en la subcuenca del Lago de Yojoa. Además de hacer una descripción de las principales actividades que se desarrollan en la subcuenca.

4.1. SITUACIÓN GEOGRÁFICA Y ADMINISTRATIVA

La República de Honduras, con capital en Tegucigalpa, se encuentra en el centro-norte de América Central, con una superficie de 112.492 Km², siendo la anchura máxima del país 360 Km de N a S y su longitud máxima de 676 Km de E a O. Sus límites físicos son al Norte el mar de Las Antillas o Caribe, al Sur El Salvador, el Océano Pacífico y Nicaragua, al Este el mar Caribe y al Oeste la república de Guatemala (Fig.3).



Fig. 3 – Mapa de Centro América

El Lago de Yojoa, está ubicado en el sector centro-occidental de Honduras aproximadamente a 125 km al noreste de la Capital, Tegucigalpa, y 75 km al sur de la Ciudad de San Pedro Sula entre los departamentos de Comayagua, Cortés y Santa Bárbara (Fig.4).

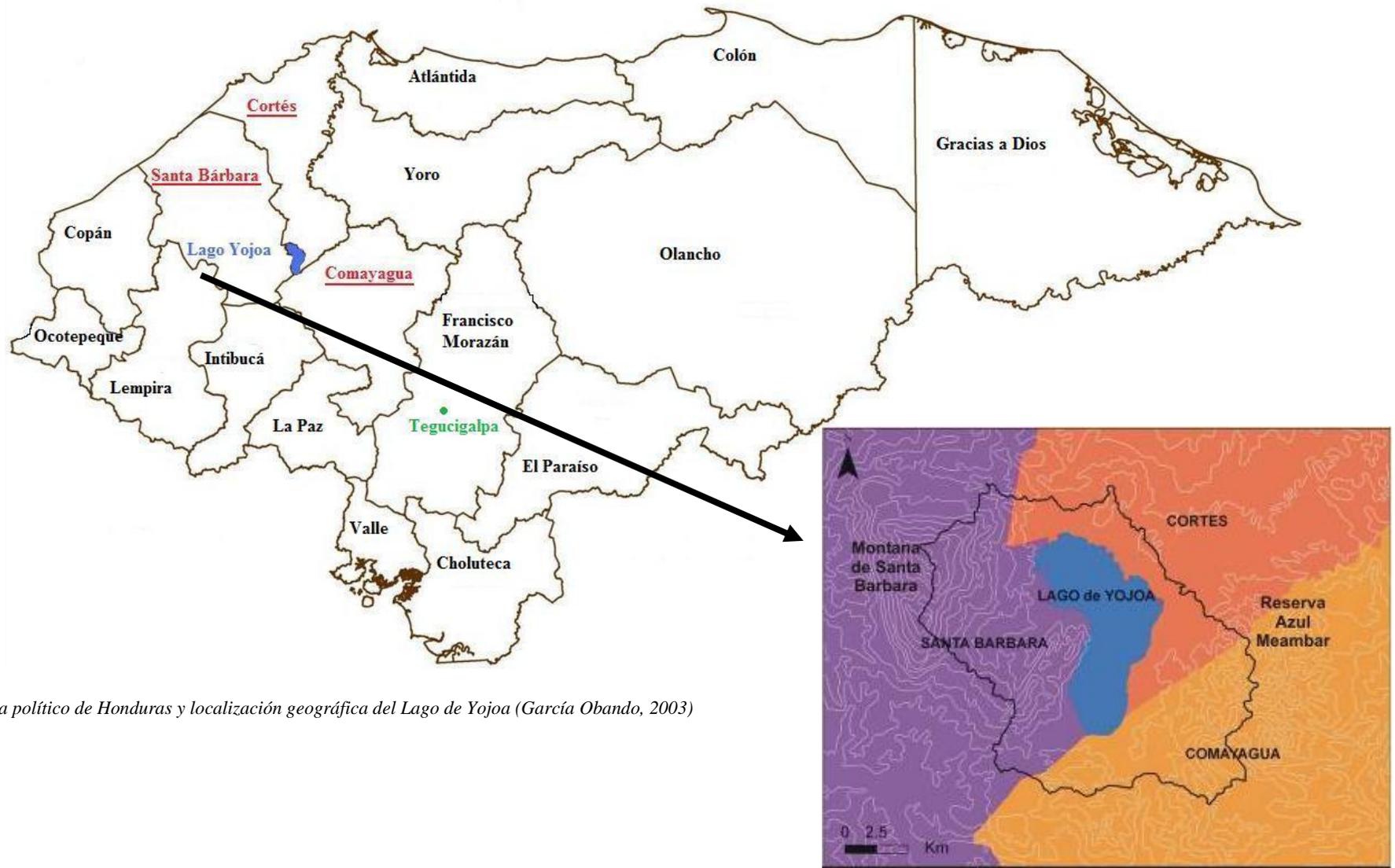


Fig. 4- Mapa político de Honduras y localización geográfica del Lago de Yojoa (García Obando, 2003)

Administrativamente, la subcuenca del Lago pertenece a nueve municipios: Concepción del Sur, Las Vegas, Meambar, San José de Comayagua, San Pedro Zacapa, Santa Bárbara, Santa Cruz de Yojoa, Siguatepeque y Taulabé (Fig.5).



Fig. 5 – Localización de municipios a los que administrativamente pertenece el Lago de Yojoa (SAG-MARENA, 2006).

Las áreas que comprenden cada uno de estos 9 municipios y a su vez el porcentaje que representan del área total de la subcuenca del Lago de Yojoa (Tabla 1), son:

MUNICIPIO	ÁREA (ha)	%
Concepción del Sur	474,35	1,33
Las Vegas	10.709,06	29,92
Meambar	319,76	0,89
San José de Comayagua	386,75	1,08
San Pedro Zacapa	3.159,47	8,83
Santa Bárbara	2.456,38	6,86
Santa Cruz de Yojoa	8.722,81	24,37
Siguatepeque	1.159,90	3,24
Taulabé	8.402,32	23,48
TOTAL	35.790	100

Tabla 1- Extensión y porcentajes de territorios municipales en la subcuenca del Lago de Yojoa. El cálculo del porcentaje no incluye la superficie del espejo de agua del Lago de Yojoa (SAG-MARENA, 2003).

El área de estudio está definida como Subcuenca del Lago de Yojoa y forma parte de la Cuenca del Río Ulúa (García Obando 2003; SAG-MARENA, 2006).

Esta subcuenca se estimada en unas 44.138 ha, de las cuales aproximadamente 8.348 ha pertenecen al espejo de agua.

El lago tiene una longitud de 16,2 km, una anchura promedio de 6,2 km, ocupando un área de aproximadamente 83,5 km² (García Obando 2003; SAG-MARENA, 2006).

En función a las coordenadas geográficas, el Lago de Yojoa se localiza a una Latitud entre 14°45' y 14°57' Norte y una Longitud entre 87°53' y 88°07' Oeste. A 635 m de altitud y está rodeado por grandes montañas que alcanzan alturas de más de 2.600 m de altitud, como la Montaña de Santa Bárbara y Cerro Azul Meambar.

4.2. GEOMORFOLOGÍA REGIONAL Y LOCAL

La morfología predominante de Honduras es montañosa, con elevaciones de más de 1.000 metros que en algunos puntos superan los 2.000, muy quebrada, con fuertes pendientes, el 60% de los suelos presentan pendientes mayores del 30% (Fig.6) y múltiples cerros y colinas conformando muchas microcuencas. Presenta gran variedad de materiales, sedimentarios, ígneos y metamórficos.

Desde el punto de vista fisiográfico, el país se puede dividir en varias regiones:

- Una región oeste que mezcla valles alargados en dirección norte sur, de fondo plano y límites abruptos, con altas elevaciones y fuertes pendientes.
- Una región montañosa central.
- Una región al este con montañas fuertemente separadas por valles rectilíneos.

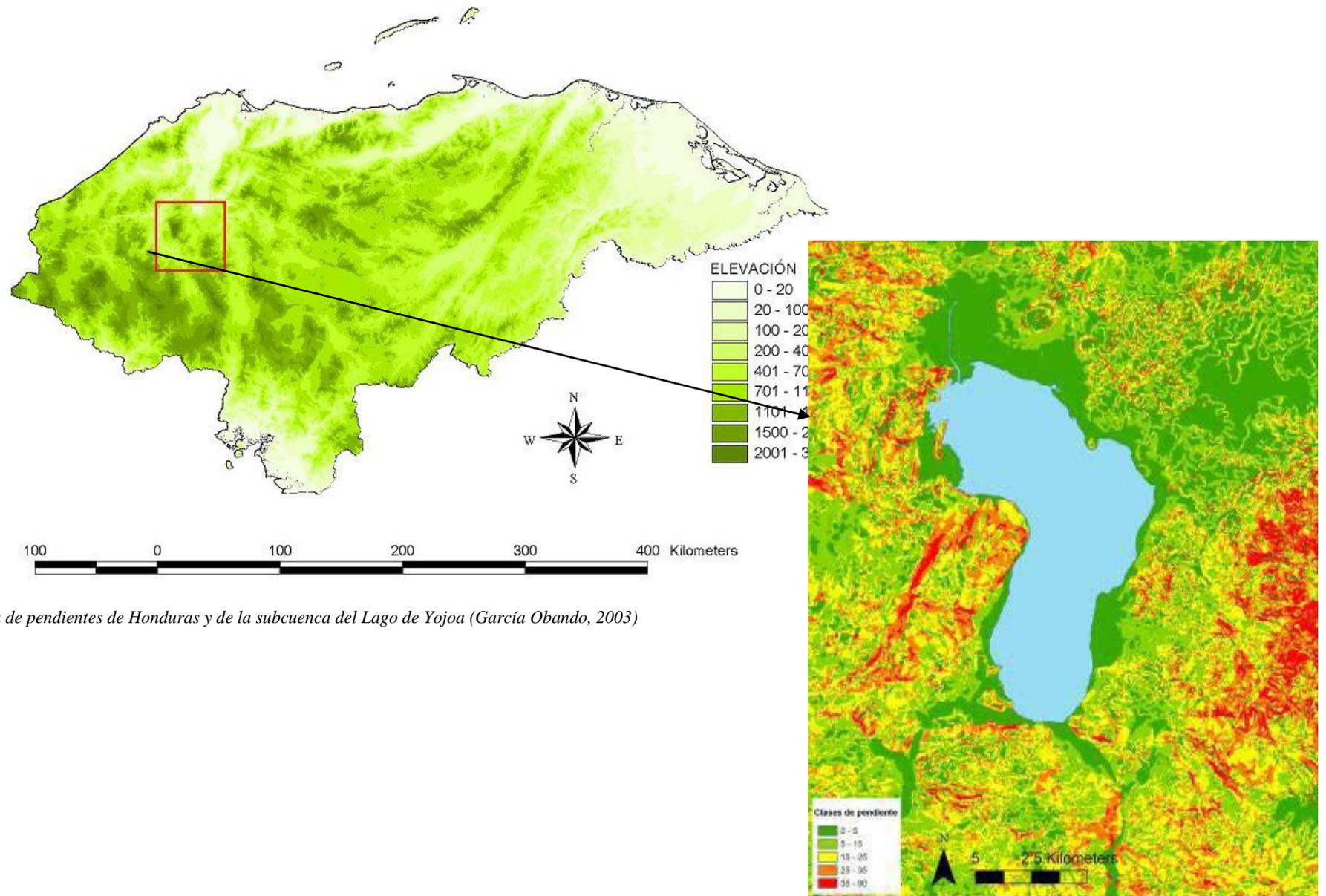


Fig. 6 – Mapa de pendientes de Honduras y de la subcuenca del Lago de Yojoa (García Obando, 2003)

Las características morfológicas del Lago de Yojoa se refieren a los datos presentados en el Plan de Manejo de la subcuenca del lago (AMUPROLAGO 2003) y están resumidas en la siguiente tabla (Tabla 2):

<i>PARÁMETRO</i>	<i>MEDIDA</i>
<i>Superficie</i>	83,5 Km ²
<i>Ancho Máximo</i>	6,2 Km
<i>Largo Máximo</i>	16,2 Km
<i>Profundidad Máxima</i>	28-29 m
<i>Profundidad promedio</i>	16 m
<i>Elevación Máxima</i>	628 msnm.
<i>Área de Cuenca Tributaria (García Obando, 2003)</i>	44 Km ²

Tabla 2 - Características morfológicas del Lago de Yojoa

4.3. SUELOS

Existe un mapa de suelos a nivel nacional, que fue realizado como parte del estudio denominado Proyecto Corredor Biológico Mesoamericano (CCAD, 2003).

La evolución de los suelos depende de varios factores, entre los principales destacan el material geológico, la pendiente local, el clima y el tiempo.

Un factor importante en el desarrollo de los suelos de la subcuenca del Lago de Yojoa, es el clima Tropical Húmedo, con temperaturas altas y lluvias abundantes, que en conjunto aceleran el proceso de descomposición de la materia orgánica y facilitan la filtración de los nutrientes del suelo (lixiviación), además de presentar una cobertura vegetal muy desarrollada e importante en su conservación.

En el año 2002, House desarrolla un Atlas de Honduras, donde se observa a escala detallada la clasificación de suelos existente en la subcuenca del Lago de Yojoa (Fig.7), identificando el nombre de cada tipo de suelos y las características físicas (Tabla 3) que presentan, la profundidad, el pH, el tipo de drenaje y la pendiente.

Como se puede observar en la distribución de suelos representada en el mapa, los suelos más extensos de la subcuenca del Lago de Yojoa son los suelos Sulaco, el material madre de estos suelos son las rocas calizas del oeste y sur del lago. La profundidad de estos suelos depende de la pendiente local, pero normalmente son delgados, de textura arcillosa y tienen buena retención del agua. En zonas de elevada pendiente estos suelos son aptos para cultivo de Café.

Existen áreas extensas de suelos tipo Chimizales entre el Lago y la montaña Cerro Azul Meambar. Estos suelos tienen una buena profundidad pero las pendientes en esta zona son muy elevadas.

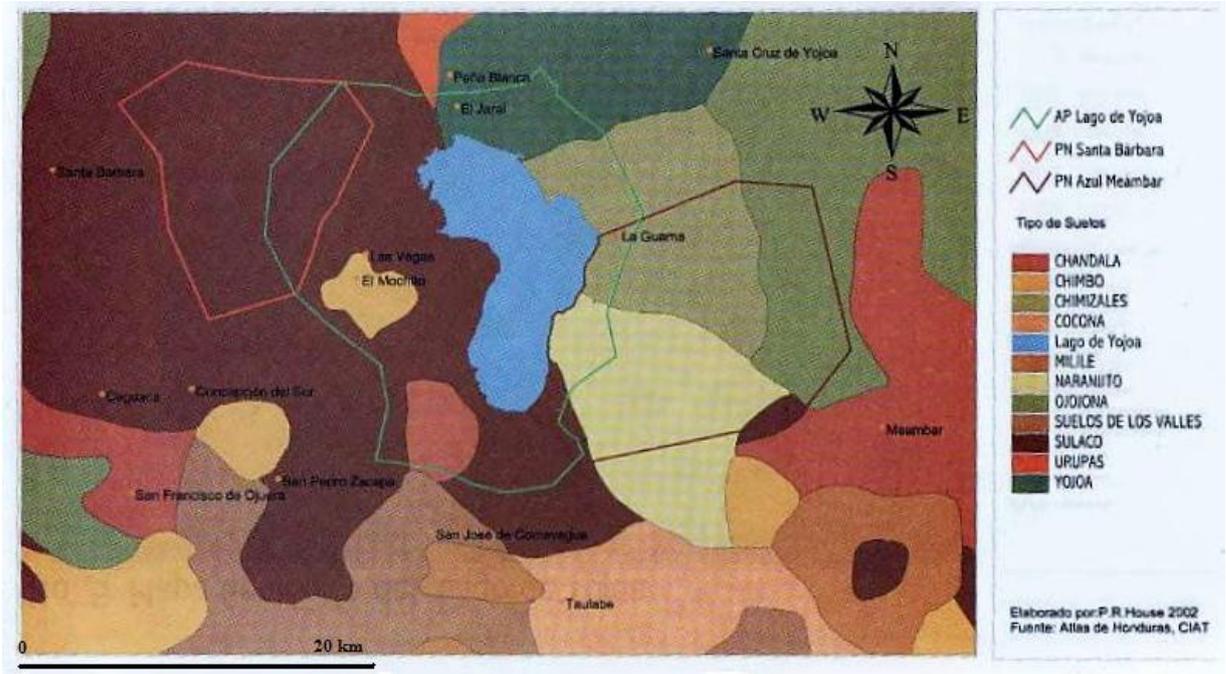


Fig.7 – Mapa de suelos de la subcuenca del Lago de Yojoa, (House, 2002)

NOMBRE	PROFUNDIDAD	DRENAJE	PH	PENDIENTE
<i>Chandala</i>	<i>Delgado</i>	<i>Bueno</i>		>50%
<i>Chimbo</i>	<i>Delgado</i>	<i>Bueno</i>	6	40%
<i>Chimizales</i>	<i>Profundo</i>	<i>Bueno</i>	6	>50%
<i>Cocona</i>	<i>Delgado</i>	<i>Bueno</i>	5-5,5	30-60%
<i>Milile</i>	<30cm	<i>Bueno</i>	6	30%
<i>Naranjito</i>	<i>Profundo</i>	<i>Bueno</i>	6	>50%
<i>Ojojona</i>	<i>Delgado</i>	<i>Bueno</i>	6,3	30-50%
<i>Suelos de los valles</i>	<i>Profundo</i>	<i>Moderadamente Bueno</i>	-	<30%
<i>Sulaco</i>	<i>Delgado</i>	<i>Bueno</i>	7	>60%
<i>Urupas</i>	-	<i>Moderadamente Bueno</i>	6	<30%
<i>Yojoa</i>	50 cm	<i>Bueno</i>	5	<20%

Tabla 3 – Características de los suelos de la subcuenca del Lago de Yojoa, (House, 2002).

Los suelos del norte del lago se han desarrollado sobre cenizas volcánicas y lava, formando el suelo tipo Yojoa que es un suelo profundo con drenaje moderado, buena a regular capacidad de retención de agua y textura franco-limosa*. Estos suelos son los más fértiles de la región.

* Se denomina Suelo Franco, aquel que presenta una proporción similar entre Arena, Limo y Arcilla. La mayor proporción de una fracción respecto a las otras dos, determina la denominación del suelo. Este término es reflejado en la clasificación de texturas de suelos realizada por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) (Fig.8)

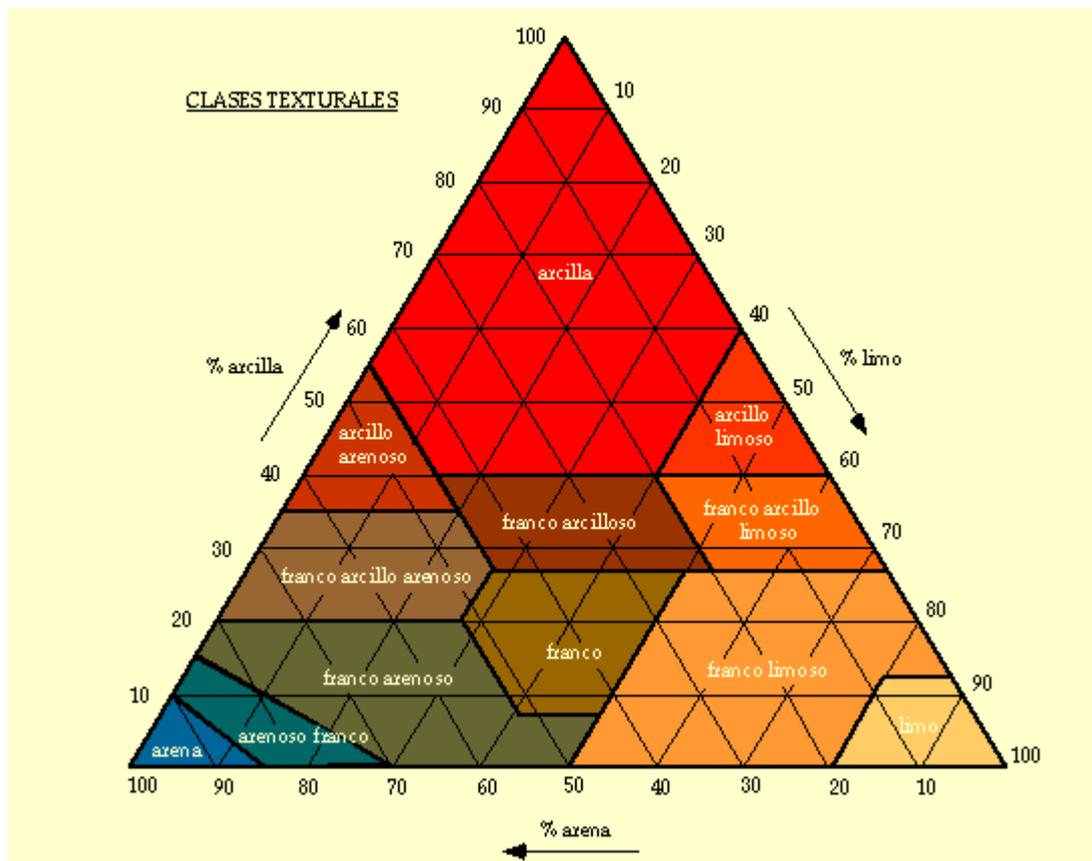


Fig. 8 – Triángulo textural de USDA L.L. Smith y Smith (2000).

4.4. CLIMA

En Honduras, debido a su localización geográfica, no se dan las características típicas de las cuatro estaciones del año que conocemos en las latitudes medias. Sólo existen dos estaciones, la estación seca (Noviembre a Abril con picos en Septiembre) y la estación lluviosa (Mayo a Octubre con picos en Abril).

El Lago de Yojoa es el lugar dentro del territorio hondureño con mayor precipitación pluvial del país (Zúñiga Andrade, 1990). En base a los datos históricos (Tabla 4) proporcionados por la ENEE de las estaciones meteorológicas de la subcuenca del lago, se puede precisar que los datos de precipitación oscilan entre un máximo anual de 3.494,5 mm registrado en la estación meteorológica del El Planón (Sta. Cruz de Yojoa) y un mínimo también anual de 2.007 mm registrado en El Sauce (Las Vegas).

AÑOS	ESTAC. METEO.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL ANUAL
1971-2009	SANTA ELENA	106,0	79,3	67,5	87,2	228,6	412,8	350,0	424,8	459,4	347,4	181,9	137,2	2882,1
1960-2009	PITO SOLO	115,1	134,9	61,4	95,4	111,5	221,7	585,5	335,0	546,9	505,9	202,7	21,2	2937,2
1984-2009	EL MOCHITO	58,6	43,1	35,8	42,7	161,4	336,5	354,1	393,1	428,9	264,2	121,9	76,5	2316,8
1960-2009	EL JARAL	145,6	101,5	66,0	75,1	204,0	373,6	471,5	473,6	523,9	345,9	217,8	153,6	3152,1
2005-2009	EL CIELITO	128,0	141,3	82,6	84,0	231,4	415,1	436,5	539,0	545,3	365,2	209,5	120,2	3298,1
1984-2009	LA JUSTOSA	119,7	83,7	72,0	72,9	191,2	349,0	503,0	506,3	562,2	322,8	215,3	163,7	3161,8
2005-2009	EL SAUCE	113,3	53,5	97,8	57,3	137,2	354,2	305,1	288,9	356,0	151,9	33,5	52,0	2000,7
2005-2009	HORCONCITOS	65,7	51,9	56,9	95,4	259,5	299,7	311,4	441,0	467,4	327,6	107,6	61,0	2545,1
2005-2009	EL PLANON	273,1	173,9	232,6	112,2	133,3	425,6	453,3	549,2	401,7	259,3	216,7	263,6	3494,5

Tabla 4: Síntesis de los datos históricos de precipitación (mm) de la subcuenca del Lago de Yojoa

Casi todas las estaciones meteorológicas en la subcuenca del Lago de Yojoa están ubicadas en elevaciones relativamente bajas alrededor del lago; por esta razón, las isoyetas de lluvia anual para la región no toman en cuenta la precipitación de las montañas de Santa Bárbara y Cerro Azul Meámbar, pero nos dan una idea general de los cambios de precipitación que ocurren alrededor del Lago.

Respecto a la temperatura ambiental, el promedio es de 23°C, variando de 20°C en Diciembre/Enero a 24,8°C en Mayo/Junio (Zúñiga Andrade, 1990).

Un factor importante en el comportamiento del Lago son los vientos Alisios que soplan de norte a sur, generando un ciclo que aumenta en intensidad por las tardes y disminuye por las mañanas.

4.5. HIDROLOGÍA

La subcuenca del Lago de Yojoa se encuentra en el noroeste del país y pertenece a la cuenca del Río Ulúa, que drena al Caribe y es una de las 19 cuencas hidrográficas de Honduras (Fig.9).

Los afluentes principales del Lago, dividen la subcuenca en 12 microcuencas. En total desembocan aproximadamente unos 25 afluentes al lago. Sus caudales son muy variables, pueden crecer rápidamente en la estación lluviosa, mientras que algunos se secan completamente durante el período seco. El promedio anual de aportes de todos los afluentes es de 11 m³/s (ESA-MARENA, 2007).

El recurso hídrico del Lago es utilizado por la ENEE para la generación de energía eléctrica. Esta empresa ha introducido cambios drásticos en la subcuenca del lago para maximizar la explotación hidroeléctrica de este recurso, aumentando el volumen y como consecuencia los niveles de agua del Lago.

El régimen hídrico natural del lago tenía originalmente dirección norte-sur y el drenaje del Lago se realizaba en la única salida que presentaba el lago en su extremo sureste.

Los cambios introducidos por la ENEE comienzan en las décadas de los años 60-70, modificando el régimen hídrico natural del Lago por construcción de tres represas.

Primero se construyó una represa al sureste para interrumpir la salida natural del agua del lago hacia el sur. Como consecuencia el nivel de agua en el lago subió un metro. Más tarde, en 1964, se construyó un canal al norte, siendo la nueva y única salida del lago (canal ENEE o Canal de salida), lo que implica que el flujo de drenaje sea el contrario al natural, y es en este canal donde se encuentran las instalaciones de generación de energía hidroeléctrica, Cañaveral-Río Lindo.

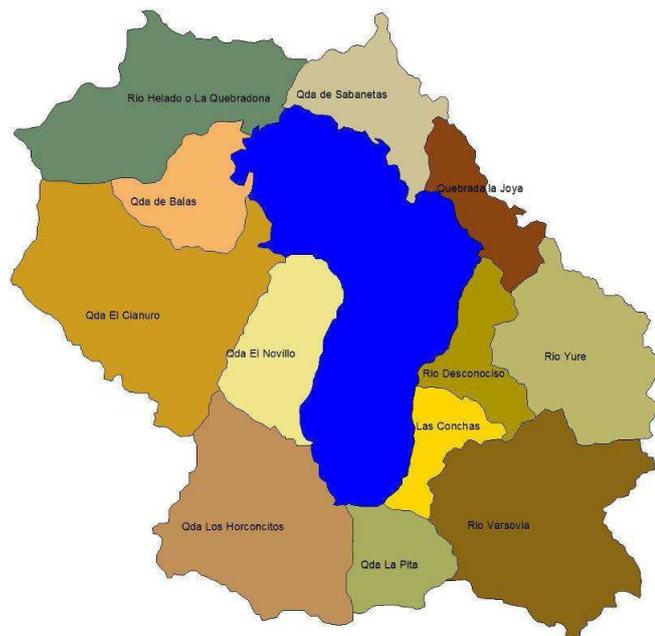
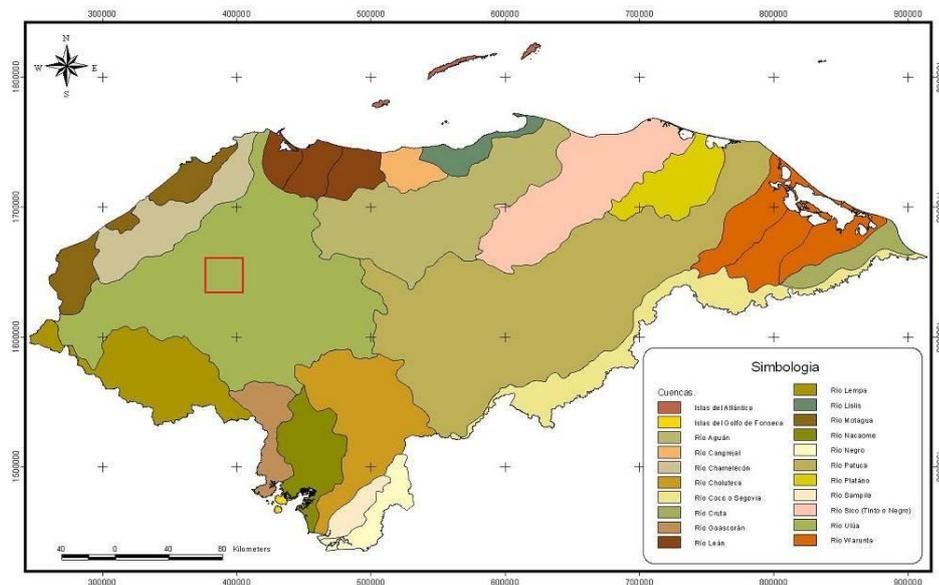


Fig. 9 – Mapa de cuencas hidrográficas de Honduras (SERNA). Mapa microcuencas del Lago de Yojoa (García Obando, 2003).

Otras dos represas fueron construidas en 1978 para desviar los ríos Yure y Varsovia (Fig.9). La introducción de estas dos microcuencas, incrementó la superficie de la subcuenca del Lago en un 27% y aumentó los aportes totales en 3,2 m³/s debido al caudal de río Yure y 2,3 m³/s gracias al río Varsovia (caudales según las estimaciones antes de las construcciones) (ESA-MARENA, 2007).

Por tanto, los niveles de agua del Lago están controlados por la ENEE, de acuerdo a su necesidad para la producción hidroeléctrica, sustituyendo así los posibles cambios estacionales en los niveles de agua del Lago. No existen datos sobre dichos niveles previos a la construcción del canal en el norte, sin embargo dado que está construido a 632 msnm, éste es ahora su nivel más bajo. Con la construcción de las represas de Yure y Varsovia, el nivel ascendió a 637 msnm. Cuando el lago está trabajando a su capacidad máxima, la variación del nivel entre la estación seca y la estación lluviosa es de apenas 5,5 m. (Betancourt y Dulin, 1978).

En base a datos proporcionados por la ENEE de los años 1991-2008, se conoce que el nivel medio de todos estos años se encuentra en 634,633 msnm.

4.6. BIODIVERSIDAD

El Lago de Yojoa, debido a su localización geográfica, clima característico con abundantes precipitaciones y temperaturas templadas, diversidad de pendientes y tipos de suelos, constituye un ecosistema con las condiciones óptimas para el desarrollo de una gran multitud de especies de fauna y flora.

Vaux et al. (1993) y más tarde House (2002), cuantificaron el número de especies de fauna y flora tanto acuática como terrestre presente en la subcuenca del Lago de Yojoa (Tabla 5), pudiendo demostrar con ello que es una de las regiones con mayor biodiversidad del país.

FAUNA Y FLORA	NÚMERO DE ESPECIES	% DEL TOTAL NACIONAL
<i>Plantas</i>	802	10,6
<i>Aves</i>	407	55
<i>Mamíferos</i>	54	23,6
<i>Anfibios</i>	31	44,2
<i>Reptiles</i>	72	43,6
<i>Peces</i>	29*	-

*Tabla 5: Biodiversidad de la subcuenca del Lago de Yojoa. * Actualmente no se conoce el número de especies de peces ya que la introducción de especies no autóctonas como Black Bass y Tilapia ha podido modificarlo.*

4.7. GEOLOGÍA

4.7.1. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

Honduras está situado en el noroeste de la placa tectónica del Caribe, justo al sur de la zona de contacto entre ésta y la Placa Norteamericana. El contacto entre la placa de Cocos (de naturaleza oceánica) y las placas del Caribe y Norteamericana (de naturaleza continental) conforman un margen tectónico activo, en el cual, la Placa de Cocos, más densa, subduce bajo las otras dos (Fig.10).

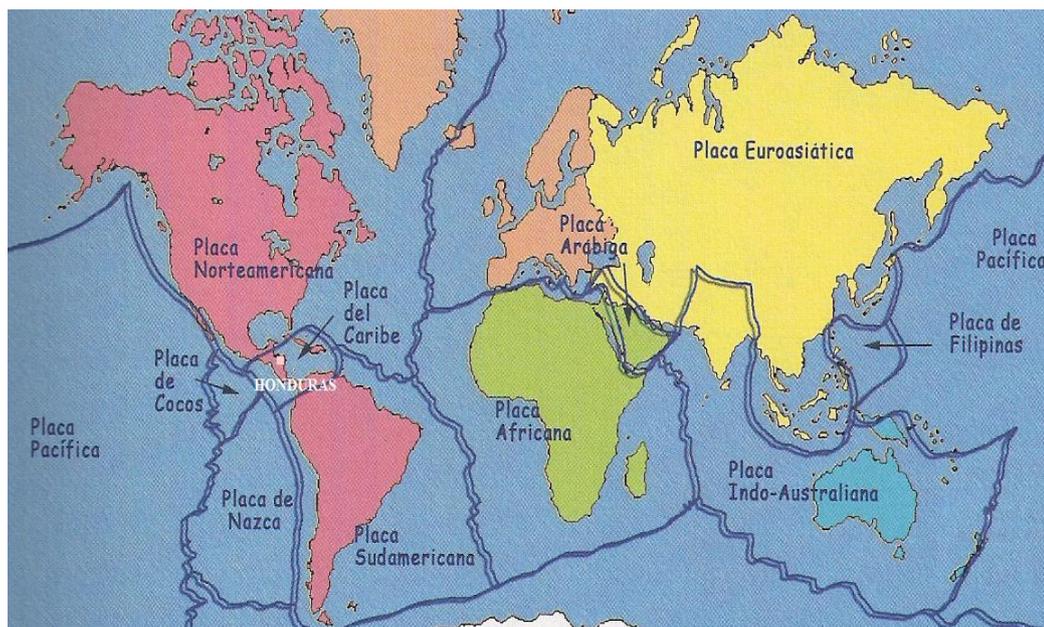


Fig. 10 – Distribución de las placas tectónicas y localización de Honduras

La subducción de la placa de Cocos bajo las de Norte América y del Caribe produce la formación de la Fosa Mesoamericana y el actual arco volcánico de Centro América.

El límite entre la placa tectónica de Norte América y la del Caribe está formado por los sistemas de falla de Polochic-Motagua (sur de Guatemala) en su parte terrestre, y por la continuación marina de este sistema, la fosa de las Caimán, todo el sistema de fallas tipo cizalla con desplazamiento levógiro. Este margen de placa es un escenario tectónico que produce una deformación intraplaca.

Aunque los datos geocronológicos, isotópicos y de paleomagnetismo, de la región comprendida desde el sur de Méjico hasta a América Central son muy limitados, escasos y poco fiables, Ortega-Gutiérrez et al. (2007), subdivide este territorio en bloques separados por fallas, reconociendo tres dominios tectonostratigráficos principales: Bloque Maya, Bloque Chortis y un conjunto de supuestos Terrenos Limitados por Fallas (TLF). (Fig.11,12)



Fig.11 – Contexto tectónico regional de América Central (Modificado de Silva y Mendoza, 2009)

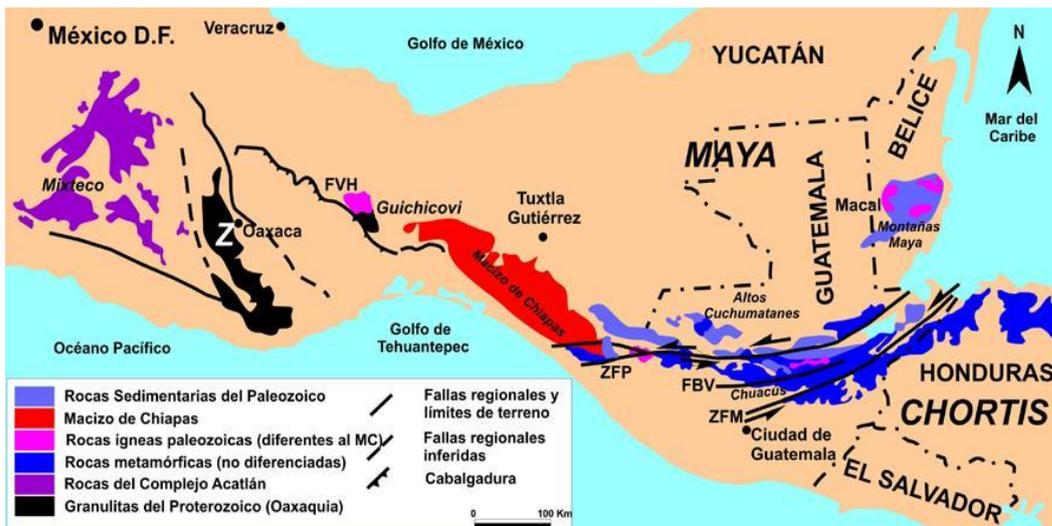


Fig. 12 - Mapa geológico de las rocas mesozoicas y paleozoicas expuestas en el sur de México y Centroamérica. Abreviaturas: FVH: Falla Vista Hermosa; FVB: Falla Baja Verapaz, ZFM: Zona de Falla Motagua; ZFP: Zona de Falla Polochic; Z: Terreno Zapoteco, (Modificado de Weber et al., 2009).

La República de Honduras se sitúa sobre el Bloque Chortis, que tectónicamente, se puede considerar como una gran región de deformación relacionada con el movimiento sobre el límite de placas. Dicha deformación está provocada por la rotación alrededor del sistema arqueado de fallas de Polochic-Motagua.

4.7.2. TECTÓNICA REGIONAL Y LOCAL

Existe una serie de “horst” y “grabens” orientados aproximadamente de norte a sur desde las montañas Mayas de Belice hasta el golfo de Fonseca, que se conoce en conjunto como "Depresión de Honduras", no existiendo una

continuidad entre ellos, sino más bien se trata de una zona de cuencas extensionales, bordeadas por fallas normales con rumbo norte-sur.

4.7.3. ESTRATIGRAFÍA REGIONAL Y LOCAL

El estudio estratigráfico más completo hasta el momento es el realizado por Remonti et al. 2007, recopilando la información publicada hasta la fecha.

La descripción de la columna estratigráfica (Fig.13) a nivel nacional, sería:

Sobre un zócalo paleozoico esquistoso (Esquistos de Cacaguapa) se sitúan discordantemente varias formaciones sedimentarias de edad mesozoica (Jurásico Inferior a Barremiense, Cretácico Inferior), depositadas bajo condiciones continentales o marinas someras. Estos materiales reciben el nombre de Grupo Honduras y se subdividen en la Formación Aguafría y una unidad siliciclástica Todos los Santos.

A continuación y concordante con el grupo anterior, se deposita el Grupo Yojoa (Barremiense-Albiense, Cretácico Inferior), constituido por una potente serie de rocas carbonatadas (corresponden a calizas arrecifales de aguas poco profundas), seguidas de unas rocas detríticas, tipo molasa de color rojo morado bien marcado y que se encuentran distribuidas por una amplia zona de Honduras, Noroeste de El Salvador y Suroeste de Guatemala.

El Grupo Valle de Ángeles, concordante sobre el anterior, se deposita entre Albiense (Cretácico Inferior) y el Maastrichtiense (Cretácico Superior). Está formado por rocas detríticas, conglomerados, areniscas, margas y calizas. Este Grupo está subdividido en Capas Rojas Inferiores y Capas Rojas Superiores, separadas por calizas (Miembros Jaitique y Esquías).

Existe un hiato que comprende el fin del Maastrichtiense (Cretácico Superior) y el principio del Paleoceno (Terciario).

De modo discordante sobre las calizas cretácicas, se deposita la Formación Matagalpa, de edad del Paleoceno al Oligoceno (Terciario). Es una unidad volcánica con coladas de andesitas, basaltos y sedimentos piroclásticos.

Por encima de esta formación, y concordante con la unidad volcánica, aparece el Grupo Padre Miguel, registrado desde Oligoceno al Mioceno (Terciario). Está constituida por un grupo de ignimbritas, tobas riolíticas y tobas andesíticas.

A finales del Terciario se produce un levantamiento global del “Bloque Chortis”, que provoca la erosión de los materiales descritos. Los productos de esta erosión fueron transportados y sedimentados en cuencas interiores, principalmente en las zonas de graben, o en las costas. La unidad estratigráfica correspondiente es

la Formación Gracias, registrada en el Plioceno y que está constituida por arenas y lutitas.

Durante el Cuaternario se producen emisiones basálticas en varios puntos del país, particularmente en la región al norte del Lago de Yojoa. Sobre éstas, se depositan de modo concordante depósitos aluviales.

ÉPOCA		FORMACIÓN	EVENTOS
CUATERNARIO	Holoceno	ALUVIAL	Distensión grabens
	Pleistoceno	Basalto	
TERCIARIO	Plioceno	Fm. Gracias	Levantamiento de Honduras (erosion).
	Mioceno	Grupo Padre Miguel	Subduccion Placa Cocos.
		Oligoceno	
	Eoceno	Fm. Matagalpa	
	Paleoceno		
CRETÁCICO SUPERIOR	Maastrichtiense	Grupo Valle de Ángeles	Fase Tectonica. Plegamientos Intrusivos. Sedimentos detríticos de cuenca(lagunas) en contexto continental.
	Campaniense		
	Santoniense		
	Coniaciense		
	Turonense		
	Cenomaniense		
CRETÁCICO INFERIOR	Albiense	Rocas Rojas Superiores	Migration del bloque chortis hacia el Este
	Aptiense	Grupo Yojoa Fm. Atima	
	Barremiense		
	Hauteriviense		
	Valangiense	Fm. Todos Los Santos	
	Berriasiense	Grupo Honduras	
JURASICO	Superior		Fase tectonica, plegamiento, metamorfismo, intrusivos.
	Medio	Fm. Aguafría	
	Inferior		
TRIASICO			Emersion continental.
PALEOZOICO		Esquistos Cacaguapa	Orogenesis mayor del fin del Paleozoico.

Fig. 13 - Columna estratigráfica de Honduras (Modificado de Rogers, R.D., 1992 y SERNA-GEOMINH-BRGM. (1987-1992)

En la subcuenca del Lago de Yojoa, cabe destacar la presencia de casi todos los grupos y formaciones anteriormente citadas: Grupo Honduras (Fm. Todos los Santos), Grupo Yojoa (Fm. Atima), Grupo Valle de Ángeles (Fm. Matagalpa), Grupo Padre Miguel y Depósitos Cuaternarios. Las excepciones en el

4.8. ACTIVIDADES QUE SE DESARROLLAN EN LA SUBCUENCA DEL LAGO DE YOJOA

4.8.1. POBLACIÓN

La distribución de la población en la subcuenca del Lago de Yojoa no es uniforme, de las 68 comunidades existentes en los alrededores del lago, la mayoría de ella se localizan en el norte, este y noroeste del lago, la zona suroeste es de difícil acceso y apenas presenta comunidades.

El 88% del total de la población se encuentran distribuidos en tres municipios, Santa Cruz de Yojoa al norte del lago, Las Vegas en el noroeste y Taulabé al sur (Fig.15).

Según datos de SAG-MARENA 2003, ese año residían aproximadamente 43.200 personas (10,000 familias) en las comunidades que rodean al Lago, actualmente esta cifra ha ascendido presentando un censo de 65.012 habitantes.

Ninguno de los asentamientos posee un adecuado tratamiento de sus efluentes, existiendo básicamente letrinas y fosas sépticas (Rivera et al., 2003). Además de no existir un correcto tren de aseo en muchas de ellas y por tanto es patente en algunas comunidades de la presencia de basureros ilegales o la quema de dichos desechos.

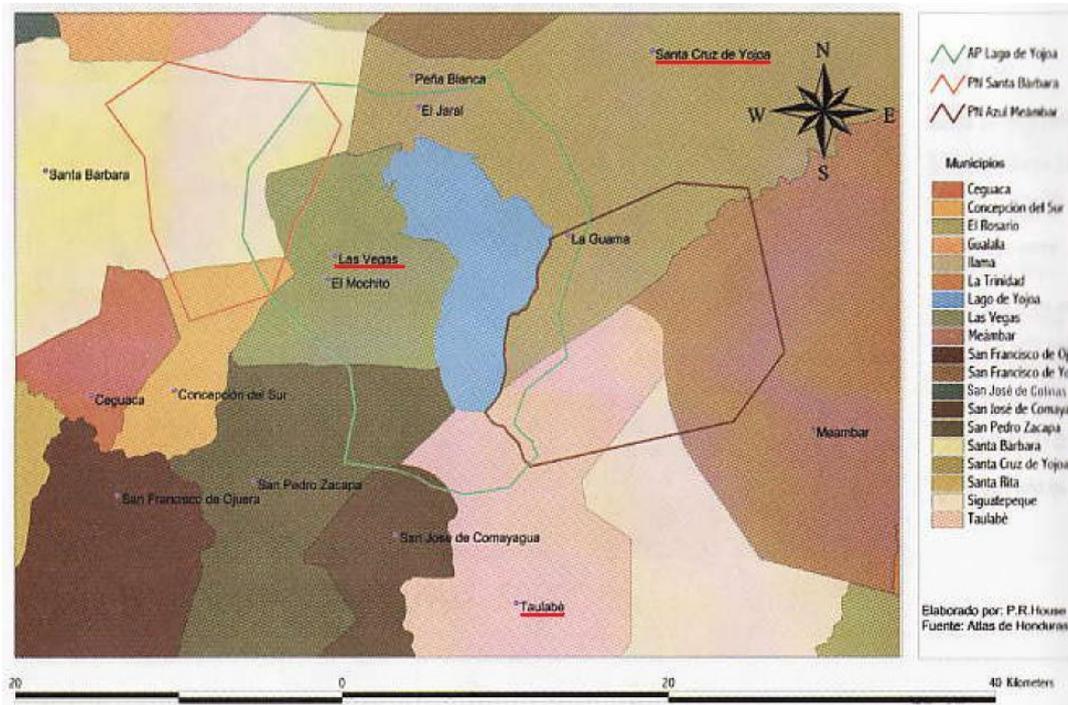


Fig. 15 – Mapa de distribución de los principales municipios de la subcuenca del Lago de Yojoa (House, 2002). Destacando en rojo los tres municipios más poblados.

4.8.2. AGRICULTURA

En la subcuenca del Lago de Yojoa existen 3.788 productores agrícolas, utilizando un área aproximada de 4.740 ha, siendo los cultivos más comunes: maíz, fríjol, café, caña, yuca, piña plátano, banano y camote (AMUPROLAGO, 2002).

En el estudio de García Obando (2003) citado anteriormente, se aprecia que aproximadamente en un tercio de la subcuenca hay un sobre-uso de la tierra, esencialmente en los terrenos con fuertes pendientes y actividades agrícolas inadecuadas.

En el trabajo de ESA y MARENA de 2007, se determinó la existencia de dos tipos de agricultura en la subcuenca del Lago de Yojoa: agricultura tradicional y agricultura con uso de tecnologías. La agricultura tradicional con fines de subsistencia, se refiere esencialmente a cultivos de granos básicos que se ejercen en terrenos de fuertes pendiente (mayores de 15%) esencialmente en las microcuencas en la zona sur del lago. En cambio, la agricultura que utiliza tecnología, corresponde a cultivos intensivos de piña, naranja, yuca, caña y café con fines comerciales que implican generalmente la aplicación de grandes cantidades de fitosanitarios (fertilizantes, insecticidas, herbicidas, etc.). Estas actividades se realizan en las zonas bajas y llanas de la subcuenca, sobre todo en las microcuencas que drenan al lago. Además de estos dos tipos de agricultura, también se desarrolla en cultivo en invernaderos. (Fig.16)



Fig. 16 – Invernaderos en la Microcuenca de La Joya

4.8.3. GANADERÍA Y AVÍCOLAS

Esta actividad se practica esencialmente en las zonas planas, frecuentemente cercanas a las riberas del lago, incluso a veces cerca o dentro de los humedales. Los ganaderos han convertido el bosque lluvioso, los humedales y otros ecosistemas de valor incalculable, en zonas de pastizales, modificando irreversiblemente, no solo el paisaje natural de la zona, sino también la calidad del suelo, del agua y del aire (AMUPROLAGO, 2002).

Aunque no existe un censo actualizado del ganado y de las granjas avícolas (Fig.17) existente en la subcuenca del lago, se sabe que en 2004 el número de cabezas de ganado excedía las 70.000 (Boyd, 2004). Actualmente existen más de 3.500 cabezas de ganado vacuno pastando dentro de los humedales del lago (Fig.18,19).



Fig. 17 – Avícola en la Microcuenca Las Balas



Fig.18 – Ganadería en la Microcuenca de El Cianuro



Fig. 19 – Vacas pastando en el humedal del lago

4.8.4. ACUICULTURA

Esta actividad es desarrollada en la subcuenca del lago tanto en tierra como dentro del espejo de agua del lago (Fig.20), aunque el volumen de producción no es comparable, siendo en tierra muchísimo inferior (Fig.21).

Se trata de cultivos de tilapia en jaulas flotantes dentro del espejo del lago, pertenecientes a tres empresas: Aquafinca Saint Peter Fish, S.A., Asociación de pescadores del Lago de Yojoa y Asociación de pescadores de Monteverde “Los Lobos”.



Fig. 20 – Jaulas flotantes de Aquafinca



Fig. 21 – Piscifactoría en tierra en la Microcuenca de La Pita

La empresa más grande que actualmente está trabajando en piscicultura en el lago es Aquafinca Saint Peter Fish, S.A. de capital suizo. Esta empresa inició operaciones en Honduras en el año 1997, con el objetivo de producir filetes frescos de tilapia para exportación (Basterrechea, 2008), cconstituye el 96% de la producción total (Studer, 2007).

Sus infraestructuras constan de 46 jaulas de 18 m de diámetro para engorde, 20 jaulas de 15 m de diámetro para pre-engorde 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 toneladas métricas, consumiendo 9.000 toneladas/año de alimento o concentrado para peces (Basterrechea, 2008).

4.8.5. RESTAURANTES

Dentro de la oferta hostelera presente en la subcuenca del Lago de Yojoa, cabe destacar la presencia de 59 casetas de venta de pescado en la ribera sur-este del lago (Fig.22,23), 17 pertenecen al departamento de Comayagua y 42 al departamento de Cortés, de las cuales el 86% son además viviendas, con una población estimada de 400 personas.

Se cuenta con un tren de aseo que no alcanza a cubrir todas las casetas, ya que tiene también que recoger los desechos del municipio de Taulabé. Además estos establecimientos no presentan ninguna planta de tratamiento de sus residuos.



Fig. 22 – Concentración de casetas de venta de pescado



Fig. 23 – Vista de las casetas de venta de pescado desde el lago

4.8.6. MINERÍA

Las operaciones de minería están localizadas en la mina El Mochito, cuyo yacimiento subterráneo se encuentra ubicado en el municipio de Las Vegas (noroeste del lago), en el departamento de Santa Bárbara (Fig. 24).

Esta mina inició operaciones en 1948, y estuvo a cargo de la Rosario Resources Co., hasta 1987. Posteriormente, la American Pacific, de capital canadiense, adquirió los derechos de la concesión.

El yacimiento tiene una reserva estimada en 4,5 millones de toneladas de minerales con valores comerciales de oro, plata, plomo y zinc. Esta mina procesa diariamente 2.000 toneladas de broza. Por cada 100 toneladas de broza se obtiene 11,9 toneladas de concentrado de zinc que producen 6,25 toneladas de zinc y 180 g de plata. Asimismo, se obtienen 1,9 toneladas de concentrado de plomo del que se extraen 1,31 toneladas de plomo y 2.500 g de plata. (Padilla, 2006).

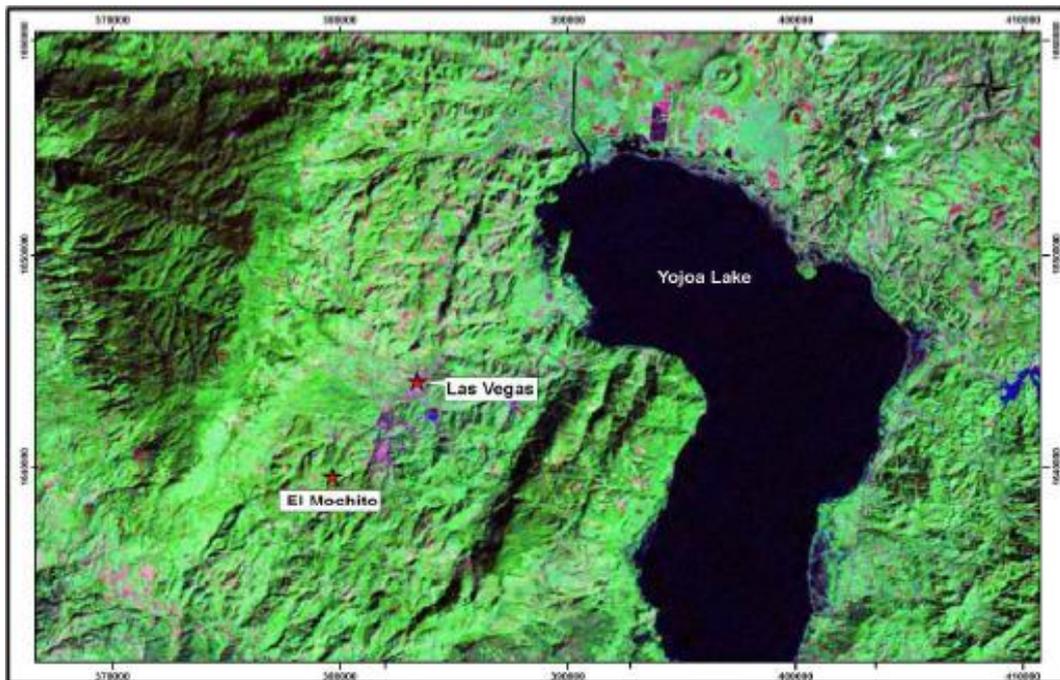


Fig. 24 – Localización de la mina El Mochito (PDAC, 2008)

4.9. POSIBLES FUENTES DE CONTAMINACIÓN.

Existen numerosos estudios que hacen referencia a la contaminación del Lago de Yojoa. La mayoría de ellos no presentan continuidad bien en el tiempo o en el espacio, por lo que no es posible hacer una comparativa entre ellos.

Según el Banco Nacional de Honduras (BCH) (Fig.25), en la subcuenca del Lago se desarrollan diferentes actividades potencialmente contaminantes o que pueden alterar el estado natural del medio ambiente, y que quedan reflejadas en el mapa de la figura.



Fig. 25 – Mapa de actividades y recursos naturales de los departamentos (Cortés, Santa Bárbara y Comayagua) que constituyen el Lago de Yojoa. (BCH)

Según esta misma fuente, en la subcuenca del Lago de Yojoa existe una problemática muy compleja, ya que incluye campos o ámbitos muy diversos que comprenden desde las propias actividades que se desarrollan en la subcuenca pudiendo ser éstas perjudiciales (fuentes contaminantes) o no, hasta la mala gestión de desechos, falta de planificación territorial, no aplicación de la legislación ambiental vigente, ausencia en la protección del medio ambiente, un mal uso del suelo, etc. Generando problemas de dimensión social, territorial y ambiental.

Aunque no es objetivo de esta tesis, se considera necesario indicar cuáles son los posibles agentes contaminantes, los procesos que pueden estar asociados y los efectos directos e indirectos que derivan de ellos, con el fin de obtener así una visión general de la problemáticas existente en la subcuenca del Lago.

No es posible en esta tesis afirmar qué fuente produce qué efecto contaminante, sólo se podrán hacer suposiciones o hipótesis ya que:

- Varios agentes contaminantes puede presentar los mismos procesos

- Varios procesos pueden presentar los mismo efectos
- Un mismo proceso puede presentar diferentes efectos
- Los datos recogidos a lo largo de esta tesis reflejan los efectos, sin indicar ni los procesos que los generan ni las fuentes contaminantes de los que provienen.
- No se conoce la circulación de las aguas del Lago, lo que implica que la distribución espacial que reflejan los datos analizados no tiene por qué ser indicativa de la procedencia de los aportes.

Tomando como referencia el estudio realizado por Geólogos del Mundo (2010) y teniendo en cuenta también otras actividades citadas alguna vez en reuniones mantenidas con los actores de la subcuenca, se ha desarrollado un cuadro sintetizando de los agentes de contaminación (Tabla 6), los procesos que derivan de ellos y los efectos directos e indirectos más importantes.

AGENTES DE CONTAMINACIÓN	PROCESOS	EFECTOS																
		Aporte de materia orgánica	Aporte de nutrientes	Contaminación aguas subterráneas	Contaminación acídica	Incremento de bacterias	Mal olor	Erosión y removilización de suelos	Proliferación de insectos	Aportes al fondo Lago	Incremento de la turbidez	Aporte de metales pesados	Contaminación microbiana	Proliferación algal	Eutrofización del Lago	Muerte fauna y flora acuática	Enfermedades	Lixiviados
URBANOS	Vertido de aguas negras, grises, servidas	X	X	O		O	X			O	O		X		O		O	
	Vertido de grasas	O				X	O				O							
	Basureros ilegales	X	O	X		X	X		O	O	O	O	O	O	O		O	X
	Infraestructuras			O	X			X		O	O							
	Abandono de enseres									X		O						
AGRICULTURA	Fertilizantes y Pesticidas	O	X	X			O			X	O	O		O	O			X
	Almacenamiento desechos del cultivo	X	X	X			O		O	O	O			O	O			
	Aguas mieles	X	X	O						O	O							
	Prácticas forestales	X			O			X		X	O				O			
GANADARIA	Vertidos de aguas negras y aguas grises	X	X	O		O	X			O	O		X		O		O	
	Purines y Gallinácea	X	X	O		X	X		X	O	O		X		O			
ACUICULTURA	Concentrado para alimento	X	X							X	X	O		O	O			
	Excreción de peces	X	X			X	O			X	X			O	O			
	Peces muertos	X	O				X		X	X	O				X			
	Vertidos	X	X				X		O	O	X	X		O	O			
INDUSTRIAL	Infraestructuras			O	X			X		O	O							
	Cambio régimen hídrico							X		X	X							
	Extracción de metales			X	X			X		X	X	X				O		X
	Vertidos tóxicos			X	X					O	X	X				O		
	Otros vertidos	X	X				X		O	O	X	X		O	O	X		

Tabla 6: Matriz de alteraciones ambientales producidas por las actividades que se desarrollan en el Lago y sus alrededores: Importantes X Secundarias O

5. PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS ANALIZADOS

Este capítulo describe en primer lugar la metodología de trabajo, dónde y cómo se han realizado los muestreos, una vez que se obtienen los resultados se explica cómo se ha realizado el tratamiento de los datos para cada parámetro y porqué. Y por último, se hace una descripción de cada parámetro, cuáles son sus propiedades físicas y químicas, qué puede indicar cada uno de ellos y si existe algún tipo de clasificación en función de los mismos.

5.1. METODOLOGÍA DE TRABAJO

El proyecto llevado a cabo en el Lago de Yojoa, se ha desarrollado entre Septiembre de 2009 y Junio de 2011. Durante este periodo se han desarrollado campañas de campo correspondientes a la época seca y de lluvias.

Al inicio del proyecto, los cooperantes de la ONG, Geólogos del Mundo, tras un estudio exhaustivo bibliográfico de la problemática del Lago de Yojoa y diversas salidas de campo identifican 10 puntos de muestreo correspondientes con las zonas de mayor interés desde el punto de vista de posibles focos de contaminación como piscifactorías, restaurantes, así como en las desembocaduras de las principales quebradas y otros puntos de interés como el Canal ENEE y realizan un mapa (Fig.26) del lago donde se ubican dichas localizaciones.

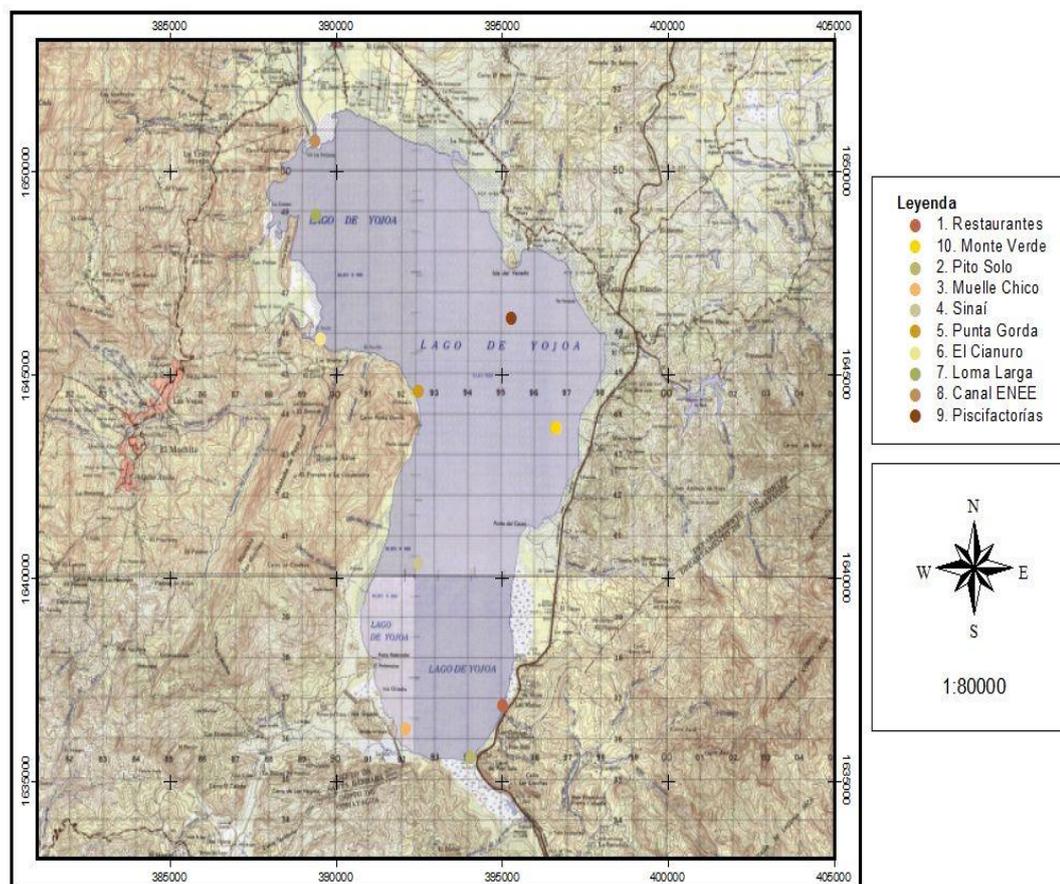


Fig.26 – Localización de los puntos de muestreo del Lago de Yojoa

Los muestreos se han realizado siempre respetando los puntos de muestreo fijados en el inicio de la investigación, pero debido al oleaje, a la posición variable de las peceras de cría dentro del lago y a la invasión de algas, en algunos casos existen puntos que no concuerdan con exactitud con el muestreo origen, pero aún así los resultados obtenidos siguen siendo totalmente representativos, pues la desviación entre las coordenadas puede ser asumida sin más consecuencias como se puede apreciar en la Fig.27.

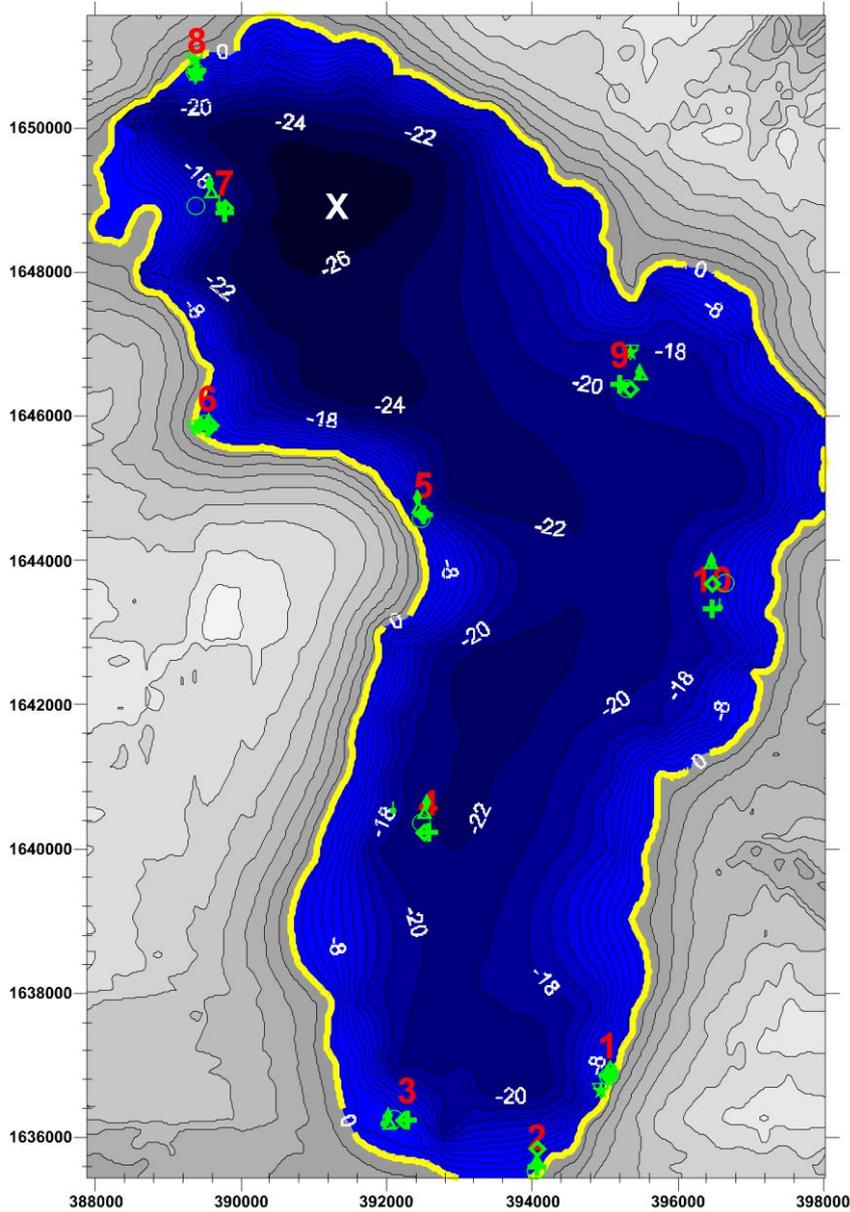


Fig. 27: Mapa con coordenadas de investigación; Numeración Blanca= Cuervas de nivel; Numeración Roja= Número identificativo de los puntos de muestreo; Simbología Verde= Nube de coordenadas de muestreo; Línea Amarilla= Perfil del Lago de Yojoa.

Los muestreos realizados a lo largo del proyecto han sido de dos tipos, con sonda multiparamétrica y mediante toma de muestras de agua para su análisis en el laboratorio. Como se puede observar en la tabla en la que se resumen éstos (Tabla 7), no en todos los meses se cuenta con ambos tipos de muestreo. Esto se

debe a que el muestreo principal se centra en el uso de la sonda y la recogida de muestras de agua para laboratorio se ha realizado con el fin de ser complementario al anterior; la excepción es el mes de Octubre, que por problemas en el propio dispositivo sólo se ha podido tomar muestras para laboratorio.

		MUESTRAS SONDA(X) LABORATORIO(+)							
LUGAR	I d.	Nov 09	Ene 10	Feb 10	Abr 10	May 10	Ago 10	Sep 10	Oct 10
<i>Restaurantes o Casetas</i>	1	+x	x	+x	+x	+x	x	x	+
<i>Pito Solo</i>	2			+x	+x	+x	x	x	+
<i>Muelle Chico</i>	3			+x	+x	+x	x	x	+
<i>Sinaí</i>	4			+x	+x	+x	x	x	+
<i>Punta Gorda</i>	5			+x	+x	+x	x	x	+
<i>Cianuro</i>	6	+x	x	+x	+x	+x	x	x	+
<i>Loma Larga</i>	7			+x	+x	+x	x	x	+
<i>Canal ENEE</i>	8	+x	x	+x	+x	+x	x	x	+
<i>Piscifactorías</i>	9	+x	x	+x	+x	+x	x	x	+
<i>Monte Verde</i>	10			+x	+x	+x	x	x	+

Tabla 7: Identificación del tipo de muestreo realizado: + Análisis laboratorio, x Análisis con sonda

En el estudio realizado cabe destacar que existen:

- Parámetros comunes entre los dos tipos de muestreo: pH, Conductividad (mV) y Total de Sólidos Disueltos (TSD).
- Parámetros exclusivos, solo registrados por la sonda: Potencia oxido-reducción (ORP), Oxígeno disuelto (OD), Resistividad, Temperatura, Salinidad y Presión atmosférica.
- Parámetros exclusivos, solo analizados en el laboratorio: Alcalinidad, Dureza, Turbidez, Demanda química de oxígeno (DQO), Demanda biológica de oxígeno (DBO), Nitratos, Nitritos, Ortofosfatos, Fósforo libre, Cloruros, Sulfatos, Metales alcalinos (Na, K), Metales alcalinotérreos (Ca, Mg), Metales pesados (Pd, Zn, Cd, Fe, Mn, Cu), Recuento total bacteriano y Coliformes (Fecales, Totales, E-Coli).

5.1.1. METODOLOGIA: ESTUDIO CON SONDA MULTIPARAMÉTRICA

La sonda (Fig.28) utilizada para todos los muestreos es una HI 9828 Medidor multiparamétrico.



Fig. 28 – Sonda HI 9828 Medidor multiparamétrico utilizada en muestreo (Hanna Instruments)

El HI 9828 es un medidor multiparamétrico que puede medir hasta 9 parámetros con una sola sonda. Mide: pH, mV, ORP, OD, Resistividad, TDS, Salinidad, Presión atmosférica y Temperatura. Este medidor multiparamétrico puede realizar la captura de datos con dos métodos:

- Puntual, es decir, un único registro para cada parámetro. Una vez introducida la sonda en el agua a la profundidad deseada, se activa manualmente y ésta registra de modo automático un único valor por parámetro.
- Continuo, se registra un dato cada segundo para cada parámetro. Una vez introducida la sonda en el agua a la profundidad deseada, se activa manualmente, comienza a registrar un dato cada segundo de modo automático y es parada de modo manual por el operario cuando considera que los datos registrados en todos los parámetros se mantienen constantes o estabilizados.

El método elegido fue el muestreo continuo (dato/segundo), siempre a una misma profundidad de un metro, obteniendo en cada punto de muestreo de

600 a 720 registros de cada uno de los parámetros, ya que de media, se introducía la sonda en el agua un periodo de tiempo de entre 10 a 12 minutos con el fin de buscar la estabilización de las lecturas.

TRATAMIENTO DE DATOS

Se han tenido en cuenta las especificaciones de la sonda en cuanto a su rango de medida, resolución y precisión (Tabla 8) para cada parámetro a la hora de interpretar los datos.

PARÁMETROS	PRECISIÓN
<i>pH</i>	$\pm 0,02$ pH
<i>mV de entrada de pH</i>	$\pm 0,5$ mV
<i>ORP</i>	$\pm 1,0$ mV
<i>Oxígeno Disuelto</i>	0,00 a 30,00 mg/l: $\pm 1,5\%$ de lectura ó 0,10 mg/l el que sea mayor; 30,00 mg/l a 50,00 mg/l: $\pm 3\%$ de lectura
<i>Conductividad</i>	$\pm 1\%$ de lectura ó ± 1 μ S/cm el que sea mayor
<i>Resistividad</i>	Dependiente de la lectura de resistividad
<i>TDS</i>	$\pm 1\%$ de lectura ó ± 1 mg/l
<i>Salinidad</i>	$\pm 2\%$ de lectura ó 0,10 PSU el que sea mayor
<i>Presión</i>	± 3 mmHg dentro de $\pm 15^{\circ}\text{C}$ de la temperatura durante la calibración
<i>Temperatura</i>	$\pm 0,15^{\circ}\text{C}$; $\pm 0,27^{\circ}\text{F}$; 0,01K

Tabla 8: Precisión en la sonda en el registro de los distintos parámetros medido.

Cuando se comienza a trabajar con los datos registrados, se observa que el comportamiento de cada uno de los sensores es diferente, no siguen una misma pauta, algunos parámetros se estabilizan rápidamente mientras otros no lo hacen. Por ello, no todos los parámetros pueden ser procesados siguiendo un mismo método. No obstante, existe un parámetro, el ORP, cuyos registros nunca alcanzan la estabilización, oscilan constantemente y no se ha podido llegar a concluir el porqué de este comportamiento.

Tras analizar minuciosamente cómo se comporta cada parámetro, al evaluar los sus valores extremos, máximo y mínimo, promedio, desviación típica, tipo de distribución y además teniendo en cuenta la precisión de medida de la propia sonda, se ha decidido que:

- Los parámetros cuya desviación típica se encuentren dentro de los márgenes de precisión de la sonda (Fig.29), serán estudiados como la media aritmética de todos sus registros, sea el caso de: Temperatura, Salinidad y Presión atmosférica.

- Los parámetros cuya desviación típica se encuentre fuera de los márgenes de medida de la sonda (Fig.30), serán estudiados como la media aritmética de los últimos 10 registros, puesto que se considera que éstos son los más cercanos a la estabilización de la sonda, como es el caso de: pH, OD, mV, Resistividad, ORP y TSD.

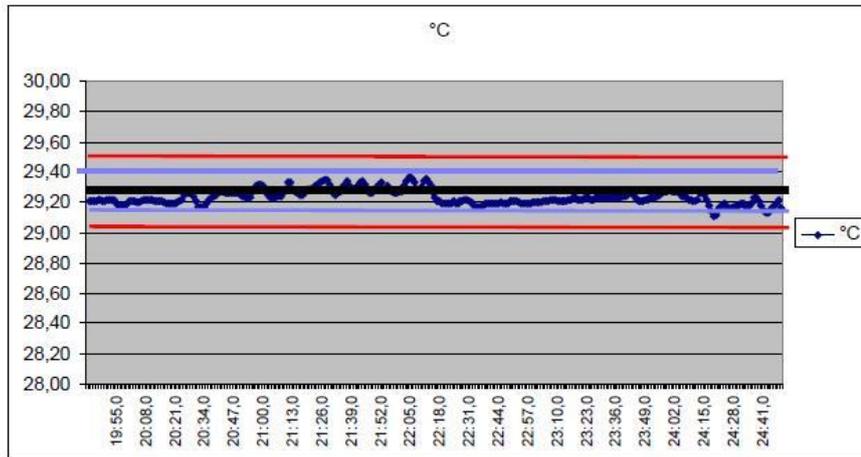


Fig 29: Ejemplo de parámetro donde la desviación típica de todos los registros de la sonda se encuentran dentro del rango de precisión de la sonda.. Representación de la Temperatura para el mes de Agosto. Línea negra=media; línea roja=precisión de la sonda, $\pm 0,15^{\circ}\text{C}$; línea morada=desviación típica y línea azul=registro de la sonda.

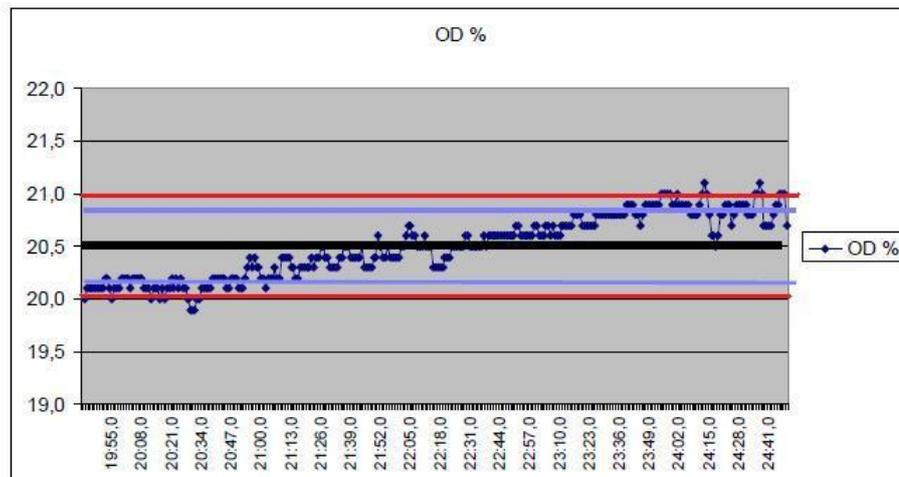


Fig. 30 – Ejemplo de parámetro donde la desviación típica de todos los registros de la sonda NO se encuentran dentro del rango de precisión de la sonda.. Representación del OD para el mes de Agosto. Línea negra=media; línea roja=precisión de la sonda, $\pm 0,1\%$; línea morada=desviación típica y línea azul=registro de la sonda.

5.1.2. METODOLOGÍA: ESTUDIO DE MUESTRAS DE AGUA PARA ANÁLISIS EN LABORATORIO

El laboratorio con el que se ha trabajado en todos los muestreo es el de la Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (FHIA), La Lima, Cortés.

Siempre se ha seguido la Norma Técnica Nacional y recomendaciones del laboratorio para la recogida de muestras. Mediante una botella vacía de

plástico procedente de agua purificada, se recoge agua a unos centímetros de la superficie del lago, se etiqueta cada botella con el punto de muestreo y se guarda en neveras con hielo hasta su traslado al laboratorio, siempre cumpliendo con la cantidad de agua y tiempo de exposición establecidos.

Los análisis realizados por la FHIA se dividen en tres grupos: Determinación física, Determinación química y Análisis microbiológico (ANEXO 1). Para todos ellos se ha seguido la Norma Técnica Nacional para la Calidad del Agua Potable.

5.2. PARÁMETROS REGISTRADOS

5.2.1. DESCRIPCIÓN DE PARÁMETROS ANALIZADOS EN COMÚN SONDA Y LABORATORIO. DETERMINACIÓN FÍSICA.

Como se ha indicado anteriormente los parámetros son: pH, Conductividad y TSD.

pH

El pH es el logaritmo con signo cambiado de la concentración de hidrogeniones (Custodio y Llamas, 1983):

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$$

En disolución neutra, $[\text{H}^+] = 10^{-7}$, el pH es igual a 7, en disolución ácida, $[\text{H}^+] > 10^{-7}$ el pH será menor que 7 y en disolución alcalina, $[\text{H}^+] < 10^{-7}$, el pH será mayor que 7 (Babor y Ibarz, 1963) (Tabla 9).

<i>RANG O</i>	<i>VALOR DE pH</i>	<i>CLASIFICACIÓN</i>
<i>Ácido</i>	<i><7</i>	<i>Aguas Ácidas</i>
<i>Neutro</i>	<i>7</i>	<i>-</i>
<i>Básico</i>	<i>>7</i>	<i>Aguas Alcalinas</i>

Tabla 9: Caracterización del agua en función del valor de su pH

El pH es un factor determinante de la solubilidad y la disposición biológica de los constituyentes químicos presentes en el agua (fósforo, nitrógeno, plomo, cadmio, etc.). Es decir, el pH, además de afectar la abundancia y la forma en que se presenta un ión, también determina si los organismos acuáticos pueden usarlo o no. En el caso de los metales pesados, el grado de solubilidad está influenciado por el pH y determina su toxicidad. Los metales tienden a ser más tóxicos cuando son más solubles a bajos pH.

Es por lo tanto una propiedad de carácter químico de vital importancia para el desarrollo de la vida acuática y por tanto es un buen indicador de la calidad del agua.

Habitualmente, las aguas naturales tienen un cierto carácter básico, con valores de pH comprendidos entre 6,5-8,5. El pH en lagos no contaminados oscila entre 6,0 y 9,0 (Studer, 2007), mientras que los océanos tienen un valor medio de 8, débilmente alcalina.

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

La conductividad es una expresión numérica de la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la presencia de iones y de su concentración total, de su movilidad, valencia y concentraciones relativas así como de la temperatura de medición. Cuanto mayor sea la concentración de iones mayor será la conductividad.

El agua químicamente pura no es conductora. El agua natural tiene iones en disolución y su conductividad es mayor y proporcional a la cantidad y características de esos electrolitos. Por esto, se usan los valores de conductividad como índice aproximado de concentración de solutos, pudiendo estimar así la calidad del agua y su posible nivel de contaminación (Tabla 10).

CALIDAD DEL AGUA	PUR A	POCO CONTAM	CONTAMINAD A	MUY CONTAM	EXCESIVAMENTE CONTAM.
<i>Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)</i>	<280	280 - 430	430 – 600	600 – 860	>860

Tabla 10: Calidad del agua en función de la conductividad eléctrica (Massol, 2010 a)

En las aguas continentales naturales los iones más corrientes directamente responsables de los valores de conductividad son entre otros el calcio, magnesio, potasio, sodio, carbonatos, sulfatos y cloratos.

TOTAL DE SÓLIDOS DISUELTOS

Hace alusión a materia suspendida o disuelta en un medio acuoso. La determinación de sólidos disueltos totales mide específicamente el total de residuos sólidos filtrables (sales y residuos orgánicos) a través de una membrana con poros de 2.0 μm (o más pequeños). Los sólidos disueltos pueden afectar adversamente la calidad de un cuerpo de agua (Tabla 11).

CALIDAD DEL AGUA	AGUA POTABLE	AGUA NO POTABLE
<i>TSD (mg/L)</i>	<1.000	>1.000

Tabla 11: Calidad del agua en función de la presencia de TSD (Massol, 2010 b y c)

5.2.2. DESCRIPCIÓN DE PARÁMETROS ANALIZADOS EXCLUSIVAMENTE CON LA SONDA MULTIPARAMÉTRICA.

Como se ha indicado anteriormente los parámetros son: ORP, OD, Resistividad, Temperatura, Salinidad y Presión Atmosférica.

POTENCIAL REDOX (ORP)

Entre los procesos de disolución de sales por el ataque del agua a los minerales son de gran interés aquellos procesos en los que intervienen sustancias que cambian o pueden cambiar su estado de valencia, oxidándose unas veces y reduciéndose otras. Tales sistemas se llaman Redox y están regidos por las condiciones de pH, presión, temperatura, etc. El potencial Redox (Eh) del sistema mide la estabilidad de un ion en un nivel de oxidación determinado (Custodio y Llamas, 1983).

Un valor Eh positivo y de alta magnitud es indicativo de un ambiente que favorece las reacciones de oxidación. Del otro lado, un valor Eh negativo y de baja magnitud es indicativo de un ambiente altamente reductor.

Las reacciones de oxidación y reducción regulan el comportamiento de muchos compuestos químicos presentes en cuerpos de agua naturales. La reactividad, solubilidad y movilidad cíclica de elementos esenciales para los sistemas biológicos son afectadas por cambios en el ORP. Al mismo tiempo, este parámetro afecta a la distribución y a la actividad metabólica de microorganismos.

El ORP es afectado por la concentración de OD, que es el oxidante principal. Según baja el potencial Redox en aguas y sedimentos, se observa una disminución en la concentración de oxígeno disuelto y la reducción de iones y moléculas importantes para la nutrición de microorganismos y formas de vida superior. Dicha relación es particularmente observada en ambientes acuáticos eutróficos, en cuerpos de agua con una estratificación térmica marcada y en cuerpos de agua contaminados con altas concentraciones de materia orgánica oxidable que consume el oxígeno disuelto en el agua (Massol, 2010 a).

OXIGENO DISUELTO (OD ppm) Y SATURACIÓN DE OXÍGENO (% O₂)

Es un reactivo que gobierna la química del agua a través de procesos Redox, determinando así la existencia de condiciones aeróbicas o anaeróbicas en el medio acuoso.

La entrada y distribución del oxígeno en cuerpos de agua naturales, está determinada por el intercambio gaseoso a través de la superficie del agua, la producción fotosintética y el consumo respiratorio de los organismos acuáticos y por procesos físicos de difusión y advección (movimiento horizontal del aire

causado principalmente por variaciones de la presión atmosférica cerca de la superficie).

El OD es un requisito nutricional esencial para la mayoría de los organismos vivos, dada su dependencia del proceso de respiración aeróbica para la generación de energía y para la movilización del carbono en la célula. Además, el oxígeno disuelto es importante en los procesos de fotosíntesis, oxidación-reducción, solubilidad de minerales y la descomposición de materia orgánica, determinando la disponibilidad biológica de muchos metales y nutrientes.

La solubilidad de oxígeno en el agua disminuye ligeramente con el aumento de la salinidad, de forma intermedia con la disminución de la presión atmosférica y notablemente con el aumento de temperatura. La turbulencia favorece los intercambios entre el aire y el agua, por tanto aguas más frías y más agitadas contienen mayor cantidad de oxígeno y, al revés, aguas más cálidas y menos agitadas contienen menos oxígeno.

Los niveles de oxígeno disuelto necesarios para sostener la vida de organismos acuáticos varían de una especie a otra: en el caso de la Tilapia, pez abundante por excelencia en el Lago de Yojoa, requiere concentraciones mayores o iguales a 3 mg/l para permanecer saludables y cuando esta concentración es menor en las explotaciones se conectan unas turbinas (Fig.31) que poseen cada una de las peceras, que mediante un aspa agita el agua superficial con el fin de oxigenarla, aumentando así la concentración de oxígeno disuelto y evitando la muerte de los peces que se encuentran dentro de ellas.



Fig. 31 – Turbinas instaladas en las peceras de Aquafinca

La concentración de oxígeno disuelto se puede expresar también en términos del tanto por ciento de saturación de oxígeno en agua. A menudo éste parámetro es utilizado para describir cualitativamente la calidad de cuerpos de agua, siempre y cuando no estén presentes compuestos tóxicos, tales como metales pesados y pesticidas (Tabla 12).

<i>CALIDAD</i>	<i>% SATURACIÓN DE OXIGENO</i>
<i>Buena</i>	<i>90</i>
<i>Regular</i>	<i>89 – 75</i>
<i>Dudosa</i>	<i>74 – 50</i>
<i>Contaminada</i>	<i><50</i>

Tabla 12: Calidad del agua en función del porcentaje de saturación de oxígeno (clasificación de Lynch y Poole, 1979).

En ausencia de períodos de mezcla estacionales de la columna de agua y de perturbaciones atmosféricas que generen vientos fuertes o una precipitación intensa, los cuerpos de agua lacustres en ambientes tropicales tienden a mantener su estratificación térmica, por tanto en oxígeno es abundante en la capa superficial y disminuye a medida que se desciende en la columna de agua.

En las épocas de inversión térmica, se produce una mezcla de las aguas, ascendiendo las capas inferiores hacia la superficie esto produce un déficit de oxígeno en la zona superficial lo que ha dado origen a la muerte masiva de peces en el Lago de Yojoa.

RESISTIVIDAD

Es la función inversa a la conductividad. Este parámetro es registrado con la sonda, pero se ha preferido trabajar con los datos de conductividad ya que existen datos analíticos de laboratorio e históricos.

TEMPERATURA Y ESTRATIFICACIÓN TÉRMICA

La temperatura es un factor abiótico que regula procesos vitales para los organismos vivos, así como también afecta las propiedades químicas y físicas de otros factores abióticos en un ecosistema. Es un parámetro del que depende de un modo directo la estratificación de los cuerpos de agua.

La temperatura afecta de un modo directo a las propiedades físico-químicas del medio acuoso como: pH, potencial Redox, solubilidad de gases, densidad, el estado físico y la viscosidad del sustrato.

ESTRATIFICACIÓN TÉRMICA

Uno de los efectos del calor que acompaña a la radiación solar sobre las propiedades físico-químicas del sustrato (agua), es la estratificación vertical de cuerpos de agua lacustres, por diferencias en densidad y temperatura. La luz solar calienta las aguas cercanas a la superficie, generando una capa de agua tibia y menos densa sobre una capa de agua más fría y densa. Sin embargo, la agitación de las aguas en la superficie por un efecto de convección (provocado por evaporación nocturna y enfriamiento de la superficie del cuerpo de agua) y la acción del viento, generan un perfil vertical de temperaturas diferente al de la penetración de la luz.

En consecuencia, el cuerpo de agua se estratifica en tres zonas o capas de agua (Fig.32): el Epilimnio, la capa de agua más superficial, la de menor densidad y mayor temperatura; el Hipolimnio, la zona más profunda, más densa y la de menor temperatura y en el intermedio el Metalimnio, zona intermedia entre el epilimnio y el hipolimnio, con una densidad también intermedia. Los límites o fronteras de estas zonas, son en muchas ocasiones difíciles de detectar o graduales. Las zonas son dinámicas, presentándose variaciones en su tamaño (espesor), que obedecen a fluctuaciones estacionales o a cambios atmosféricos marcados (lluvias torrenciales, tormentas). La zona donde la temperatura presenta cambios rápidos en función de la profundidad se denomina Termoclina.

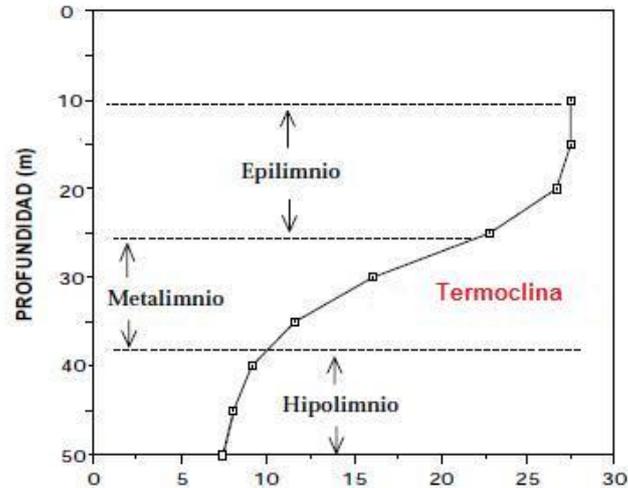


Fig. 32: Patrón de estratificación térmica en cuerpos de agua dulce (Massol, 2010 a)

CLASIFICACIÓN DE LAGOS

La identificación de los patrones de mezcla de las aguas ha permitido, a su vez, generar un sistema de clasificación de lagos:

Lagos monomícticos, tienen un período de circulación una vez al año, se da en zonas subtropicales y zonas muy frías.

Lagos dimícticos, tienen dos períodos de circulación: latitudes medias.

Lagos oligomícticos, son lagos cuya temperatura en todo el lago es de 4° y rara vez tienen un período de circulación, se da en los climas tropicales húmedos.

Lagos amícticos, nunca se da circulación porque están permanentemente cubiertos de hielo.

Lagos polimícticos, existe una circulación continua, se da en los lagos alpinos de la zona ecuatorial de los Andes.

Los periodos de mezcla o circulación del cuerpo de agua alteran el perfil de temperatura, densidad, oxigenación, potencial Redox, pH, la solubilidad y disponibilidad de nutrientes en la columna de agua, así como también afectan la distribución y actividad metabólica de los organismos que habitan en las diferentes capas de agua (Horne y Goldman, 1994).

SALINIDAD

Los iones y los elementos presentes en cuerpos de agua naturales se originan por procesos de disolución y desgaste de las rocas que forman la corteza terrestre y de emanaciones del manto terrestre, a través de la actividad volcánica.

La cantidad de sales en solución afecta a varios procesos físicos importantes, así como a propiedades importantes del agua y de sustancias disueltas en ella tales como: densidad, viscosidad, tensión superficial, presión osmótica, punto de fusión, punto de ebullición y solubilidad de gases.

Los cuerpos de agua se pueden tipificar de acuerdo con su contenido total de sales (Tabla 13). Los rangos establecidos para identificar las diferentes categorías no son absolutos.

Estos representan límites arbitrarios que nos ayudan a distinguir un ambiente de otro.

SALINIDAD (‰)	TIPO DE AGUA
0 – 0,5	Agua dulce
0,5 – 3,0	Agua salobre oligohalina
3,0 – 10	Agua salobre mesohalina
10 – 17	Agua salobre polihalina
17 – 30	Agua de mar oligohalina
30 - 34	Agua de mar mesohalina
34 – 38	Agua de mar polihalina
38 – 150	Salmuera
>150	Hipersalina

Tabla 13: Clasificación de aguas en función de su contenido en sales (Massol, 2010 b)

En 1978, se desarrollaron técnicas físicas para determinar la salinidad a partir de medidas de conductividad eléctrica y temperatura. La "Escala Práctica de Salinidad" define ésta como la relación entre la conductividad de una muestra de agua de mar normal y la de un agua de mar de 35 g de sal por kilogramo de agua. La salinidad práctica es una razón y por lo tanto no tiene unidades, pero se suele utilizar la denominación Practical Salinity Unit (PSU) que en castellano significa Unidad Práctica de Salinidad. Los resultados de salinidad obtenidos por la sonda se expresan en éstas unidades.

PRESIÓN ATMOSFÉRICA

Es la presión que ejerce la masa de aire de la atmósfera terrestre sobre una superficie. A nivel del mar, esta presión es de aproximadamente 760 mm Hg, es decir, 1 atm ó 1024 bares.

Como ya se ha citado anteriormente, la solubilidad del oxígeno guarda una relación directamente proporcional con la presión atmosférica, la solubilidad disminuye al disminuir la presión atmosférica, sin embargo en el caso del Lago de Yojoa esta relación no se aprecia al representar los datos registrados.

5.2.3. DESCRIPCIÓN DE PARÁMETROS ANALIZADOS EXCLUSIVAMENTE EN EL LABORATORIO.

Como se ha indicado anteriormente los parámetros son: Alcalinidad, Dureza, Turbidez, DQO, DBO, Nitratos y Nitritos, Ortofosfatos y Fósforo libre, Cloruros y Sulfatos, Metales alcalinos (Na, K), Metales alcalinotérreos (Ca, Mg), Metales pesados (Pd, Zn, Cd, Fe, Mn, Cu), Recuento total bacteriano y Coliformes (Fecales, Totales, E-Coli).

ALCALINIDAD

Capacidad del agua para neutralizar ácidos o aceptar protones. Representa la suma de las bases presentes en una muestra de agua. La alcalinidad de aguas superficiales está determinada generalmente por el contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos y se toma como un indicador de dichos iones. No obstante, algunas sales de ácidos débiles como boratos, silicatos, nitratos y fosfatos pueden también contribuir a la alcalinidad. Estos iones negativos en solución están comúnmente asociados con iones positivos de calcio, magnesio, potasio, sodio y otros cationes. El bicarbonato constituye la forma química de mayor contribución a la alcalinidad. Estas sales son particularmente importantes cuando hay gran actividad fotosintética de algas o cuando hay descargas industriales en un cuerpo de agua.

Históricamente, la alcalinidad ha sido utilizada como un indicador de la productividad de lagos, sirviendo como una fuente de reserva para la fotosíntesis,

dónde niveles de alcalinidad altos indicarían una productividad alta y viceversa (Tabla 14).

RANGO	ALCALINIDAD (mg/l CaCO₃)
<i>Baja</i>	< 75
<i>Media</i>	75-150
<i>Alta</i>	>150

Tabla 14: Rango de alcalinidad. (Kevern et al., 1996)

DUREZA

Es la concentración de compuestos minerales que hay en una determinada cantidad de agua, en particular sales de magnesio y calcio. El grado de dureza es directamente proporcional a la concentración de sales alcalinas.

Se calcula, genéricamente, a partir de la suma de las concentraciones de calcio y magnesio existentes (en miligramos) por cada litro de agua; que puede ser expresado en concentraciones de CaCO₃.

La dureza constituye un parámetro muy significativo en la calidad del agua.

Cuando la dureza del agua es baja, la solubilidad de los compuestos metálicos es mayor y más fácilmente asimilable por la biota acuática. Los metales pesados presentes muestran mayor toxicidad. En aguas duras, es mayor la posibilidad química de formación de complejos metálicos, esto hace que se amortigüe la toxicidad y merme la absorción por parte de los organismos (Massol, 2010 b).

De acuerdo a la concentración de carbonatos contenidos en el agua, ésta puede clasificarse en niveles de dureza (Tabla 15).

ÍNDICES DE DUREZA	ppm de CaCO₃(equivalente)
<i>Muy Blandas</i>	0-15
<i>Blandas</i>	16-75
<i>Moderadamente Duras</i>	76-150
<i>Duras</i>	150-300
<i>Muy Duras</i>	>300

Tabla 15: Índices de la dureza del agua (Massol, 2010 b)

TURBIDEZ

Es un parámetro relacionado con la cantidad de sólidos en suspensión en el agua que pueden ser resultado de una posible actividad biológica o simplemente una presencia de componentes no deseables. Es un fenómeno óptico que consiste en la absorción de la luz, combinada con un proceso de difusión. Se considera un factor importante para estimar la calidad del agua (Tabla 16), está relacionada con el grado de transparencia y limpieza del agua.

CALIDAD DEL AGUA	ÍNDICES DE TURBIDEZ
<i>Aguas transparentes</i>	<i><1UNT</i>
<i>Aguas algo turbias</i>	<i>1 – 5 UNT</i>
<i>Aguas turbias</i>	<i>>5 UNT</i>

Tabla 16: Calidad del agua en función del índice de turbulencia (Massol, 2010 b)

Existen dos formas de expresar las unidades de medida de la turbidez, Unidad de Turbidez de Formacina (FAU) o Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT). Esto está en función del método utilizado en el laboratorio para su obtención, las unidades FAU son unidades de atenuación de la formacina, mientras que UNT son unidades nefelométricas de turbidez. Ambas unidades son equivalentes y representan 7,5 ppm de sílice.

DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)

Es la capacidad de un agua para consumir oxidantes en procesos químicos. También se define como cualquier sustancia tanto orgánica como inorgánica susceptible de ser oxidada, mediante un oxidante fuerte ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$). La cantidad de oxidante consumida se expresa en términos de su equivalencia en oxígeno. DQO se expresa en mg/l O_2 .

Se utiliza como parámetro indicativo de materia orgánica global, biodegradable y no biodegradable en al agua. El método DQO se usa a menudo para medir los contaminantes en las aguas naturales y residuales y para evaluar la fuerza de desechos tales como aguas residuales municipales e industriales.

De modo independiente a la DBO no existe ninguna clasificación aplicable a la calidad de aguas.

DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO (DBO)

Medida de la cantidad de oxígeno necesario para eliminar la materia orgánica contenida en un agua mediante procesos biológicos aerobios.

Es un test empírico que determina la demanda relativa de oxígeno de las aguas residuales, emisiones y aguas contaminadas. Los test de DBO miden el oxígeno molecular que se usa durante un tiempo concreto de incubación de microorganismos para la degradación biológica del material orgánico. El test DBO más común consiste en mantener una muestra durante un período de 5 días (DBO5) en una botella herméticamente cerrada a temperatura controlada ($20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$), no permitiendo que la luz penetre en la muestra para evitar la fotosíntesis. El Oxígeno Disuelto (OD) de la muestra se mide antes y después del período de 5 días de incubación, y se calcula entonces la DBO5 como la diferencia entre las mediciones inicial y final de O.D. El método DBO5 puede considerarse como un test más "natural" para determinar el oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica.

Se puede clasificar la pureza del agua en función de la DBO (Tabla 17).

PUREZA DEL AGUA	DBO
<i>Aguas muy puras</i>	<i>< 3 ppm O₂</i>
<i>Aguas de pureza intermedia</i>	<i>3-5 ppm O₂</i>
<i>Agua contaminada</i>	<i>>8 ppm O₂</i>
<i>Aguas residuales urbanas</i>	<i>100-400 ppm O₂</i>

Tabla 17: Clasificación de la calidad del agua en función de los valores de DBO (Massol, 2010 b)

La relación entre DBO y DQO nos da una idea de la naturaleza de los contaminantes existentes en el agua (tipo de vertido, orgánico o inorgánico) y su posibilidad de depuración:

DBO/DQO menor que 0,2 indican la presencia predominante de contaminación de naturaleza orgánica no biodegradable (no puede depurarse de forma biológica).

DBO/DQO mayor que 0,6 señala la presencia predominante de contaminación orgánica de naturaleza biodegradable (puede depurarse de forma biológica).

NITRATOS

La mayoría de las aguas contienen nitratos. La presencia de NO_3^- en concentraciones mayores de 25 mg/l se considera condiciones insalubres en el agua, ya que una de las principales fuentes de estos compuestos químicos son los desechos metabólicos humanos y animales. Los nitratos son tóxicos cuando existen elevadas concentraciones en las aguas destinadas al consumo.

Los nitratos representan el estado de mayor oxidación de los compuestos nitrogenados en el agua. Las bacterias formadoras de nitratos, convierten los nitritos (NO_2^-) en nitratos bajo condiciones aeróbicas. Altas concentraciones de nitratos en las aguas es un indicativo de que la descomposición biológica de restos orgánicos está en las fases finales de estabilización.

La presencia de nitratos suele estar asociada a zonas de actividad agrícola intensa y con determinadas prácticas de abonado en las han tenido lugar fuertes escorrentías.

CALIDAD DE AGUAS SUPERFICIALES	RANGO DE VALORES NO_3^- (mg/l)
<i>No afectada o contaminada</i>	0-25
<i>Ligeramente afectada o contaminada</i>	25-50
<i>Afectada o contaminada</i>	>50

Tabla 18 – Clasificación de las aguas superficiales en función de la concentración de nitratos. (CEDEX, 2006)

También tienen una gran influencia los lixiviados de residuos y los vertidos de aguas residuales sin depurar. Las descargas de afluentes ricos en nitratos, pueden degradar la calidad de las aguas provocando un intenso crecimiento de algas y un aumento de los niveles de eutrofización de los cuerpos de agua.

CALIDAD DE AGUAS SUPERFICIALES	VALORES (mg/l)	NNAPH
<i>No contaminada</i>	0-24	-
<i>No contaminada</i>	25	<i>Valor recomendado</i>
<i>No contaminada</i>	25-50	-
<i>No contaminada</i>	50	<i>Valor máximo permitido</i>
<i>Contaminada</i>	>50	<i>Valor fuera de la norma</i>

Tabla 19: Calidad de aguas superficiales en función de la norma

La calidad de las aguas superficiales puede verse afectada de un modo directo por un exceso en la concentración de nitratos (Tabla 18)

En función de los valores recomendados o permitidos por la Norma Técnica Nacional de Aguas Potables de Honduras, se puede establecer que (Tabla 19):

NITRITOS

La presencia de este compuesto es reflejo de la existencia de un activo proceso biológico influido por contaminación orgánica. Los nitritos, normalmente, están ausentes en el aguas o su presencia es muy baja, del orden de 0,001 mg/l.

Los nitritos, ocurren como un estadio intermedio en la degradación de compuestos orgánicos que contienen nitrógeno. Las bacterias formadoras de nitritos, convierten el amonio, en nitrito bajo condiciones aerobias. La reducción de los nitratos también puede producir nitritos bajo condiciones anaerobias. Por tanto, puede concluirse que los nitritos pueden provenir de una oxidación incompleta del amoniaco, cuya nitrificación no se ha completado, o de una reducción de los nitratos bajo el influjo de una acción desnitrificante.

<i>CALIDAD DE AGUAS SUPERFICIALES</i>	<i>VALORES (mg/l)</i>	<i>NTNAPH</i>
<i>No contaminada</i>	<i><0,1 ó 0,3</i>	<i>-</i>
<i>No contaminada</i>	<i>0,1 ó 0,3</i>	<i>Valor máximo permitido</i>
<i>Contaminada</i>	<i>>0,1 ó 3,0</i>	<i>Valor fuera de la norma</i>

Tabla 20: Si se escoge el valor de 3,0 mg/l debe de relacionarse los nitritos y nitratos por la siguiente fórmula: $(NO_3)/V.R.NO_3 + (NO_2)/V.R.NO_2$, siendo V.R. el valor recomendado.

Ya que los nitritos se oxidan rápidamente a nitratos, raramente se encuentran en aguas superficiales. La presencia de altas concentraciones de nitritos se asocia a una descomposición parcial de restos orgánicos, pudiendo indicar una contaminación de carácter fecal reciente.

En función de los valores recomendados o permitidos por la Norma Técnica Nacional de Aguas Potables de Honduras, se puede establecer que: (Tabla 20)

ORTOFOSFATOS Y FÓSFORO LIBRE

El fósforo es un elemento no metálico que puede presentarse de diversas formas orgánicas e inorgánicas, y puede estar presente en las aguas bien disuelto o en partículas y sobre todo en forma de fosfatos, siendo el más importante de ellos el ortofosfato.

Debido a que en la mayoría de los cuerpos de agua existen cantidades relativamente altas de iones calcio y magnesio y a que los fosfatos de dichos elementos son altamente insolubles, la concentración de fósforo bajo la forma de ortofosfato en aguas naturales es relativamente baja. Los lodos y sedimentos donde se acumulan los fosfatos precipitados, suelen contener cantidades mayores a las de la fase acuosa.

En general, el fósforo es raro encontrarlo en concentraciones importantes en las aguas de superficie, ya que es activamente absorbido por las plantas, mientras que las aguas subterráneas pueden contener concentraciones más elevadas.

El fósforo inorgánico en el agua proviene de diferentes fuentes, de algunos procesos de tratamiento de aguas que utilizan pequeñas cantidades de fosfatos condensados como agentes floculantes, de los procesos de lavado con detergentes tanto a nivel industrial como doméstico, de las aguas residuales de los procesos agrícolas si están fertilizadas con estos compuestos, etc.

A su vez, el fósforo orgánico deriva fundamentalmente de la descomposición de la materia orgánica, abundante en las aguas residuales domésticas, en las aguas residuales agroindustriales (ganaderías, criaderos, etc.) y en algunas industrias alimenticias. Pese a ello, la principal fuente de fósforo en el agua deriva de las aguas residuales agrícolas y de los detergentes de lavado doméstico.

El fósforo libre no es tóxico para el hombre ni otros animales y es un elemento esencial para el crecimiento de las plantas. Una concentración elevada puede contribuir a la eutrofización de los cuerpos de agua, especialmente cuando éstos contienen también grandes concentraciones de nitrógeno.

En función de la concentración de fósforo total existente en las aguas superficiales se puede clasificar como: (Tabla 21)

CALIDAD DE AGUAS SUPERFICIALES	FÓSFORO (mg/l)
<i>No contaminadas</i>	<i>0,01-0,09</i>
<i>Poco contaminadas</i>	<i>0,1-0,9</i>
<i>Muy contaminadas</i>	<i>≥ 1,0</i>

Tabla 21: Estado del agua en función de la concentración de fósforo total (Massol, 2010 c)

SULFATOS

La mayoría de los sulfatos son solubles en agua (a excepción de los de Pb, Ba y Sr), por lo que se distribuye ampliamente en la naturaleza y puede presentarse en aguas naturales en un amplio intervalo de concentraciones, que van desde unos pocos a varios miles de miligramos por litro.

El origen de este ion en las aguas se debe fundamentalmente a los procesos de disolución de yesos ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), oxidación de menas de sulfuro, residuos del drenaje de minas (oxidación de la pirita y del uso del ácido sulfúrico), desechos industriales y fertilizantes.

CLORUROS

Salas que en general son muy solubles, muy estables en disolución y muy difícilmente precipitables, no se oxida ni se reduce en aguas naturales, en general asociado al ion Na^+ .

El ión cloruro se encuentra con frecuencia en las aguas naturales y residuales, en concentraciones que varían desde 1 a 250 ppm por litro en aguas dulces. Este ión ingresa al agua de forma natural, mediante el lavado que las aguas lluvias realizan sobre el suelo; sin embargo, como quiera que la superficie de contacto entre el agua y los materiales del suelo es relativamente baja en las aguas superficiales, la concentración de cloruros en estos cuerpos de agua tiende a ser también relativamente baja, salvo que éstas hayan sido afectadas por eventos antrópicos (las aguas son cloradas para potabilizarse). Contenidos elevados son perjudiciales para muchas plantas y comunican corrosividad al agua.

Por otra parte, las heces y orines humanos y en general las de todos los organismos superiores, poseen una concentración de cloruros que es aproximadamente igual a la que se ingiere en los alimentos, por lo que se considera que este ión es un indicador importante en las evaluaciones de contaminación de aguas.

METALES ALCALINOS (Na, K)

Estos dos elementos alcalinos presentan bastantes similitudes en cuanto a sus características químicas: sus sales son bastantes solubles en agua, en donde se encuentran en forma iónica y ambos son difíciles de precipitar.

En general, las concentraciones de sodio en el agua naturales son mayores que las de potasio.

Sodio: Las concentraciones de sodio en ríos y lagos son mucho más bajas que las marinas, su valor depende de las condiciones geológicas y de la contaminación por aguas residuales, pero lo habitual en aguas naturales es de 1 a 150 ppm. Los compuestos del sodio se utilizan en muchos procesos industriales, el nitrato de sodio se aplica frecuentemente como un fertilizante sintético y el cloruro de sodio en la alimentación.

Las aguas con elevadas concentraciones de Na son perjudiciales para las plantas al reducir la permeabilidad del suelo; son especies nocivas si las concentraciones de Ca y Mg son bajas.

Potasio: Es un elemento nutriente esencial para los animales y plantas, aunque en altas concentraciones puede ser perjudicial para los sistemas digestivos y nervioso de los humanos, en concentraciones habituales (0,1-10 ppm) no supone problema.

No existe ninguna clasificación de aguas en función de su contenido en elementos alcalinos, pero teniendo en cuenta la NTNAPH (Tabla 22) se puede determinar qué:

CALIDAD AGUA	SODIO (mg/l)	POTASIO (mg/l)	NTNAPH
<i>Potable</i>	25	-	<i>Valor recomendado</i>
<i>Potable</i>	>25-200	<10	<i>Valor permitido</i>
<i>Potable</i>	200	10	<i>Valor máximo permitido</i>
<i>No potable</i>	>200	>10	<i>Valor no permitido</i>

Tabla 22: Calidad del agua en función del contenido de Na y K según la norma

METALES ALCALINOTÉRREOS (Ca, Mg)

El calcio y el magnesio presentan similitudes en cuanto a las características químicas, salvo que el magnesio es algo más soluble y difícil de precipitar que el calcio.

La presencia de Calcio y Magnesio de forma natural nos indica la dureza del agua, cuanto más abundantes sean estos iones mayor será la dureza. Por tanto, la dureza es la solución en agua tanto de Ca como de Mg en forma iónica, independientemente de la naturaleza de los aniones presentes.

El mayor inconveniente de estos dos elementos es que en concentraciones elevadas contribuye a producir incrustaciones.

En función de la NTNAPH (Tabla 23) se puede establecer que la calidad de agua en función de este único parámetro es:

CALIDAD AGUA	CALCIO (mg/l CaCO₃)	MAGNESIO (mg/l CaCO₃)	NTNAPH
<i>Potable</i>	<100	<30	<i>Valor permitido</i>
<i>Potable</i>	100	30	<i>Valor máximo permitido</i>
<i>No potable</i>	>100	>30	<i>Valor no permitido</i>

Tabla 23: Calidad del agua en función del contenido en Ca y Mg según la norma

METALES PESADOS (Mn, Fe, Cu, Zn, Cd, Pb)

En esta tesis no se ha estudiado la concentración de Pb ni la de Cd, pero una descripción de los mismos puede ser útil para la comprensión de capítulos descritos posteriormente.

En la química del agua se consideran metales pesados a todos aquellos metales con un número atómico mayor de 20, exceptuando a los alcalinos, alcalinotérreos, lantánidos y actínidos.

Manganeso y Hierro: Ambos presentan un comportamiento similar en cuanto a sus características químicas, pueden formar complejos orgánicos estables. Son elementos que a menudo se encuentran en aguas subterráneas provocando la formación de precipitados y aportando color y sabor al agua.

Cobre y Zinc: El cobre puede estar presente naturalmente en agua, como sal soluble o como partículas en suspensión. En pequeñas cantidades es esencial para animales y plantas, es tóxico para los peces y plantas acuáticas a bajos niveles y en combinación con otros metales como el Zinc. A concentraciones de 0,1 mg/l es útil para controlar el desarrollo de las algas y del plancton

Cadmio: Puede ser encontrado extensamente en la corteza terrestre y pueden estar en combinación con el Zn. La aplicación de ciertos fertilizantes o de excremento de animales en el suelo destinado al cultivo de alimentos puede aumentar su nivel de cadmio lo cual, a su vez, causa un aumento en el nivel de cadmio de los productos, pudiendo llegar a ser nocivo para la salud.

Pb: Rara vez se encuentra en estado elemental, el mineral más común es el sulfuro, la galena.

El plomo y los compuestos de plomo son generalmente contaminantes tóxicos. El plomo limita la síntesis clorofílica de las plantas. No obstante, las plantas pueden absorber del suelo altos niveles de plomo, hasta 500 ppm. Concentraciones más altas perjudican el crecimiento de las plantas. Mediante la absorción por parte de las plantas, el plomo se introduce en la cadena alimenticia. El plomo se acumula en los organismos, en los sedimentos y en el fango.

No existe ninguna clasificación de aguas en función de la presencia de los metales pesados, pero si se tienen en cuenta los niveles recomendados y /o permitidos por la NTNAPH (Tabla 24) se puede determinar qué:

CALIDAD AGUA	Mn (mg/l)	Fe (mg/l)	Cu (mg/l)	Zn (mg/l)	Cd (mg/l)	Pb (mg/l)	NTNAPH
<i>Potable</i>	0,01	-	1,0	-	-	-	<i>Valor recomendado</i>
<i>Potable</i>	0,5	0,3	2,0	3,0	0,003	0,01	<i>Valor permitido</i>
<i>No potable</i>	>0,5	>0,3	>2,0	>3,0	>0,003	>0,01	<i>Valor no permitido</i>

Tabla 24: Calidad de agua en función del contenido en metales pesados según la norma

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

Las coliformes son una familia de bacterias que se encuentran comúnmente en las plantas, el suelo y los animales, incluyendo los humanos. Se distinguen: los coliformes totales, que comprende la totalidad del grupo y los coliformes fecales, aquellos de origen intestinal.

Generalmente, las bacterias coliformes se encuentran en mayor abundancia en la capa superficial del agua o en los sedimentos del fondo (Munn, 2004). La presencia de bacterias coliformes en las aguas es un indicio de que el agua puede estar contaminada con aguas negras u otro tipo de desechos en descomposición.

La contaminación fecal ha sido y sigue siendo el principal riesgo sanitario en el agua, ya que supone la incorporación de microorganismos patógenos que pueden provocar enfermedades en la salud humana. Por ello el control sanitario de riesgos microbiológicos es tan importante, y constituye una medida sanitaria básica para mantener un grado de salud adecuado en la población (Marín et al., 2004).

Sólo los E-Coli tienen un origen específicamente fecal, pues están siempre presentes en grandes cantidades en las heces de los seres vivos de sangre caliente y rara vez se encuentran en agua o suelo que no haya sufrido algún tipo de contaminación fecal. Por tanto, se considera que la detección de éstos como organismos fecales o la presencia de E-Coli constituyen una información suficiente como para estimar la naturaleza fecal de dicha contaminación.

En función de la concentración de coliformes las aguas pueden ser clasificadas según la NTNAPH (Tabla 25) como:

CALIDAD AGUA	RECUENTO TOTAL BACTERIANO (UFC/100ML)	COLIFORMES TOTALES (UFC/100ML)	COLIFORMES FECALES (UFC/100ML)	E-COLI (UFC/100ML)	NTNAPH
<i>No contaminada</i>	<500	0	0	0	<i>Valor máximo permitido</i>
<i>Contaminada</i>	>500	>0	>0	>0	<i>Valor no permitido</i>

Tabla 25: Calidad del agua e función del contenido bacteriano según la norma

5.2.4. DESCRIPCIÓN DE OTROS PARÁMETROS

A continuación se va a describir una serie de parámetros que aunque no han sido analizados para este proyecto guardan una relación directa con el estudio y se consideran importantes en el desarrollo posterior medioambiental.

TRANSPARENCIA DE SECCHI

Debido a problemas ajenos al desarrollo de esta tesis en el Lago de Yojoa, no se ha podido realizar la toma de medidas de la transparencia de Secchi en los 10 puntos de muestreo establecidos para este estudio.

No obstante, los datos que a continuación se exponen corresponden a un estudio que se desarrollaba en paralelo al nuestro y financiado también por la ONG, Geólogos del Mundo, que expuso Díaz Gutiérrez.

Estos datos son usados porque la toma de medidas realizadas corresponde a las mismas fechas de estudio y en puntos de muestreo comunes.

Mediante un disco de Secchi (Fig.33) sujeto a una cinta de medición, se obtiene la medida de la transparencia o visibilidad del agua del lago. Dicha transparencia es dependiente de modo directo de la concentración de partículas en suspensión (ya sean inorgánicas u orgánicas), de los niveles de materia orgánica disuelta y coloreada, de la cantidad de biomasa planctónica existente, de los grados de contaminación por nutrientes presentes en el agua y de todo aquello que impida la claridad del agua.

Además en épocas frías en que la temperatura del agua es inferior, existe menos intensidad solar y por ello no se dan las condiciones óptimas para la actividad fotosintética: se reduce la proliferación de algas, aumentando en consecuencia la transparencia. Este es un dato importante a la hora de realizar los muestreos e interpretar posteriormente los resultados obtenidos, ya que este parámetro puede ser un buen indicador de la productividad general de los cuerpos de agua.



Fig. 33 – Disco de Secchi

NITRÓGENO AMONIACAL

Es la forma de nitrógeno más reducida que puede encontrarse en el agua e incluye el amoníaco disuelto (NH_3) y el ion amonio (NH_4^+). Las bacterias fijadoras de nitrógeno que viven en asociación simbiótica con las plantas, suelo o aguas reducen la forma N_2 a amoníaco (NH_3) o al ion amonio (NH_4^+). Son muy solubles en el agua, siendo generalmente el ión amonio una forma transitoria.

El amoníaco contribuye a la fertilidad de las aguas ya que el nitrógeno es un nutriente esencial para las plantas. En consecuencia, amoníaco e ión amonio promueven el crecimiento de la biota acuática. Además, el amoníaco es un componente común de las aguas de desecho resultante de la descomposición de la materia orgánica nitrogenada, animal o vegetal, o de la reducción microbiológica de los nitratos o nitritos bajo condiciones anaeróbicas.

Asociado a minerales arcillosos, el amoníaco entra en el medio acuático a través de la erosión de suelos. Las plantas leguminosas pueden fijar en el suelo grandes cantidades de nitrógeno que finalmente termina por fluir hacia las aguas circundantes.

Los fertilizantes comerciales suelen presentar sales solubles de amoníaco e ión amonio. Cuando la concentración de estos compuestos excede los requerimientos de las plantas, las aguas de lluvia pueden arrastrar estos compuestos nitrogenados hacia los sistemas acuáticos.

El amoníaco es una sustancia tóxica, no persistente y no acumulativa, que en pequeñas concentraciones no produce daño fisiológico ni a humanos ni a animales.

6. RESULTADOS OBTENIDOS y DISTRIBUCIÓN ESTACIONAL Y ESPACIAL

En este capítulo se presenta una síntesis con los resultados considerados más relevantes, tanto de los muestreos realizados con la sonda como de los análisis obtenidos en el laboratorio;

Se contempla la distribución estacional de los parámetros en la superficie del Lago de Yojoa en función de si la estación es seca o de lluvias.

Por otro lado, la distribución espacial de los mismos se analiza con la ayuda de mapas (construidos por el programa Surfer con el método de cálculo Kriging), en los que aparecen valores mínimos en el NE de todos los mapas, y que son producto del cálculo Kriging y no valores que se ajusten a la realidad.

Los mapas correspondientes a los tres parámetros comunes (pH, Conductividad y TSD, Fig.34) se han realizado con la media de los valores de sonda y laboratorio, porque a pesar de no ser valores exactos si pueden ser utilizados para el análisis estacional y espacial de los mismos.

Como se ha estado haciendo hasta el momento, se ha dividido la presentación de los resultados en tres grupos: parámetros comunes para sonda y laboratorio, parámetros solo analizados por la sonda, parámetros solo analizados en el laboratorio y otros resultados analizados de modo independiente a los anteriores. Un resumen de los resultados presentando las medias calculadas, se encuentran en el ANEXO 1 y los análisis del laboratorio en el ANEXO 2

6.1. RESULTADOS DE PARÁMETROS COMUNES ENTRE SONDA Y LABORATORIO

Los resultados de las dos determinaciones, sonda y laboratorio, de los tres parámetros comunes (pH, conductividad eléctrica y total de sólidos disueltos) se analizan realizando los promedios de ambas, para obtener un resultado común y único. Ésta decisión se toma ya que se considera que:

Sonda: Durante toda la etapa de trabajos de campo, se ha considerado que la sonda estaba bien calibrada, puesto que en la primera etapa de muestreos la sonda llega a Honduras recién calibrada por la casa Hanna; al comenzar la segunda etapa se realizan diversas comprobaciones obteniendo registros a primera vista coherentes con la etapa anterior, por tanto, se da por buenos los datos registrados.

Laboratorio: Para los análisis químicos y microbiológicos se ha elegido el laboratorio de la FHIA porque, además de ser el de mayor prestigio del país y de poder analizar todos los parámetros propuestos, es el que había realizado también los análisis en otros estudios, y por tanto parecía el más adecuado para

poder realizar comparaciones entre los datos de este proyecto y los que habían sido publicados en años anteriores. Los resultados obtenidos fueron cotejados con otro laboratorio, obteniendo los mismos valores, por lo que se ha considerado que la FHIA era un laboratorio fiable.

No obstante, una vez que se procesan los datos en común de la sonda y el laboratorio se han encontrado diferencias en los resultados (Fig.35,36,37 ejemplos para el mes de Abril). Ambos registros siempre siguen la misma tendencia, registrándose valores siempre inferiores en la sonda respecto al laboratorio, con diferencias que en algunos casos superan el 40%, lo que las haría inasumibles.

La única explicación plausible es la posible alteración de la muestra entre toma y llegada al laboratorio a pesar de las precauciones tomadas y de seguir siempre la norma y recomendaciones del laboratorio.

A la hora de trabajar con estos datos, siendo conscientes de este problema, y ya que no podemos discernir en esta etapa de investigación cuales serían los más correctos, se ha optado por presentar los resultados como la media de los dos tipos de análisis, lo que rebajaría su validez a la de una orientación casi cualitativa.

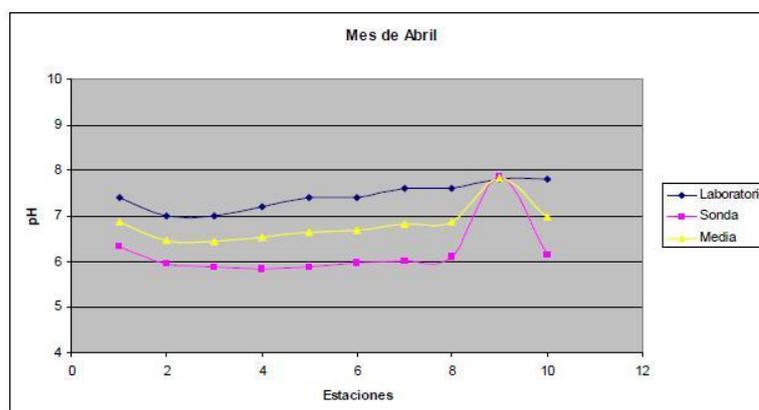


Fig. 35 – Diferencias en el registro del pH entre la sonda y laboratorio en el mes de Febrero

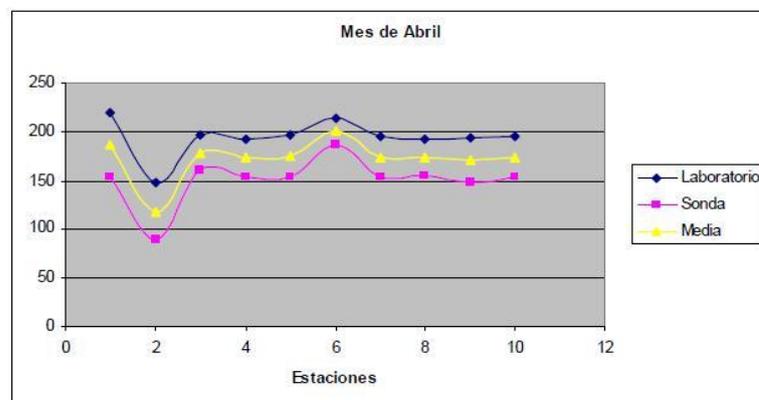


Fig. 36 – Diferencias en el registro de la conductividad entre la sonda y laboratorio en el mes de Febrero

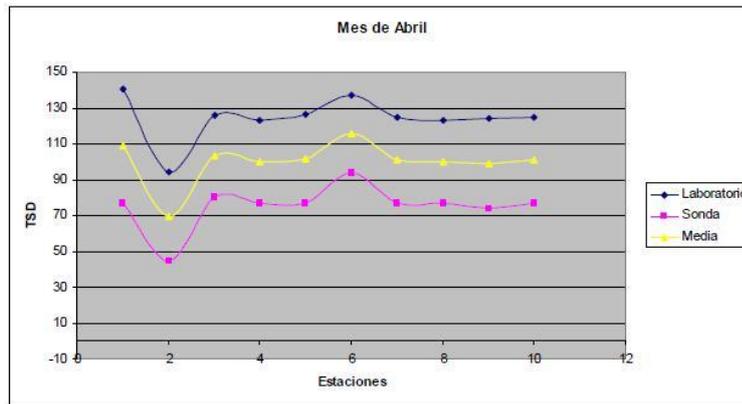


Fig. 37 – Diferencias en el registro del total de sólidos disueltos entre la sonda y laboratorio en el mes de Febrero

pH

- Norma Técnica Nacional para Aguas Potables: No existe regulación para este parámetro.
- Valor máximo y mínimo registrado: El valor máximo es 7,9 (Febrero, Muelle Chico) y el mínimo de 6,4 (Abril, Muelle Chico).
- Promedios mensuales: El rango de promedios mensuales oscila entre los valores 6,8 a 7,7. EL promedio total es pH= 7,2
- Distribución estacional: Se observa estacionalidad, las aguas en la época de lluvias son ligeramente más ácidas, comienza a acidular a partir del mes de Abril.
- Distribución espacial: Se puede considerar uniforme en todo el cuerpo de agua, no obstante se observa una ligera acidulación en centro-S.

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

- Norma Técnica Nacional para Aguas Potables: Valor máximo permitido 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Todos los registros se encuentran dentro de los límites marcados, ninguno de ellos iguala o supera el valor máximo propuesto.
- Valor máximo y mínimo registrado: El valor máximo es de 200,72 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Abril, El Cianuro) y el mínimo de 118,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Abril, Pito Solo).
- Promedios mensuales: El rango de promedios mensuales oscila entre los valores 153,7 a 180,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$. El promedio total es 164,7 $\mu\text{S}/\text{cm}$.
- Distribución estacional: No se observa estacionalidad ya que los promedios mensuales máximo y mínimo pertenecen a la estación de lluvias, estando los resultados de la estación seca dentro en este rango. Los valores máximos se encuentran en los meses de Abril y Octubre y los mínimos en Noviembre.
- Distribución espacial: No es uniforme, localizando los máximos en el extremo W (El Cianuro, Punta Gorda) y de un modo más local en el extremo S y E entorno a las piscifactorías y Monte Verde.

TOTAL DE SÓLIDOS DISUELTOS

- Norma Técnica Nacional para Aguas Potables: Establece como contenido máximo permitido de TDS 1.000 mg/l. En todos los registros se encuentran valores netamente inferiores al máximo permitido
- Valor máximo y mínimo registrado: Valor máximo 120,09 mg/l (Octubre, Punta Gorda), valor mínimo 69,43 mg/l (Abril, Pito Solo).
- Promedios mensuales: El rango de promedios mensuales oscila entre los valores 88,99 a 115,41 mg/l. El promedio total es de 97,39 mg/l.
- Distribución estacional: No se observa estacionalidad ya que los promedios mensuales máximo y mínimo pertenecen a la estación de lluvias, estando los resultados de la estación seca dentro de este rango. Los valores máximos corresponden a los meses de Abril y Octubre y los mínimos a Noviembre.
- Distribución espacial: Se localizan máximos en el extremo W, centro-E del Lago y S, éstos últimos de modo local.

6.2. RESULTADOS DE LOS PARAMETROS DE LA SONDA

Las mediciones de ORP, OD, Resistividad, Temperatura, Salinidad y Presión Atmosférica fueron obtenidos exclusivamente con la sonda, de ellos la Resistividad, como se ha explicado en el capítulo anterior es inversa (Fig.38) a la Conductividad por lo que la exposición de los resultados no aportaría información nueva al estudio.

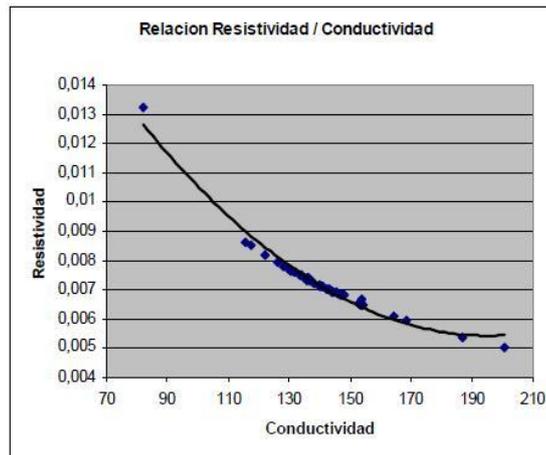


Fig. 38 – Relación inversamente proporcional entre la conductividad y la resistividad. La resistividad es calculada de modo automático por la sonda a partir del dato que registra de conductividad

En el caso del Oxígeno Disuelto y siguiendo la Ley de Henry (disolución de gases en líquidos, Babor y Ibarz, 1963), la solubilidad de un gas es directamente proporcional a la presión del gas sobre el líquido. Esto se cumple en algunos casos, como el ejemplo del mes de Agosto (Fig.39)

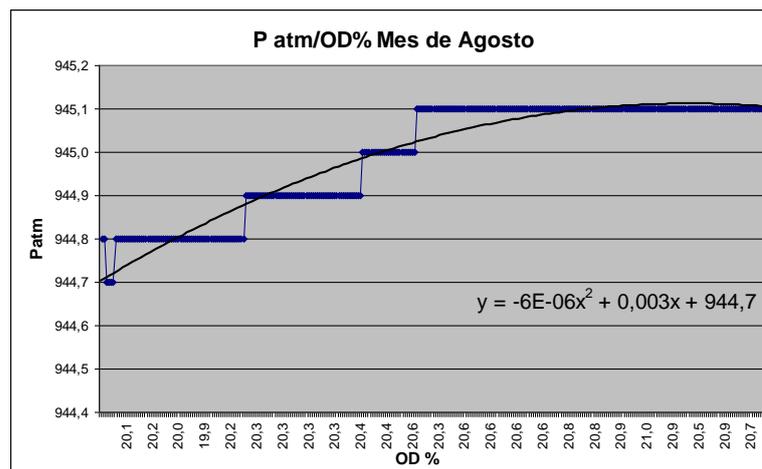


Fig. 39 - Aumento de la concentración de oxígeno al aumentar la presión atmosférica

Sin embargo, en el ejemplo de la figura 40 se observa una línea de tendencia ligeramente proporcional entre los parámetros, aunque existe una gran dispersión de los datos, que los hace difícilmente aceptables como buenos, o cabe la posibilidad de que influyan otros factores en su solubilidad; pero cuando se

observa la relación en tanto por ciento de saturación de oxígeno frente a la presión, la relación entre ellos es inversa.

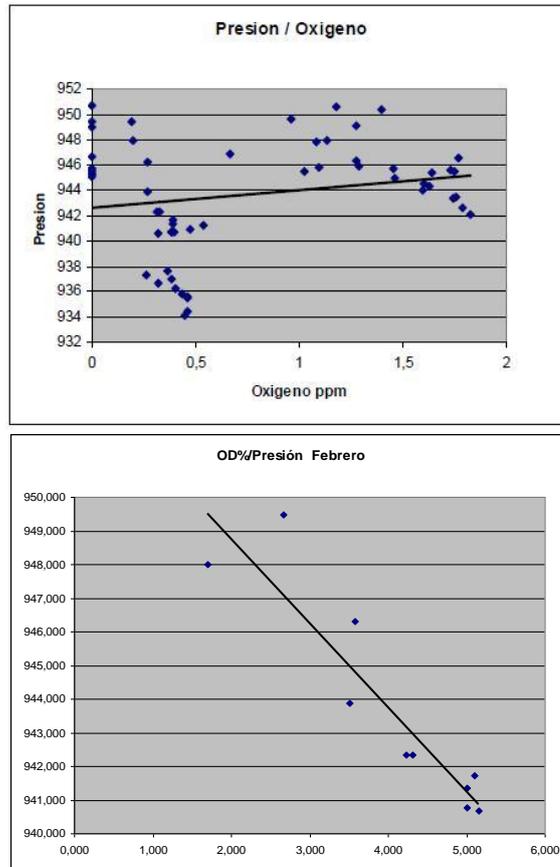


Fig. 40 – Relación existente entre la concentración de OD y la Presión Atmosférica para un muestreo puntual y para las medias de un mes

Por otro lado, si se tienen en cuenta las relaciones de la solubilidad del oxígeno (en partes por millón o en tanto por ciento de saturación) con la temperatura, no se observa una menor solubilidad al aumentar temperatura como sería de esperar (Fig.41). Estos dos hechos nos pueden estar indicando que podría haber algún problema con las mediciones de oxígeno por medio de la sonda.

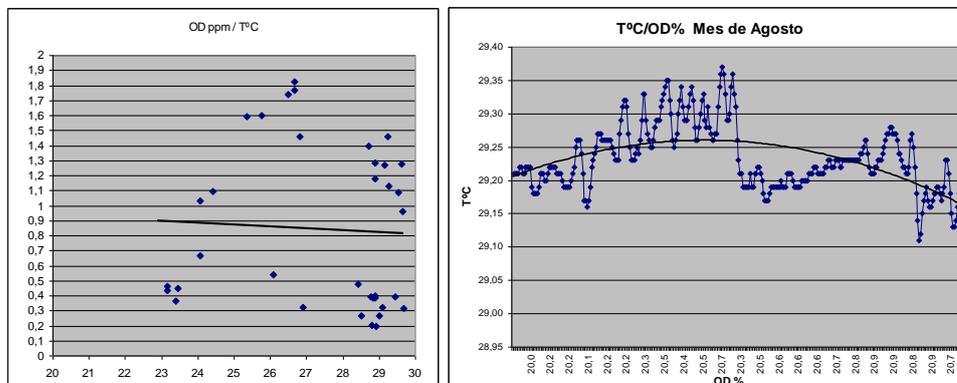


Fig.41 – Relación existente entre la concentración de OD frente a la Temperatura en una muestra y para las medias de un mes concreto

Por último, durante la toma de muestras la sonda no alcanza una estabilización en el registro del Potencial Redox (ORP), apreciándose una fluctuación constante de los valores registrados que no sigue ningún patrón de comportamiento.

No obstante estas limitaciones, los datos correspondientes exclusivamente a la sonda se presentan a continuación, y los mapas de distribución nos ofrecen los siguientes resultados (Fig.42):

POTENCIAL REDOX (ORP)

- Norma Técnica Nacional para Aguas Potables: No existe regulación para este parámetro.
- Valor máximo y mínimo registrado: Valor máximo 215,27 (Noviembre, Piscifactorías) y el valor mínimo registrado es de -81,87 (Mayo, Loma Larga).
- Promedios mensuales: El rango de promedios mensuales oscila entre el valor 9,51 a 194,46. El promedio total es de 74,56.
- Distribución estacional: Los valores que indican condiciones oxidantes corresponden a los meses de Febrero, Agosto y Noviembre y los reductores a Abril, Mayo y Septiembre.
- Distribución espacial: Mientras los valores del ORP fluctúan en casi todo el Lago, existe un punto la zona centro-E (Piscifactorías) que se mantiene siempre oxidante.

OXIGENO DISUELTO (OD)

- Norma Técnica Nacional para Aguas Potables: No existe regulación para este parámetro.
- Valor máximo y mínimo registrado: Valor máximo registrado es 25,94% (Agosto, Piscifactorías) y el valor mínimo registrado es de 1,7% (Febrero, Pito Solo).
- Promedios mensuales: El rango de promedios mensuales oscila entre el valor 4,025% y 23,9%. El promedio total es de 11,98%.
- Distribución estacional: En general los promedios mensuales de la época seca son inferiores a los de la época de lluvias. A finales de la época de lluvias la concentración de OD comienza a disminuir hasta los meses de Enero-Febrero que alcanza los mínimos, a partir de aquí comienza un aumento de las concentraciones a medida que transcurren los meses.
- Distribución espacial: Cabe destacar que en la zona de las piscifactorías la concentración de oxígeno siempre es superior a 5 mg/l, también existen máximos en la zona W (Sinaí y El Cianuro) y Canal ENEE (NW).

TEMPERATURA

- Norma Técnica Nacional para Aguas Potables: Valor recomendado de 18°C a 30°C. Todas las temperaturas registradas se encuentran dentro de los valores recomendados.
- Valor máximo y mínimo registrado: El valor máximo es de 29,68 °C (Mayo, El Cianuro) y el mínimo de 22,9 °C (Abril, Pito Solo).
- Promedios mensuales: El rango de promedios mensuales oscila entre el valor 23,26 °C a 29,002°C. El promedio total es de 26,61 °C.
- Distribución estacional: Los promedios mensuales de la época seca son inferiores a los de la época de lluvias excepto Noviembre. A partir de este mes la temperatura comienza a disminuir hasta llegar a Enero que alcanza los registros mínimos; a partir de aquí comienza un aumento paulatino de las mismas a medida que transcurren los meses, hasta alcanzar los valores máximos en el mes de Mayo manteniéndose altos hasta alcanzar de nuevo el mes de Noviembre.
- Distribución espacial: Bastante homogénea en todo el Lago.

SALINIDAD

- Norma Técnica Nacional para Aguas Potables: No existe regulación para este parámetro.
- Valor máximo y mínimo registrado: El valor máximo es de 0,092 PSU (Enero, El Cianuro) y el mínimo de 0,038 PSU (Abril, Pito Solo).
- Promedios mensuales: El rango de promedios mensuales oscila de 0,059 PSU a 0,076 PSU. EL promedio total es de 0,066 PSU.
- Distribución temporal: Los registros de la época seca son ligeramente más elevados que en la de lluvias.
- Distribución espacial: Los máximos se localizan en el W (El Cianuro).

PARÁMETROS DE Sonda

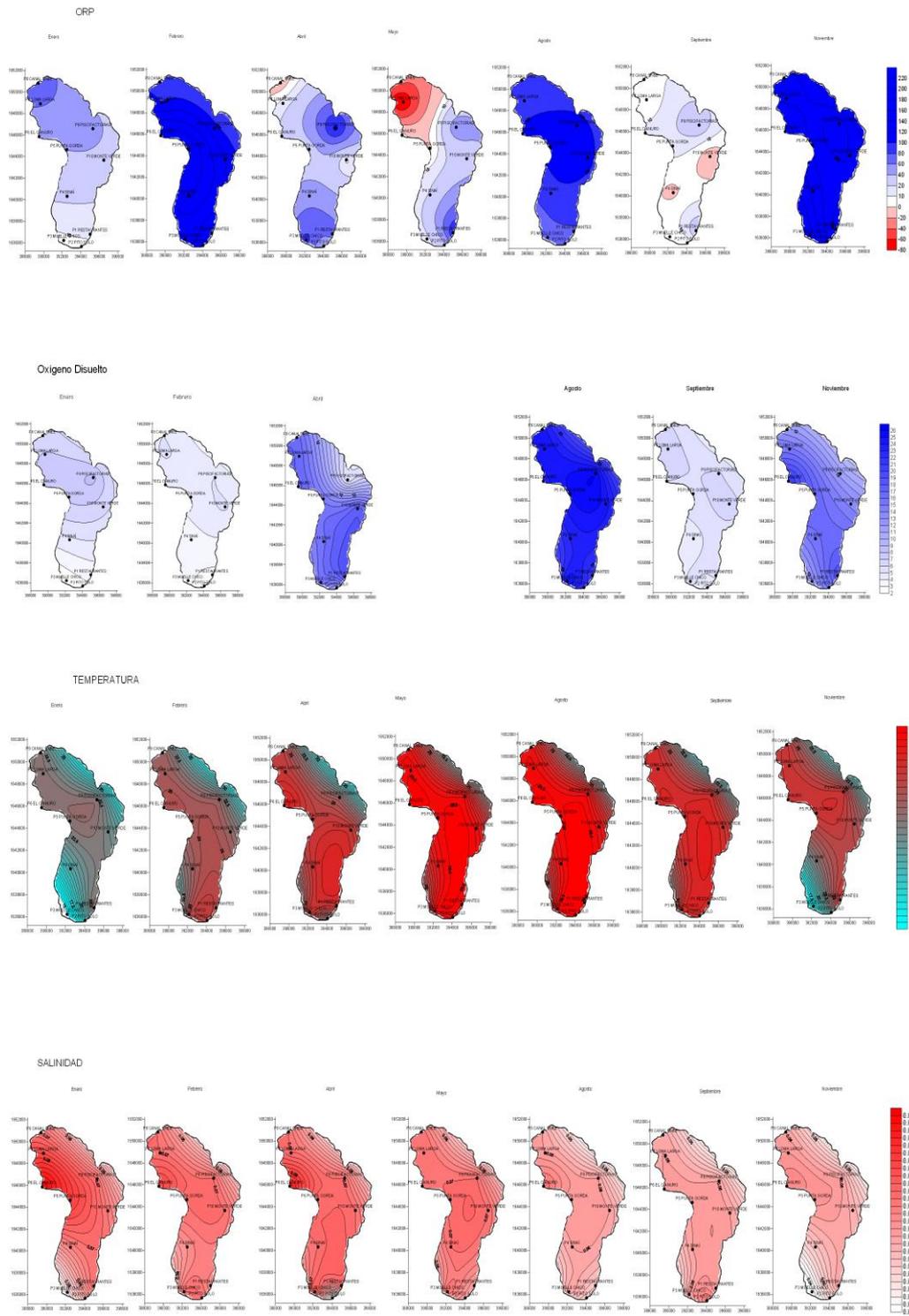


Fig. 42.- Mapas de distribución correspondientes exclusivamente a los análisis de la sonda.

6.3. RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS LABORATORIO

Los análisis del laboratorio han facilitado datos de Alcalinidad, Dureza, Turbidez (Fig.43), DBO, DQO (Fig.44), Aniones, Cationes (Fig.45,46,47,48) y Microbiología (Fig.49).

ALCALINIDAD

- Norma Técnica Nacional para Aguas Potables: No existe regulación para este parámetro.
- Valor máximo y mínimo registrado: Valor máximo 81,2 mg/l (Febrero, Piscifactorías) y valor mínimo 53,84 mg/l (Abril, Pito Solo).
- Promedios mensuales: El rango de promedios mensuales oscila entre los valores 69,23 mg/l a 77,46 mg/l. El promedio total es de 73,24 mg/l.
- Distribución estacional: Los promedios mensuales de la época seca son ligeramente superiores a los registrados en la época de lluvias. Los valores máximos pertenecen al mes de Febrero y los mínimos a Noviembre.
- Distribución espacial: Los valores máximos se localizan en el NW y centro-E del lago, de modo puntual en el S. Los mínimos en el extremo S del cuerpo de agua.

DUREZA

- Norma Técnica Nacional para Aguas Potables: Valor recomendado 400 mg/l CaCO_3 . En todos los registros se encuentran valores netamente inferiores a los recomendados.
- Valor máximo y mínimo registrado: Valor máximo 84,87 mg/l CaCO_3 (Abril, El Cianuro) y valor mínimo 51,75 mg/l CaCO_3 (Abril, Pito Solo).
- Promedios mensuales: El rango de promedios oscila entre los valores 66,86 a 71,8 mg/l CaCO_3 , con un promedio total de 68,76 mg/l CaCO_3 .
- Distribución estacional: En la época seca las aguas se presentan ligeramente más duras que en la época de lluvias. Los valores máximos se registran en el mes de Febrero y los mínimos en Noviembre.
- Distribución espacial: Es bastante homogénea, con valores máximos en el centro-E del Lago, mientras que los valores inferiores se encuentran en S, excepto durante el mes de Febrero que presenta dos mínimos en S (Pito Solo) y en el centro-E (Piscifactorías).

TURBIDEZ

- Norma Técnica Nacional para Aguas Potables: Valor recomendado 1 UNT, valores admisibles hasta 5 UNT. Solo de modo puntual se ha registrado en El Cianuro y en el mes de Abril, un valor de 5 UNT, límite máximo permitido por la NTNAPH. Todos los demás registros se

encuentran dentro de los límites e incluso algunos son inferiores al valor propuesto como recomendable.

- Valor máximo y mínimo registrado: Valor máximo 5 UNT (Abril, El Cianuro) valor mínimo <1 UNT (Febrero, Pito Solo y Punta Gorda; Abril, Restaurantes, Loma Larga Piscifactorías y Monte Verde; Mayo, Loma Larga y Piscifactorías).
- Promedios mensuales: El rango de promedios oscila entre los valores 2 UNT a 3 UNT.
- Distribución estacional: La turbidez de la época de lluvias es mayor que durante la época seca, correspondiendo los valores mínimos al mes de Febrero.
- Distribución espacial: Se observa un área de valores máximos en el W, en torno al punto de muestreo El Cianuro y en la zona S del lago.

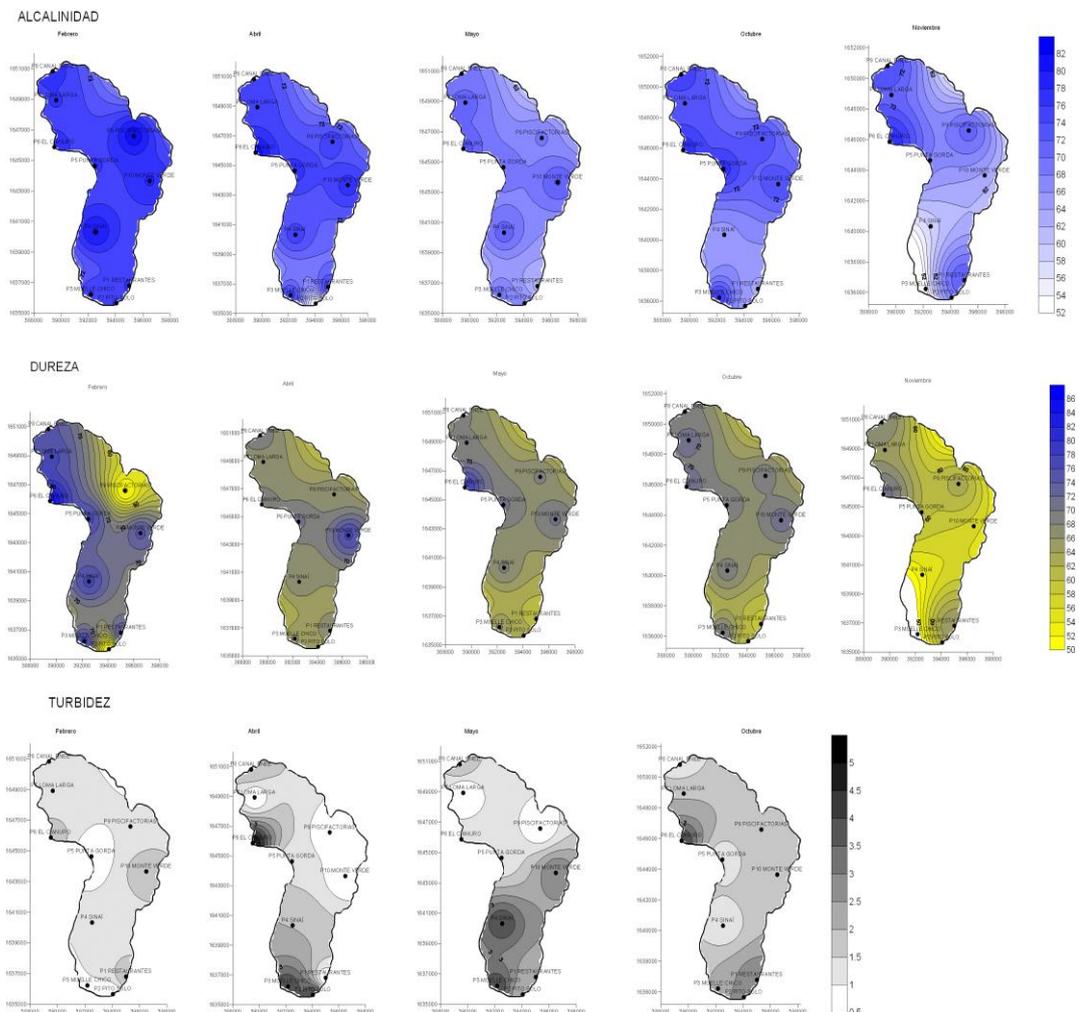


Fig 43 – Mapas de distribución espacial y estacional de Alcalinidad, Dureza y Turbidez.

DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)

- Norma Técnica Nacional para Aguas Potables: Valor máximo permitido 200 mg/l. Todos los registros se encuentran dentro de los límites marcados, ninguno de ellos iguala o supera el valor máximo propuesto.
- Valor máximo y mínimo registrado: Valor máximo 46 mg/l (Mayo, El Cianuro) valor mínimo <5 mg/l (Febrero en Canal ENEE y Octubre en todos los puntos de muestreo excepto en Restaurantes).
- Promedios mensuales: El rango de promedios oscila entre los valores 4,9 mg/l a 29,4 mg/l, con un promedio total de 16,76 mg/l.

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO)

- Norma Técnica Nacional para Aguas Potables: Valor máximo permitido 50 mg/l. Todos los registros se encuentran dentro de los límites marcados, ninguno de ellos iguala o supera el valor máximo propuesto.
- Valor máximo y mínimo registrado: valor máximo es de 10 mg/l (Mayo, El Cianuro), valor mínimo es de <2 mg/l (Febrero en el Canal ENEE y Octubre en todos los puntos de muestreo).
- Promedios mensuales (promedios mensuales): El rango de promedios DBO oscila entre los valores 1,9 mg/l a 6,1 mg/l, con un valor promedio total de 4,12 mg/l

La DBO está íntimamente relacionada con la DQO, la distribución estacional y espacial de ambos parámetros es muy similar siguiendo un mismo patrón de comportamiento.

- Distribución estacional: Durante la época seca existe mayor demanda de oxígeno en todo el Lago. Los valores máximos se localizan en el mes de Abril. Todos los registros del mes de Octubre son sustancialmente menores al resto de muestreos independientemente de la época a la que pertenezcan.
- Distribución espacial: Se puede apreciar que los valores máximos se localizan en torno al El Cianuro en el W del lago especialmente en el mes de Mayo.

Relación DBO/DQO

Al analizar la relación DBO/DQO se obtienen unos valores promedios que oscilan entre los valores 0,20 mg/l a 0,39 mg/l, con un valor promedio total de 0,2 mg/l.

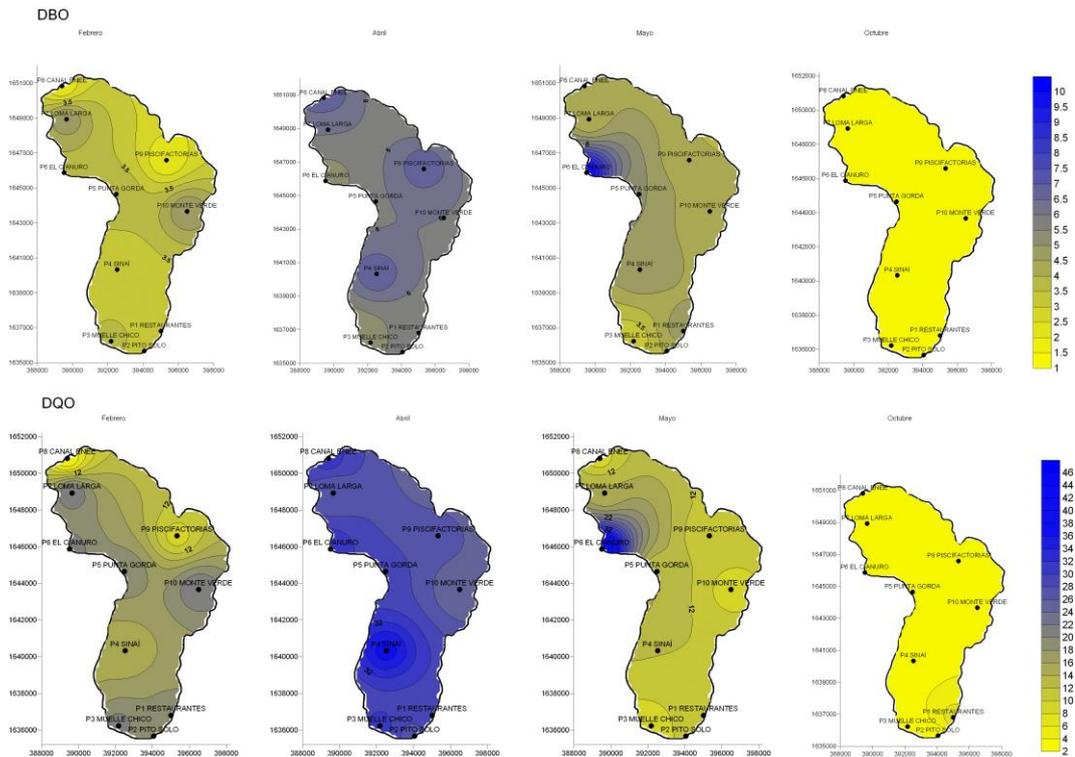


Fig 44 - Mapas de distribución espacial y estacional de la Demanda Química y Biológica.

NITRATOS

- Norma Técnica Nacional para Aguas Potables: Valor recomendado 25 mg/l, valor máximo permitido 50 mg/l. Ninguno de los valores registrados alcanza el valor recomendado.
- Valor máximo y mínimo registrado: Valor máximo 9,68 mg/l (Mayo, Pito Solo), valor mínimo 2,6 mg/l (Octubre, Punta Gorda).
- Promedios mensuales: El rango de promedios oscila entre los valores 5,39 mg/l a 6,6 mg/l, con un valor promedio total de 5,48 mg/l.
- Distribución estacional: Aunque la variación no es muy relevante, se observa una cierta estacionalidad, registrando concentraciones de nitratos más elevadas en la época seca (Febrero) que en la de lluvias (Octubre).
- Distribución espacial: Son de destacar las máximas en los extremos S y W del lago.

NITRITOS

- Norma Técnica Nacional para Aguas Potables: Valor máximo admisible 0,1 mg/l ó 3,0 mg/l. Si se escoge el valor de 3,0 debe relacionarse el nitrato y nitrito por la fórmula: $(NO_3)/V.R.NO_3 + (NO_2)/V.R.NO_2$. (Nota V.R. Valor recomendado). Existen registros que exceden el valor máximo permitido de 0,1 mg/l por la Norma Técnica de Aguas Potables, estos registros pertenecen a los puntos de muestreo de Pito Solo, Punta Gorda, EL Cianuro, Loma Larga y Piscifactorías en el mes de Febrero y de modo puntual en Pito Solo en el mes de Mayo.

- Valor máximo y mínimo registrado: Valor máximo 1,8 mg/l (Mayo, Pito Solo), valor mínimo 0,003 mg/l (Octubre, Piscifactorías).
- Promedios mensuales: El rango de promedios oscila entre los valores 0,01 mg/l a 0,21 mg/l, con un valor promedio total de 0,10 mg/l.
- Distribución estacional: No se ha observado estacionalidad ya que los promedios mensuales máximo y mínimo pertenecen a la estación de lluvias, estando los resultados de la estación seca dentro de este rango. Los valores máximos registrados corresponden al mes de Mayo.
- Distribución espacial: Al igual que en el caso de los nitratos, son de destacar las máximas en los extremos S y W del lago.

ORTOFOSFATOS

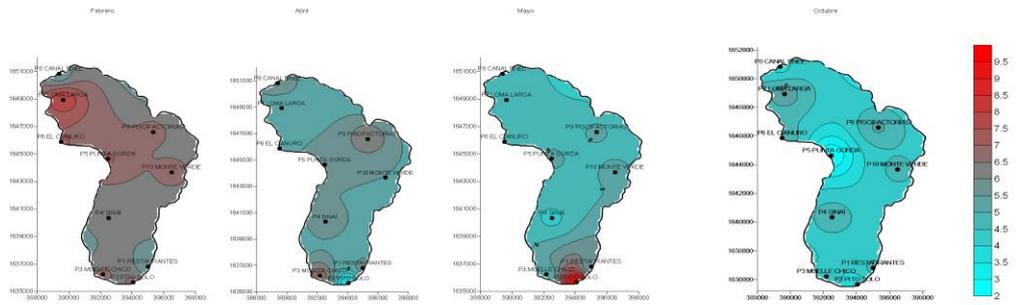
- Norma Técnica Nacional para Aguas Potables: No existe regulación para este parámetro.
- Valor máximo y mínimo registrado: Valor máximo 4,33 mg/l (Mayo, Pito Solo), valor mínimo N.D. (Mayo, todos los puntos de muestreo excepto Restaurantes, Pito Solo y El Cianuro).
- Promedios mensuales: El rango de promedios oscila entre los valores 0,62 mg/l a 1,96 mg/l, con un valor promedio total de 1,35 mg/l.
- Distribución estacional: Las concentraciones más elevadas corresponden a la época seca, mes de Abril y los mínimos al mes de Octubre, a finales de la época de lluvias.
- Distribución espacial: Las mayores concentraciones se localizan en el S.

FÓSFORO LIBRE

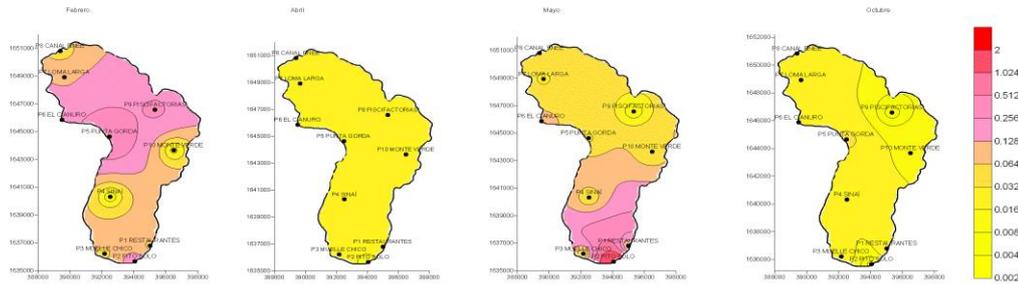
- Norma Técnica Nacional para Aguas Potables: No existe regulación para este parámetro.
- Valor máximo y mínimo registrado: Valor máximo 1,45 mg/l (Abril, Pito Solo), valor mínimo 0,09 mg/l (Abril, Monte Verde).
- Promedios mensuales: El rango de promedios oscila entre los valores 0,51 mg/l a 0,96 mg/l, con un valor promedio total de 0,75 mg/l.
- Distribución estacional: La contaminación es escasa en la época seca aumentando en la época de lluvias con máximos en Octubre.
- Distribución espacial: Los valores máximos de contaminación de fósforo libre se localizan en el S alrededor de Pito Solo, en el E entorno a Monte Verde y al W en Loma Larga.

NUTRIENTES

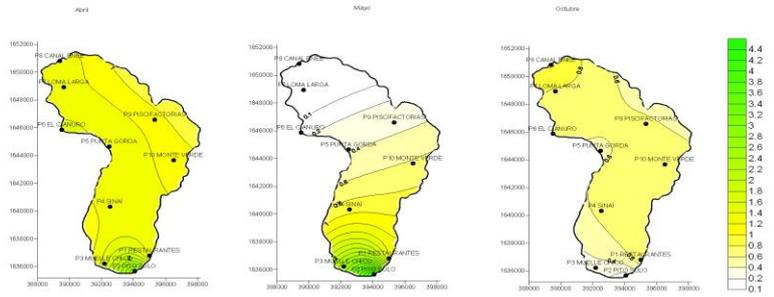
NITRATOS



NITRITOS



ORTOFOSFATOS



FOSFORO LIBRE

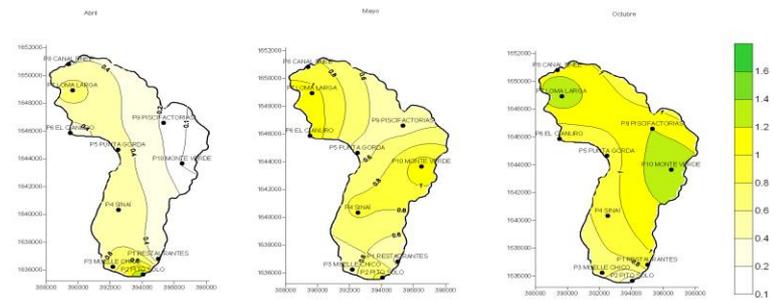


Fig 45 - Mapas de distribución espacial y estacional de los nutrientes.

SULFATOS

- Norma Técnica Nacional para Aguas Potables: Valor recomendado 25 mg/l, valor máximo permitido 250 mg/l. Todos los registros se encuentran por debajo del valor propuesto como recomendado

- Valor máximo y mínimo registrado: Valor máximo 5,27 mg/l (Febrero, El Cianuro), valor mínimo 0,009 mg/l (Mayo, Loma Larga).
- Promedios mensuales: El rango de promedios oscila entre los valores 0,185 mg/l a 1,214 mg/l, con un valor promedio total de 0,715 mg/l.
- Distribución estacional: Aunque la variación no es muy relevante, se observa una cierta estacionalidad, registrando concentraciones de sulfatos más elevadas en la época seca que en la de lluvias.
- Distribución espacial: Las mayores concentraciones de sulfatos se localizan en el W (El Cianuro) y S del lago.

CLORUROS

- Norma Técnica Nacional para Aguas Potables: Valor recomendado 25 mg/l, valor máximo permitido 250 mg/l. En todos los registros se encuentran valores netamente inferiores a los recomendados.
- Valor máximo y mínimo registrado: Valor máximo 3,49 mg/l (Febrero, Pito Solo), valor mínimo 0,25 mg/l (Octubre, Loma Larga).
- Promedios mensuales: El rango de promedios oscila entre los valores 0,535 mg/l a 2,192 mg/l, con un valor promedio total de 1,2 mg/l.
- Distribución estacional: Aunque las diferencias entre una estación y otra son poco importantes cuantitativamente, se puede indicar que los promedios mensuales de la época seca son ligeramente superiores a los registrados en la época de lluvias. Los mayores valores pertenecen al mes de Febrero.
- Distribución espacial: Las mayores concentraciones se localizan en la orilla W, centro-E y en el extremo S del lago.

Aniones

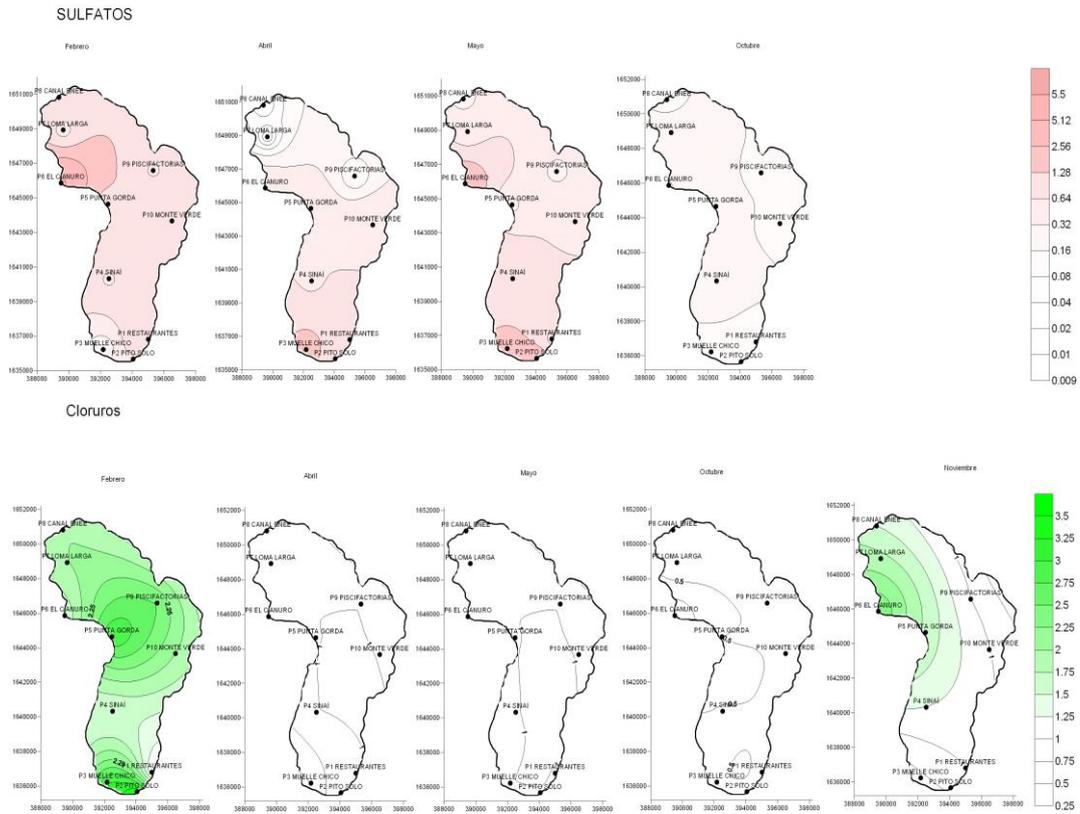


Fig 46 - Mapas de distribución espacial y estacional de aniones.

SODIO

- Norma Técnica Nacional para Aguas Potables: Valor recomendado 25 mg/l, valor máximo permitido 200 mg/l. Todos los registros se encuentran por debajo del valor propuesto como recomendado
- Valor máximo y mínimo registrado: Valor máximo 3,55 mg/l (Abril, Pito Solo), valor mínimo 1,84 mg/l (Octubre, EL Cianuro).
- Promedios mensuales: El rango de promedios oscila entre los valores 1,93 mg/l a 12,44 mg/l, con un valor promedio total de 2,11 mg/l.
- Distribución estacional: Aunque las diferencias entre una estación y otra son poco importantes cuantitativamente, se puede indicar que los promedios mensuales de la época seca son ligeramente superiores a los registrados en la época de lluvias, principalmente en el mes de Abril.
- Distribución espacial: Presenta una distribución homogénea a lo largo del lago, destacando las mayores concentraciones en el centro-E y S (Pito Solo).

POTASIO

- Norma Técnica Nacional para Aguas Potables: Valor máximo permitido 10 mg/l. Todos los registros se encuentran dentro de los límites marcados, ninguno de ellos iguala o supera el valor máximo propuesto.
- Valor máximo y mínimo registrado: Valor máximo 8,6 mg/l (Mayo, Pito Solo), valor mínimo 1,23 mg/l (Octubre, Restaurantes).
- Promedios mensuales: El rango de promedios oscila entre los valores 01,39 mg/l a 7,778 mg/l, con un valor promedio total de 2,762 mg/l.
- Distribución estacional: En el mes de Mayo y de modo puntual existe un abrumador incremento en las concentraciones de potasio, manteniéndose el resto sin diferencias relevantes.
- Distribución espacial: La distribución del potasio es homogénea en todos los puntos de muestreo.

CALCIO

- Norma Técnica Nacional para Aguas Potables: Valor máximo permitido 100 mg/l CaCO_3 . Todos los registros se encuentran dentro de los límites marcados, ninguno de ellos iguala o supera el valor máximo propuesto.
- Valor máximo y mínimo registrado: Valor máximo 29,22 mg/l (Abril, El Cianuro), valor mínimo 13,74 mg/l (Abril, Pito Solo).
- Promedios mensuales: El rango de promedios oscila entre los valores 19,71 mg/l a 24,758 mg/l, con un valor promedio total de 22,0323 mg/l.
- Distribución estacional: Se observan valores ligeramente más altos durante la época seca, correspondiendo los máximos al mes de Abril.
- Distribución espacial: La distribución es muy homogénea en todo el Lago observándose solamente un máximo en el S durante el mes de Abril.

MAGNESIO

- Norma Técnica Nacional para Aguas Potables: Valor máximo permitido 30 mg/l CaCO_3 . Todos los registros se encuentran dentro de los límites marcados, ninguno de ellos iguala o supera el valor máximo propuesto.
- Valor máximo y mínimo registrado: Valor máximo 1,73 mg/l (Febrero, Monte Verde), valor mínimo 0,83 mg/l (Abril, Pito Solo).
- Promedios mensuales: El rango de promedios oscila entre los valores 1,342 mg/l a 1,446 mg/l, con un valor promedio total de 1,3698 mg/l.
- Distribución estacional: Al igual que el Ca, los valores son ligeramente más altos durante la época seca, correspondiendo los máximos al mes de Abril.
- Distribución espacial: Es también equivalente a la del Ca, muy homogénea y un máximo al S en el mes de Abril.

HIERRO

- Norma Técnica Nacional para Aguas Potables: Valor máximo permitido 0,3 mg/l. Todos los registros se encuentran dentro de los límites marcados, excepto un muestreo puntual en el mes de Mayo (Punta Gorda) que supera dicho valor en 0,02 mg/l.
- Valor máximo y mínimo registrado: Valor máximo 0,32 mg/l (Mayo, Punta Gorda), valor mínimo 0,007 mg/l (Febrero, Punta Gorda).
- Promedios mensuales: El rango de promedios oscila entre los valores 0,040mg/l a 0,24 mg/l, con un valor promedio total de 0,112 mg/l.
- Distribución estacional: Se observan mayores concentraciones en la época de lluvias, apareciendo las más elevadas en el mes de Mayo.
- Distribución espacial: Está muy condicionada por la época: Mientras en la seca los máximos se encuentran en el E, en la de lluvias aparece en el N. No obstante, los registros más elevados se encuentran en el mes de mayo especialmente en el W.

COBRE

- Norma Técnica Nacional para Aguas Potables: Valor recomendado 1,0 mg/l, valor máximo permitido 2,0 mg/l. Todos los registros se encuentran por debajo del valor propuesto como recomendado.
- Valor máximo y mínimo registrado: Valor máximo 0,26 mg/l (Mayo, Pito Solo), valor mínimo 0,01 mg/l (Abril, Piscifactorías y Monte Verde).
- Promedios mensuales: El rango de promedios oscila entre los valores < 0,015 mg/l a < 0,2 mg/l, con un valor promedio total de 0,031 mg/l.
- La concentración de Cu está por debajo del nivel de detección del laboratorio excepto en el mes de Mayo.
- Distribución espacial: Los valores máximos se localizan en todo el margen occidental.

CINC

- Norma Técnica Nacional para Aguas Potables: Valor máximo permitido 3,0 mg/l. En todos los registros se encuentran valores netamente inferiores a los recomendados.
- Valor máximo y mínimo registrado: Valor máximo 0,06 mg/l (Mayo, Sinaí, Punta Gorda, El Cianuro, Piscifactorías y Monte Verde), valor mínimo < 0,001 mg/l (Octubre, Restaurante, Pito Solo y Muelle Chico).
- Promedios mensuales: El rango de promedios oscila entre los valores 0,01143 mg/l a 0,052 mg/l, con un valor promedio total de 0,02 mg/l.
- Distribución estacional: No se observa estacionalidad, ya que los registros máximos y mínimos pertenecen a la época de lluvias estando los registros de la época seca dentro de éstos. Los valores máximos corresponden al mes de Mayo.

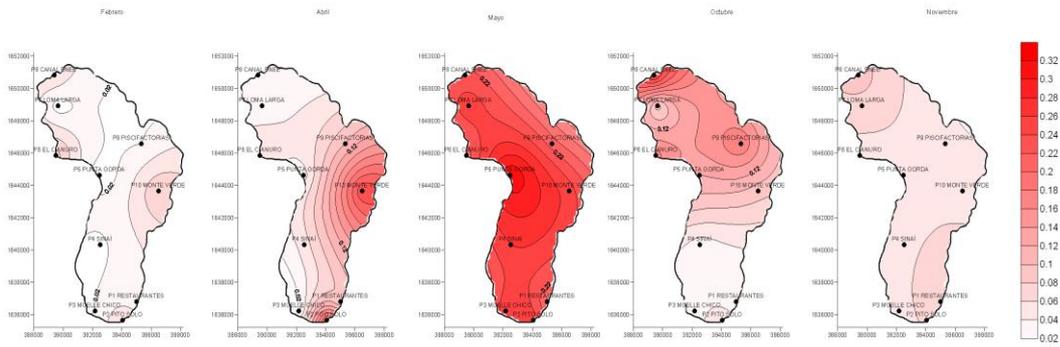
- Distribución espacial: Cuando se detecta Zn, los máximos se localizan en la zona oriental y central del Lago.

MANGANESO

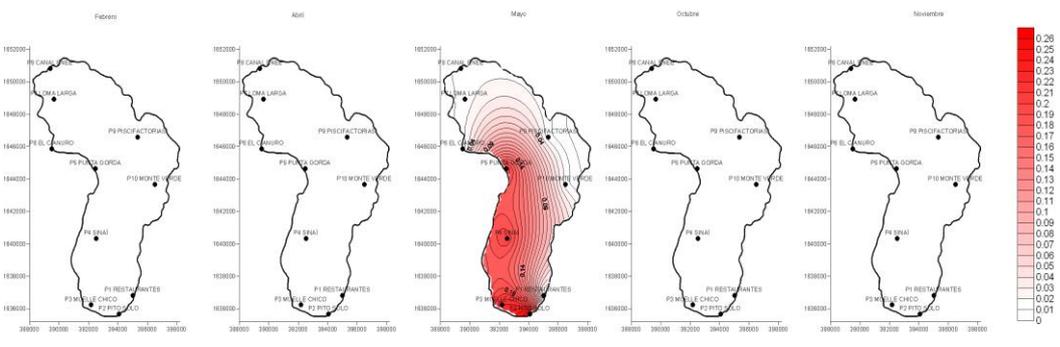
- Norma Técnica Nacional para Aguas Potables: Valor recomendado 0,01 mg/l, valor máximo permitido 0,5 mg/l. Todos los registros se encuentran dentro de los límites marcados, ninguno excede el valor máximo indicado.
- Valor máximo y mínimo registrado: Valor máximo 0,25 mg/l (Octubre, Monte Verde), valor mínimo < 0,002 mg/l (Febrero, Muelle Chico y Sinaí).
- Promedios mensuales: El rango de promedios oscila entre los valores 0,02 mg/l a 0,175 mg/l, con un valor promedio total de 0,0713 mg/l.
- Distribución estacional: Se observa estacionalidad, siendo los registros de la época de lluvias superiores a la época seca. En el mes de Octubre se registran los valores máximos.
- Distribución espacial: Se detecta a lo largo de todos los puntos de muestreo registrando sus valores máximos en el centro-E y N del Lago.

METALES PESADOS

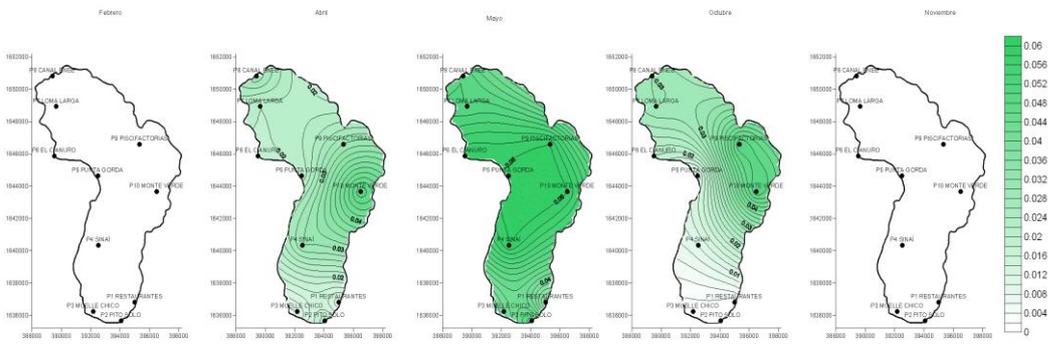
HIERRO



COBRE



ZINC



MANGANESO

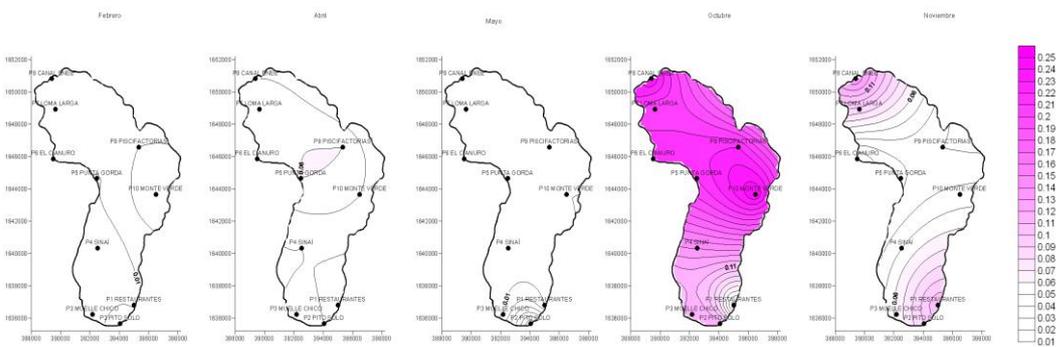


Fig 48 - Mapas de distribución espacial y estacional de los metales pesados.

RECUESTO TOTAL BACTERIANO

- Norma Técnica Nacional para Aguas Potables: Valor máximo permitido <500 UFC/100 ml. Aunque algunos registros no superan el valor máximo permitido por la norma, en su mayoría si exceden dicho valor. Los valores obtenidos como recuento totas bacteriano incluyen todas las bacterias, tanto las de origen intestinal como el resto.
- Valor máximo y mínimo registrado: Valor máximo 6.500 UFC/100ml (Febrero, Canal ENEE), valor mínimo 114 UFC/100ml (Abril, Loma Larga).
- Promedios mensuales: El rango de promedios oscila entre los valores > 700 UFC a 2521 UFC, con un valor promedio total > 1450 UFC.

COLIFORMES TOTALES

- Norma Técnica Nacional para Aguas Potables: Valor máximo permitido 0 UFC/100 ml. Todos los meses presentan contaminación bacteriana. Todos los registros superan el valor permitido por la norma, puesto que no existe ningún registro cuyo valor sea 0 UFC/100 ml.
- Valor máximo y mínimo registrado: Valor máximo 5.000 UFC/100ml (Febrero, Canal ENEE), valor mínimo 10 UFC/100ml (Mayo, Pito Solo).
- Promedios mensuales: El rango de promedios oscila entre los valores 310 UFC a 1.830 UFC, con un valor promedio total > 600 UFC.

COLIFORMES FECALES

- Norma Técnica Nacional para Aguas Potables: Valor máximo permitido 0 UFC/100 ml. Todos los meses presentan contaminación microbiana. Todos superan el valor permitido por la norma, puesto que no existe ningún registro cuyo valor sea 0 UFC/100 ml.
- Valor máximo y mínimo registrado: Valor máximo 4.500 UFC/100ml (Febrero, Canal ENEE), valor mínimo <1 UFC/100ml (Mayo, Canal ENEE y Monte Verde).
- Promedios mensuales: El rango de promedios oscila entre los valores < 70 UFC a 1.489 UFC, con un valor promedio total > 400 UFC.

E-COLI

- Norma Técnica Nacional para Aguas Potables: Valor máximo permitido 0 UFC/100 ml. Todos los meses presentan contaminación fecal. Todos los registros superan el valor permitido por la norma, puesto que no existe ningún registro cuyo valor sea 0 UFC/100 ml.
- Valor máximo y mínimo registrado: Valor máximo 4.000 UFC/100ml (Febrero, Canal ENEE), valor mínimo <1 UFC/100ml (Febrero, Restaurantes; Abril, Muelle Chico, Punta Gorda, El Cianuro y Canal ENEE; Mayo, Canal ENEE y Monte Verde).

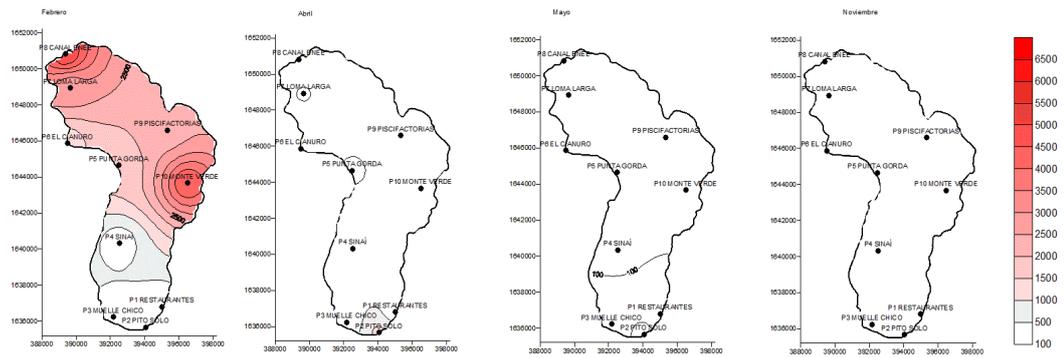
- Promedios mensuales: El rango de promedios oscila entre los valores 23 UFC a > 1.200 UFC, con un valor promedio total > 350 UFC.

Microbiología

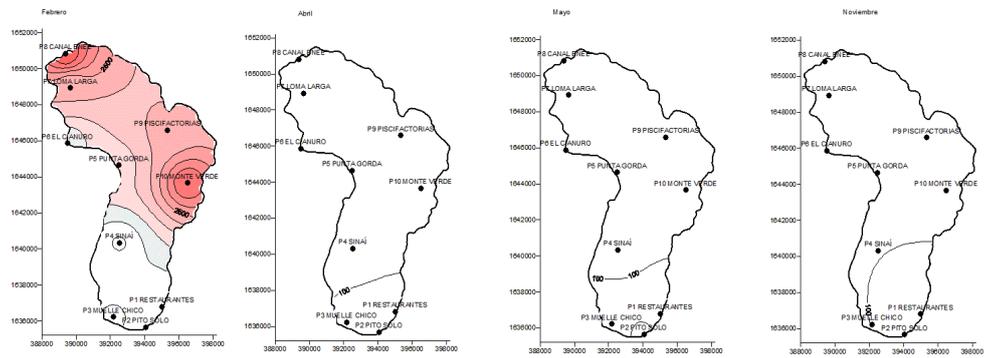
Estos cuatro parámetros microbiológicos (Recuento Total Bacteriano, los Coliformes Totales, los Coliformes Fecales y el E-Coli) presentan una misma distribución. Debido al formato de presentación de los resultados por parte del laboratorio, no se puede concretar los valores obtenidos para los promedios mensuales, pero en términos generales puede indicarse que los resultados obtenidos en la época seca son ligeramente superiores a los registrados de la época de lluvias para todos ellos.

- Distribución estacional: Es de destacar el máximo registrado en el mes de Febrero para todos ellos, y en cuanto al Recuento Total Bacteriano también hay registro el resto de los meses, especialmente Mayo y Noviembre.
- Distribución espacial: Todos los indicadores microbiológicos presentan las mayores concentraciones en la mitad N del lago. Además el Total Bacteriano presenta máximos en la zona S en la época de lluvias.

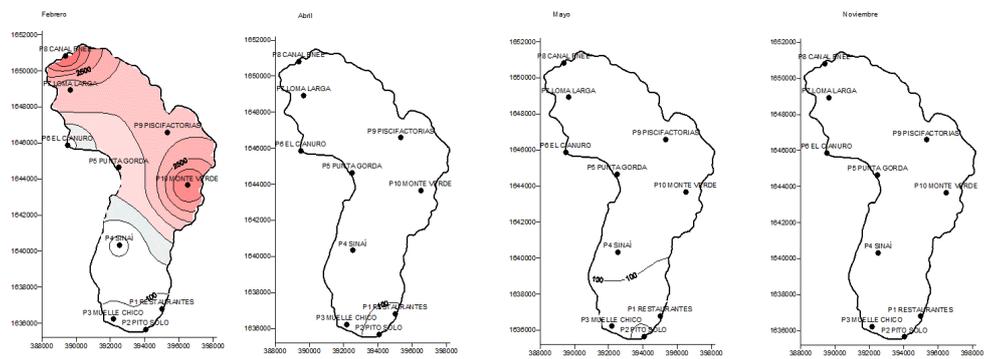
MICROBIOLOGIA
COLIFORMES TOTALES



COLIFORMES FECALES



E-COLI



TOTAL BACTERIANO

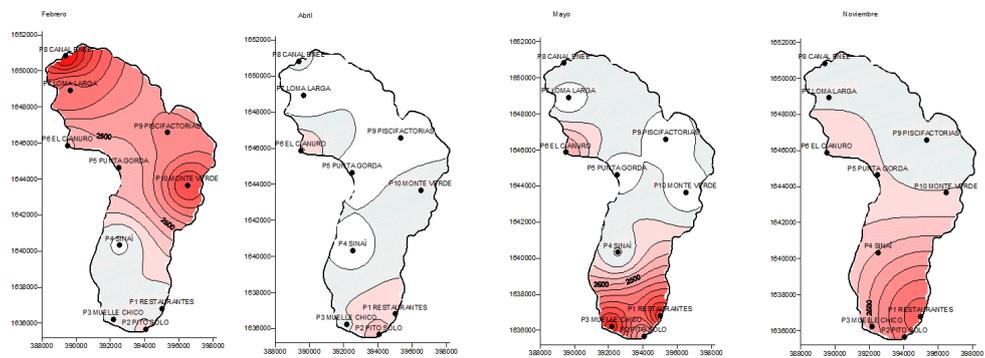


Fig 49 - Mapas de distribución espacial y estacional de los análisis microbiológicos.

7. INTERPRETACIÓN

La relación existente entre varios de los parámetros analizados nos permitirá agrupar varios de éstos a la hora de interpretar, deduciendo así cuáles podrían ser los procesos que afectan al lago y especular acerca de las posibles fuentes de éstos.

Nutrientes (Nitratos, Nitritos, Ortofosfatos y Fósforo libre)

A pesar de la presencia de nitratos en las aguas y en función tanto del CEDEX 2006 como de la NTNAP, deben considerarse aguas no contaminadas; sin embargo, en el caso de los nitritos y del fósforo libre debemos considerar que son aguas ligeramente contaminadas al superar algunas veces ambos los 0,1 mg/l permitidos.

Al respecto aparece contaminación de nitritos en la zona central del Lago en Febrero y en el S en el mes de Mayo. Por otro lado el fósforo libre aparece en el NW y E en el mes de Octubre y ortofosfatos al S.

De este conjunto de incidencias podría proponerse la existencia de tres áreas principales de entrada o fuentes de contaminación (sur, este y oeste), relacionadas con actividades que aportan nutrientes como son la acuicultura, agricultura, la ganadería y actividades urbanas que generan vertidos efluentes y aguas residuales.

Microbiología

Prácticamente todos los análisis microbiológicos realizados indican contaminación en las aguas. Sobre esta base de contaminación se pueden observar dos incidencias distintas: En el mes de Febrero hay una contaminación bacteriana de origen fundamentalmente fecal que afecta al E y N del Lago, que se puede correlacionar con un aumento de nitratos y nitritos en las áreas centrales del lago. En el extremo S, coincidiendo con el principio de la estación de lluvias (Mayo), existe un incremento de bacterias no fecales que también se puede correlacionar con el aumento de ortofosfatos, nitritos y nitratos en esta área.

Ambos hechos y su distribución espacial (N-E en fecales, S en totales) serían compatibles con aportes desde los márgenes del lago más que un crecimiento de bacterias en el mismo.

Oxígeno (OD, ORP, DBO, DQO)

La presencia de oxígeno ha sido determinada por un lado como Oxígeno disuelto (porcentaje de saturación) y por otro lado determinado como Potencial Redox y la Demandas Química y Biológica de Oxígeno.

En el mes de Febrero, el Lago presenta un carácter oxidante con una baja demanda química y biológica de oxígeno; sin embargo, el oxígeno disuelto es muy bajo. Esto podría explicarse por la presencia de otro oxidante además del oxígeno que no haya sido analizado y que por tanto no haya constancia de su existencia.

En el mes de Abril, las aguas del Lago presentan carácter oxidante excepto en el punto de muestreo del N, Canal ENEE, donde aparece como reductor. Al comparar esto con las demandas químicas y biológicas de oxígeno, coincide que en este punto estas demandas aumentan, sin embargo existe una contradicción con la elevada presencia de oxígeno en las zonas reductoras y una baja concentración en oxidantes. Esta incoherencia del oxígeno disuelto anula la hipótesis planteada de la presencia de otro oxidante y apunta a un error en la toma de medidas de este parámetro.

En el mes de Mayo, el carácter reductor de las aguas se extiende hasta el punto de muestreo de Loma Larga (margen W del Lago), en donde la demanda química y biológica de oxígeno es mayor que en el resto del Lago, lo que representa una coherencia entre los datos registrados entre estos datos registrados, advirtiendo de la ausencia de valoración de oxígeno disuelto.

Los meses de Agosto y Septiembre, a falta de análisis de demanda química y biológica, aparecen representados de un modo coherente entre ORP y OD, cuando las aguas son oxidantes presentan oxígeno disuelto y cuando son reductoras existe poca presencia de oxígeno.

En Octubre sólo existen registros de la demanda de oxígeno, siendo ésta muy baja, lo que nos indicaría aguas muy oxidantes igual que en el mes de Noviembre.

Cabe destacar que el oxígeno disuelto, siempre se mantienen con valores superiores a 5 mg/l en el punto de muestreo Piscifactorías. Se cree que si este nivel de oxígeno disminuyera de modo natural (asociado a frentes fríos) la empresa que explota éste recurso aumenta de modo artificial su concentración mediante la conexión de turbinas que oxigenan el agua para evitar así la muerte de peces.

En resumen esta visión general del oxígeno presente en el Lago no es coherente en todas sus determinaciones destacando que es el porcentaje de saturación el que más anomalías presenta. Esto nos lleva a pensar que los registros tomados por la sonda para el oxígeno disuelto posiblemente sean debido a un fallo del sensor.

No obstante esta anomalía apuntada, las aguas del Lago presentan generalmente buenos valores de contenido en oxígeno con relativamente baja demanda biológica y química del mismo.

Metales Pesados: Cobre (Cu), Hierro (Fe), Cinc (Zn) y Manganeseo (Mn)

Dentro de la poca importancia cuantitativa de los metales pesados analizados (no superan los límites marcados por la NTNAP por lo que no se considera que exista contaminación), se detecta un ligero aumento de los mismos en los meses de Abril, Mayo y Octubre, alcanzando las máximas concentraciones de Fe y Zn en el mes de Mayo, único mes donde se ha podido detectar también la presencia de Cu. En el caso del Mn aparece algo más abundante en Octubre.

La distribución espacial del Fe y Zn es prácticamente igual o muy similar a la del Mn; esto podría indicar que proceden de los mismos aportes, migran en la misma dirección y se comportan de un modo similar. Sin embargo el Cu se concentra más en la zona SW del Lago.

Este comportamiento podría explicarse por la existencia dos aportes diferentes, por una parte el Cu procedería durante el mes de Mayo de la desembocadura de El Cianuro (Mina El Mochito) migrando hacia el Sur a favor de los vientos alíseos. Por otra parte el resto procedería del margen E del Lago (las piscifactorías) con una migración hacia el N a favor de la corriente de desembocadura del Lago. Una tercera opción podría deberse a un arrastre o lavado de suelos, ya que las concentraciones más elevadas se producen en la época de lluvias.

Por último la idea expuesta por otros autores de que etapas de inversión térmica puedan removilizar los sedimentos del fondo contaminados no se corroboran con estos análisis.

Dureza

La dureza se puede definir como el contenido total de iones alcalinotérreos presentes en el agua. Como la concentración de calcio y magnesio es, normalmente, mucho mayor que la del resto de iones de este grupo, la dureza es prácticamente igual a la suma de las concentraciones de estos dos iones, pudiendo también afectar la presencia de Fe.

Cuanto mayor es la concentración de Ca y Mg mayor dureza presenta las aguas y por tanto, cuando la presencia de sales es mínima las aguas son consideradas blandas.

Observando el mapa de la dureza y según la clasificación realizada por Massol (2010), las aguas del Lago de Yojoa se clasificarían entre blandas (menores de 75 ppm de CaCO₃) a moderadamente duras (76-150 ppm de CaCO₃).

Al comparar la suma de calcio y magnesio y enfrentarla a los registros obtenidos de dureza se comprueba que esta relación se cumple, siendo el NW y

centro-E las áreas donde se localizan los valores máximos de dureza y las mayores concentraciones de estos cationes.

Conductividad Eléctrica

En el caso de medidas en soluciones acuosas, el valor de la conductividad es directamente proporcional a la concentración de sólidos disueltos y se considera un modo de expresión de la salinidad, por lo tanto, cuanto mayor sea dicha concentración, mayor será la conductividad, a su vez, en las aguas continentales naturales los iones más corrientes directamente responsables de los valores de conductividad son entre otros el calcio, magnesio, potasio, sodio, carbonatos, sulfatos y cloruros. Cuanto mayor sea la concentración de estos iones mayor será la conductividad.

Al comparar la distribución de los iones con la conductividad, se puede confirmar que las zonas donde existen elevadas concentraciones de Ca, Mg, Na, Nitratos, Ortofosfatos, Sulfatos y Cloruros coinciden con las áreas donde se representa una mayor conductividad, centro-E, W y S del Lago.

Estas áreas coinciden con la desembocadura de las principales quebradas justificando así un aporte de estos iones mencionados además de coincidir con lo distribución de los iones de metales pesados.

Se puede interpretar que las aguas del Lago de Yojoa son aguas con sales disueltas en condiciones de “agua dulce”. Según Massol 2010 y en función únicamente de este parámetro se clasifican las aguas como puras ya que presenta valores $< 280 \mu\text{S}/\text{cm}$.

Turbidez

La turbidez es un parámetro relacionado con la cantidad de sólidos no disueltos (orgánicos e inorgánicos) en suspensión del agua incluyendo la presencia de los organismos que crecen en ella.

Como existe un ligero aumento en la época de lluvias, la turbidez podría estar directamente relacionada con el arrastre de sedimentos, los valores máximos se producen en el W y S lo que indicaría que son las descargas de dos de las principales quebradas las que aportan este exceso de turbidez, Por otro lado, debería de contemplarse la posibilidad de que el exceso de turbidez pueda proceder de la desembocadura del Cianuro (al W) y debido a la circulación de las aguas y al viento predominante en dirección N-S los sólidos en suspensión se van a acumular en el centro-S del Lago (igual que ocurre con los metales pesados).

Según Massol 2010, las aguas se encuentran en un rango que oscila entre transparentes a turbias.

Alcalinidad

Las áreas del Lago donde se presentan elevados registros de alcalinidad deben coincidir con áreas en las que el contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos también sean altos aunque no se puede comprobar por la falta de análisis de estos compuestos.

Los carbonatos y bicarbonatos presentes en cuerpos naturales de agua dulce se originan generalmente por la meteorización y disolución de rocas que contienen carbonatos, como la caliza, presente en la subcuenca del Lago de Yojoa.

No obstante, algunas sales de ácidos débiles como boratos, silicatos, nitratos y fosfatos pueden también contribuir a la alcalinidad en caso de estar también presentes. Estos iones en solución están comúnmente asociados o pareados con cationes de calcio, magnesio, potasio, sodio y otros.

Si se compara de la distribución espacial de los cationes, nitratos y fosfatos frente a la alcalinidad, y a pesar de no disponer de análisis de todos los aniones implicados en este parámetro, se puede corroborar que las zonas donde los primeros presentan altas concentraciones coinciden con los registros más elevados de ésta, por lo que no cabe esperar ningún elemento extraño a estas consideraciones.

Ya que la alcalinidad desempeña un rol principal en la productividad de cuerpos de agua naturales al servir como una fuente de reserva para la fotosíntesis, las áreas donde la alcalinidad es alta serían propensas a una productividad también alta.

Se ha podido constatar esta alta productividad en el lago dada la frecuente presencia de vegetación dentro del mismo, pero su alta movilidad ya que lo más frecuente es que formen islas flotantes, ha impedido establecer correlaciones espaciales entre ambos hechos.

Según Kevern 1996, estas aguas presentarían una alcalinidad baja.

pH

La acidificación que sufren las aguas en la zona centro-S del Lago se puede correlacionar con las concentraciones elevadas de cloruros, sulfatos y ortofosfatos.

La zona de las piscifactorías siempre permanece básica puede deberse al efecto tampón que genera los piensos (95% vegetal).

Son aguas clasificadas como ligeramente alcalinas (en función de los valores medio). Según Studer 2007, el pH en lagos no contaminados oscila entre 6,0 y 9,0 como en este caso existen valores inferiores a pH 6 se considera que está contaminado.

7.1. Síntesis

Valorando todos los mapas en su conjunto se puede destacar que

- La distribución estacional de los parámetros influye de un modo directo en el comportamiento de éstos en función de si se encuentran en época seca o en época de lluvias.
- La apreciación de contenidos anómalos de algunos componentes, ha llevado a la conclusión de que éstos se deben fundamentalmente a aportes externos, y se diferencian tres zonas de aportes, una localizada en la zona S del Lago, otra correspondiente a las microcuencas situadas en la zona W y posiblemente una tercera en el extremo E del Lago.
- Los máximos localizados en el margen E pueden deberse también a actividades dentro del Lago, como las piscifactorías.
- En función de las actividades que se desarrollan en la subcuenca indicadas en el capítulo 5, se puede indicar que los aportes que desembocan en el W del Lago proceden en su gran mayoría de aguas sin depurar procedentes de los mayores núcleos de población (residuos urbanos y basureros sin control de lixiviados y atravesados por cursos de agua), de la actividad minera, piscifactorías en tierra, grandes extensiones de cultivos, avícolas y ganadería (muy próxima al Lago y sus quebradas). Los aportes procedentes del S pueden deberse a actividad urbana (residuos urbanos y basureros), agricultura (presencia de invernaderos), restaurantes, ganadería (parte del ganado pasta en los humedales), avícolas, piscifactorías en tierra e industria del automóvil (vertidos de grasas e hidrocarburos).
- En ningún caso se puede establecer en qué medida afecta cada una de las actividades.
- Es muy posible que el sensor que registra los valores de Oxígeno disuelto en la sonda multiparamétrica halla fallado, dando valores no reales.

8. COMPARATIVA DE RESULTADOS CON OTROS ESTUDIOS ANTERIORES. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL.

En este capítulo de la tesis se realiza una comparativa de los resultados obtenidos con los estudios que le preceden en 1984, 2001, 2002 y 2006, pudiendo así determinar si la calidad del agua del Lago de Yojoa ha permanecido constante a lo largo de los años, o por el contrario ha sufrido cambios.

Se va a seguir el mismo orden que se había seguido en la exposición de los parámetros como en los capítulos anteriores.

El primer estudio que se realizó sobre la calidad del agua del Lago de Yojoa fue realizado por Vaux et al. y data de 1984; más tarde, durante los años 2001 y 2002 se llevó a cabo por parte de la división técnica de la ENEE, encabezado por Sandoval, otro estudio de las mismas características en el que además de plasmar sus propios resultados y los relaciona con los anteriores.

El mismo equipo de trabajo de la ENEE, en el año 2006, repite su estudio para comprobar la existencia o no de cambios en los parámetros que controlan la calidad del agua del Lago de Yojoa. Ha sido imposible consultar este estudio en su totalidad, por lo que algunos parámetros no han podido ser comparados.

En el estudio realizado en 2010, los registros de todos los parámetros analizados son tomados a un metro de profundidad (aguas superficiales), por tanto, a la hora de ver la evolución temporal de la calidad del agua, solo se tendrán en cuenta los datos registrados en los trabajos antecedentes a esta misma profundidad.

Existen determinados parámetros que, o bien no han sido muestreados todos los años, o bien no se ha tenido acceso a los resultados. En las tablas que se presentan a continuación solo aparecen reflejados los años con disponibilidad de resultados.

pH (Tabla 26)

AÑO DE ESTUDIO	pH			NTNAPH
	MIN	MED	MAX	
2001	7,62	8,40	8,81	No existen especificaciones
2002	7,80	8,34	9,21	
2010	7	7,5	8	

Tabla 26: Resultados del pH obtenido en diversos estudios

Los datos de 2010 corresponden solamente a los obtenidos en el análisis de laboratorio, ya que la sonda registra unos valores muchos más bajos que éstos y los estudios de 2001 y 2002 proceden también del análisis del laboratorio.

Existe un ligero cambio en los valores del pH de las aguas superficiales con el tiempo.

Entre los años 2001 y 2002 no existen apenas variaciones en los registros, con unos valores medios entorno a 8,4, sin embargo al comparar este valor con el valor medio obtenido para 2010, se puede observar como el pH a disminuido a 7,5.

Por tanto existe una ligera acidificación de las aguas. Hace ocho años las aguas superficiales del lago eran clasificadas entre ligera a medianamente alcalinas, mientras que en la actualidad son denominadas ligeramente alcalinas.

CONDUCTIVIDAD (Tabla 27)

AÑO DE ESTUDIO	CONDUCTIVIDAD ($\mu\text{S/cm}$)			NTNAPH ($\mu\text{S/cm}$)
	MIN	MED	MAX	
1984	-	168	-	Valor Máximo Permitido 400
2001	157,1	162,3	167,5	
2002	148,3	153,8	159,0	
2010	147,4	178,5	219,3	

Tabla 27: Resultados de la conductividad obtenidos en diversos estudios

Al igual que el caso del pH, los datos de 2010 corresponden solamente a los obtenidos en el análisis de laboratorio, al igual que los de 2001 y 2002.

No existe una variación significativa de los registros de conductividad, todos los años muestran valores bajos, es decir, indican niveles no elevados de sales. Sin embargo cabe destacar un aumento del máximo en el 2010 aunque ningún registro supera los límites establecidos por la normativa, pudiendo clasificarse en función de este parámetro como aguas puras.

TOTAL SÓLIDOS DISUELTOS (TSD) (Tabla 28)

AÑO DE ESTUDIO	TOTAL SÓLIDOS DISUELTOS (mg/l)			NTNAPH (mg/l)
	MIN	MED	MAX	
2010	69,43	97,39	120,09	Valor Máximo Permitido 1.000

Tabla 28: Resultados del TSD obtenidos en diversos estudios

Los datos de 2010 corresponde a la media realizada entre los registros de la sonda y el análisis del laboratorio, ya que no existen datos de estudios anteriores con los que poder comparar los resultados obtenidos no pudiendo determinar así la posible variación de éstos.

El TSD guarda relación con la turbidez, con la conductividad y con la transparencia de Secchi, ya que la presencia de abundantes sólidos coloreados aumenta la turbidez y la conductividad, disminuyendo la transparencia. Es por

esto que, aunque no existen datos de TSD anteriores a 2010, el TSD haya evolucionado igual que aquellos.

En base a los registros que se disponen del 2010 y teniendo en cuenta únicamente este parámetro, se puede clasificar el Lago de Yojoa como agua potable.

POTENCIAL REDOX (ORP) (Tabla 29)

AÑO DE ESTUDIO	POTENCIAL REDOX			NTNAPH
	MIN	MED	MAX	
2010	-81,87	74,56	215,27	No existen especificaciones

Tabla 29: Resultado del ORP obtenido en este estudio

Solo existe registro de este parámetro en la actualidad

OXÍGENO DISUELTO (Tabla 30)

AÑO DE ESTUDIO	OXÍGENO DISUELTO (%)			NTNAPH
	MIN	MED	MAX	
2001	5,30	6,56	8,20	No existen especificaciones
2002	4,91	6,25	7,46	
2010	0,00	10,13	25,94	

Tabla 30: Resultados del OD obtenidos en diversos estudios

Al estudiar los registros medios a lo largo de los años, se observa que la concentración de OD en las aguas superficiales del lago durante los años 2001 y 2002 permanece prácticamente constante, (6,56 mg/ - 6,25 mg/l); sin embargo, estos datos, en comparación con los obtenidos en 2010, cuya concentración es de 10,13 mg/l han sufrido un ligero aumento. Este aumento concuerda con las variaciones de otros parámetros (como las Demandas de Oxígeno) aunque su valor, como se ha dicho, posiblemente sea incorrecto.

En el estudio realizado en 2001-2002, el OD es estudiado a lo largo de la columna vertical de agua, se puede apreciar en sus datos la concentración de OD superficial es mayor al muestreo en profundidad, lo que demuestra la estratificación del lago, presentando una capa superficial aeróbica y un estrato más profundo pobre en oxígeno y en ocasiones casi anóxico.

Además, sus datos también reflejan que el patrón de distribución vertical del OD en el lago, está en dependencia directa del régimen de inversión térmica. Es decir, que los factores estacionales, régimen térmico y profundidad de la columna de agua son los elementos fundamentales de cuya interrelación surge el comportamiento del OD: los meses que corresponde con el final del año, cuando se produce la inversión térmica, los valores de la concentración de OD en la columna vertical de agua se mantienen prácticamente constantes. Pasados estos

meses del año, el comportamiento del OD cambia y se estratifica como anteriormente se ha citado.

TEMPERATURA (Tabla 31)

AÑO DE ESTUDIO	TEMPERATURA (°C)			NTNAPH (°C)
	MIN	MED	MAX	
2001	24	26,7	28	Valor Recomendado 18- 30
2002	24,4	26,4	28,2	
2010	22,9	26,61	29,68	

Tabla 31: Resultados de la temperatura obtenidos en diversos estudios

Existe un incremento paulatino de la temperatura del agua superficial del lago en el tiempo.

Fijándonos exclusivamente en los valores medios no se puede apreciar, pues permanecen constantes a lo largo de los 10 años, con un valor próximo a 26,6 °C; sin embargo, se al observar los valores máximos registrados se aprecia que hay un aumento de 28°C a 29,68°C, casi 2°C de diferencia.

ESTRATIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DEL LAGO DE YOJOA

De acuerdo con la bibliografía recopilada sobre este tema para el desarrollo de la tesis, se llega a la conclusión de que el Lago de Yojoa es un cuerpo de agua caliente que se mezcla en los meses de Diciembre-Enero, una vez por año, por tanto se puede definir como un Lago Monomítico. Durante el resto del año, el lago mantiene una estratificación térmica que según Goldman y Vaux (1984) puede perturbarse por fuertes e intensas lluvias.

La distribución de los estratos o capas de agua del lago ha variado en el tiempo, si se compara los datos obtenidos actualmente para este estudio y los datos existentes en la bibliografía:

En 2001-2002: Se presenta un Epilimnio, o estrato superficial, con una profundidad aproximada a 5,0 m. Un Metalimnio, o zona de transición localizada entre los 5,0 m y 15,0 m de profundidad, con una temperatura bastante homogénea. Un Hipolimnio, o zona profunda de estancamiento localizada entre los 15,0 m y 20,0 m de profundidad y con una temperatura que se reduce entre dos 2 a los 4 °C a la máxima profundidad (Sandoval, 2003) (Fig.50 izq.).

A partir de Noviembre la temperatura del lago comienza a disminuir hasta el mes de Enero que es cuando se alcanzan las temperaturas más bajas en superficie. Durante estos meses tiene lugar en el Lago, un proceso conocido como "Inversión Térmica": la reducción de la temperatura ambiente acompañada con cierta pérdida del calor almacenado en el estrato superior del Lago, trae como consecuencia su aumento en la densidad del agua lo que, al mismo tiempo, motiva el inicio de un proceso de circulación vertical del agua en donde el viento también juega un papel fundamental. El resultado de todo éste fenómeno es un

mezclado general de las aguas; la pérdida de la estratificación del lago y la recuperación de su condición de isoterma (Sandoval, 2003).

En 2011, como parte integrada del proyecto que realiza la ONG en Honduras y formando parte de la tesis de otro compañero, se puede adelantar que tras realizar toma de medidas en 32 puntos de muestreo, se identifica que la disposición de los estratos o capas del lago han variado su posición en el tiempo, encontrándose a profundidades diferentes a las descritas en los estudios realizados en 2001-2002.

Por limitaciones técnicas de la sonda con la que se ha trabajado, no se ha podido alcanzar la zona más profunda del lago, pues la máxima profundidad que se ha podido lograr son 10 metros. Aún así se puede observar en la gráfica (Fig.50 dcha.) con claridad que el primer cambio de en el registro de temperaturas se produce a aproximadamente 8 m de profundidad, marcando así el primer estrato o capa, el Epilimnio. El rango de temperaturas y sus variaciones a lo largo de la columna vertical, no han podido ser comparadas con los estudios anteriores, debido a no alcanzar la máxima profundidad del lago, aunque se puede apreciar que la temperatura superficial es prácticamente la misma en ambos estudios, mientras que en 2010 la disminución de la temperatura desde la superficie a la base del Epilimnio es de 2,5°C y en 2001-2002 es menor de 1°C.

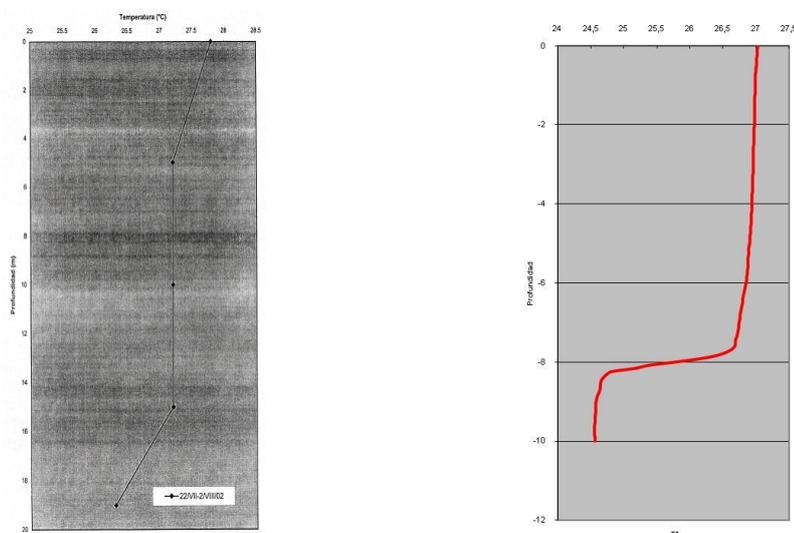


Fig. 50 – Comparativa en el tiempo de la estratificación del Lago de Yojoa. La figura de la izquierda corresponde al estudio 2001-2002. La figura de la derecha corresponde al trabajo de 2011(David Cimadevilla, com. pers.).

Esta variación en la posición vertical de los estratos de un estudio a otro, puede ser debida a que el muestreo fue realizado en distintos meses del año, aunque ambos dentro del periodo en el que el lago se encuentra estratificado. En 2001-2002 se muestrearon los meses de Junio, Julio-Agosto y Noviembre (comienzo de la disminución de la temperatura en superficie, para dar paso a la inversión térmica en Diciembre-Enero) mientras que en 2011 el estudio fue realizado en Abril.

SALINIDAD (Tabla 32)

AÑO DE ESTUDIO	SALINIDAD (PSU)			NTNAPH
	MIN	MED	MAX	
2010	0,038	0,092	0,066	No existen especificaciones

Tabla 32: Resultados de la salinidad obtenidos en este estudio

Solo existe registro de este parámetro en la actualidad, pero como nos ha indicado la baja conductividad existente en años anteriores y la baja salinidad actualmente, las aguas superficiales del lago eran y siguen siendo dulces.

ALCALINIDAD (Tabla 33)

AÑO DE ESTUDIO	ALCALINIDAD (mg/l)			NTNAPH
	MIN	MED	MAX	
1984	60	-	75	No existen especificaciones
2001	70,8	75,6	81,4	
2002	73,0	81,5	85,0	
2010	53,84	73,24	81,2	

Tabla 33: Resultados de la alcalinidad obtenidos en diversos estudios

No existen cambios importantes en los registros de este parámetro en el tiempo, pudiendo observar que los valores de hace 26 años y los actuales son muy similares, sin embargo, teniendo en cuenta los valores promedios y la clasificación de las aguas según Kevern 1989, las aguas habrían pasado de tener una alcalinidad media en 2001-2002 a una alcalinidad baja en la actualidad.

Los valores de alcalinidad en las aguas naturales superficiales, rara vez superan los 500 mg/l, generalmente se consideran aguas potables aquellas cuyos valores se encuentran entre 30-250 mg/l (Sandoval, 2003).

También se debe apreciar que los valores mayores de alcalinidad corresponde a su vez con los valores de pH más elevados, lo que nos indica que estos periodos coinciden con una fuerte actividad fotosintética de las algas y por tanto, a la época de mayor crecimiento.

DUREZA TOTAL (Tabla 34)

AÑO DE ESTUDIO	DUREZA (mg/l CaCO ₃)			NTNAPH (mg/l CaCO ₃)
	MIN	MED	MAX	
1984	22,30	29,20	38,4	Valor Recomendado 400
2001	74,31	77,81	82,80	
2002	71,01	73,50	77,10	
2010	51,75	68,76	84,87	

Tabla 34: Resultados de la dureza obtenidos en diversos estudios

Comparando los registros de dureza en el tiempo, se observa un ligero aumento de ésta entre los estudios realizados en 1984, donde los valores oscilan entre 29 y 39 mg/l, y los estudios del 2001-2002, donde los valores comprenden un rango de 71 a 83. Por tanto, las aguas superficiales en estos 18 años han pasado de ser blandas a estar comprendidas entre blandas y moderadamente duras.

Pero si seguimos avanzando en el tiempo, desde los estudios de 2001-2002 a la actualidad, los registros apenas se han visto modificados en estos últimos cinco años y por tanto, mantienen la misma clasificación, y todos los registros presentan valores netamente inferiores a los recomendados en la normativa.

TURBIDEZ (Tabla 35)

AÑO DE ESTUDIO	TURBIDEZ (UNT)			NTNAPH (UNT)
	MIN	MED	MAX	
2010	<1	2-3	5	VR:1 VMP: 5

Tabla 35: Resultados de la turbidez obtenidos en este estudio. . VR= Valor Recomendado, VMP=Valor Máximo Permitido

Aunque no existen datos en estudios anteriores de este parámetro, puede ser comparable con el anteriormente descrito (transparencia de Secchi), puesto que transparencia y turbidez son inversamente proporcionales. Con el paso de los años se ha comprobado que ha disminuido la transparencia, con lo que podemos suponer que habría aumentado la turbidez.

En función del punto de muestreo las aguas varían su turbidez, pudiendo ser clasificadas desde transparentes en aquellas zonas donde la turbidez es menor de 1UNT a turbias en el punto donde se alcanza 5 UNT.

Todos los valores registrados cumplen la normativa y solo de modo puntual, en la desembocadura del Cianuro (Las Vegas) se alcanza el valor máximo permitido. Las partículas insolubles responsables de la turbidez pueden ser aportadas tanto por procesos de arrastre como de remoción de tierras así como por vertidos urbanos o industriales.

DBO, DQO (Tabla 36)

AÑO DE ESTUDIO	DBO (mg/l)			DQO (mg/l)			DBO/DQO (mg/l)			NTNAPH (mg/l)
	MIN	MED	MAX	MIN	MED	MAX	MIN	MED	MAX	
2001	0,1	1,1	5,4	-	-	-	-	-	-	DBO VMP 50 DQO VMP 200
2002	0,1	1,3	3,7	-	-	-	-	-	-	
2010	<2	4,12	10	<5	16,76	46	0,2	0,2	0,39	

Tabla 36: Resultados de la DBO, DQO y la relación DBO/DQO obtenidos en este estudio. VMP=Valor Máximo Permitido

Demanda Biológica de Oxígeno

Los resultados obtenidos para los años 2001-2002, muestran que la demanda biológica de oxígeno apenas sufre variaciones, pudiendo clasificarse estas aguas superficiales del lago como ecológicamente limpias o aguas muy puras.

Sin embargo, a medida que han transcurrido los años, nos encontramos que dicha demanda en 2010 ha aumentado considerablemente, hasta 4 veces el valor promedio obtenido en 2001. Esto nos indica que en los últimos 9 años se ha incrementado la materia orgánica existente en el lago, variando así su clasificación a aguas con pureza intermedia.

A pesar de este incremento, ninguno de los registros se encuentra fuera de los límites marcados por la normativa, además ninguno de ellos iguala o supera el valor máximo propuesto.

Relación DBO/DQO

La relación DBO/DQO en la actualidad, presenta un rango de valores comprendidos entre 0,20 mg/l a 0,39 mg/l, con un valor promedio total de 0,2 mg/l, que nos indica la presencia predominante de contaminación en las aguas superficiales del Lago de Yojoa son de naturaleza orgánica no biodegradable (no puede depurarse de forma biológica).

FORMAS DE NITRÓGENO (Tabla 37,38)

En el estudio realizado en el año 2010 no se ha analizado las concentraciones del amoníaco, forma N-NH₃, por tanto el resultado de este elemento se presentan de modo independiente.

AÑO DE ESTUDIO	AMONIACO (mg/l)			NTNAPH (mg/l CaCO ₃)
	MIN	MED	MAX	
1984	<0,001	0,02	0,148	VR 0,05 VMP 0,5
2001	0,01	0,09	1,05	
2002	0,01	0,07	0,37	
2006	N.D.	0,06	0,36	

Tabla 37: Resultados del ión amoníaco obtenidos en diversos estudios. N.D.= No detectado, VR= Valor Recomendado, VMP= Valor Máximo Permitido

En función de los valores promedio se ha representado un gráfico (Fig.51) donde se puede ver la tendencia creciente a lo largo del tiempo de la concentración de todas las formas de nitrógeno (explicado en detalle en cada uno de los apartados correspondientes a las formas de nitrógeno).

AÑO DE ESTUDIO	NITRATOS (mg/l)			NITRITOS (mg/l)			NTNAPH (mg/l)
	MIN	MED	MAX	MIN	MED	MAX	
1984	<0,001	0,032	0,114	-	-	-	<i>Nitratos</i> VMP 50
2001	0,02	0,04	0,18	0,001	0,008	0,032	
2002	0,01	0,05	0,12	0,002	0,013	0,055	
2006	-	0,06	-	0,003	0,005	0,012	<i>Nitritos</i> VMP 0,1 ó 3,0*
2010	2,60	5,48	9,60	0,003	1,005	1,8	

Tabla 38: Resultados de nitratos y nitritos obtenidos en diversos estudios. * Si se escoge el valor de 3,0 debe relacionarse el nitrato y nitrito por la fórmula: $(NO_3)/V.R.NO_3 + (NO_2)/V.R.NO_2$.
VMP=Valor Máximo Permitido

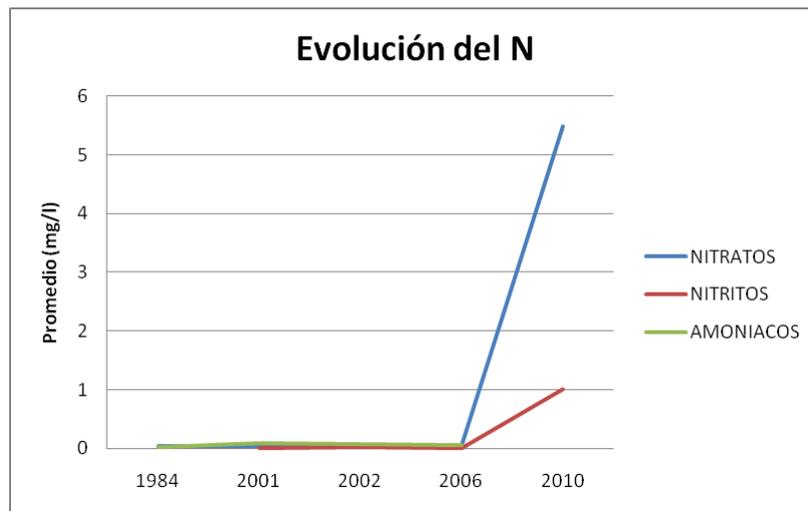


Fig. 51 – Evolución en el tiempo de las formas de nitrógeno. El ión amoniacal presenta un crecimiento lento desde 1984 al 2006. Los nitritos y nitratos presentan concentraciones similares y un crecimiento lento desde el 2001 al 2006 y es a partir de ahí hasta la actualidad cuando sufren un incremento muy alto de sus concentraciones unido a un crecimiento muy rápido.

Nitrógeno Amoniacal

Aunque en la actualidad no se ha estudiado la concentración que presenta, cabe esperar que al igual que las otras formas de N, su evolución en tiempo sea la de ascender (Fig.51).

En 1984, la presencia de N-NH₃ en la superficie del Lago, se encuentra dentro del rango menor de 0.001 –0.148 mg/L y con un promedio de 0.02 mg/L.

En los estudio del 2001 –2002, existe una concentración promedio del N-NH₃ de 0.05 mg/L en el estrato superficial del Lago. Esto significa un incremento de 1.5 veces con respecto al valor promedio de 1984.

En 2006 promedio actual de N-NH₃ en el estrato superficial del Lago se mantiene en 0.03 mg/L.

En conclusión, es un hecho la existencia de un proceso de enriquecimiento de las aguas del Lago con N-NH₃ aunque nos parece que este incremento, en 22 años, puede calificarse de lento y no supera a las

concentraciones máximas permisibles en los cuerpos de agua según las Norma Técnica Nacional.

Debido a la demostración de la no existencia de fertilizantes, la causa de este enriquecimiento N-NH₃ puede deberse a la descomposición de materia orgánica nitrogenada animal o vegetal.

Nitratos

Comparando este estudio con los anteriormente realizados en los años 1984, 2001-2002, 2006 se puede llegar a la conclusión de que la concentración de N-NO₃ aumenta exponencialmente a lo largo de los años (Fig.51).

En 1984, encuentran que el rango de concentraciones superficiales en el lago está entre menores de 0,001 mg/l y 0,114 mg/l, con un promedio de 0,032 mg/l.

El 2001-2002 se determina que las concentraciones promedio superficiales en el lago son de 0,05 mg/l, incrementado un 56,3 % respecto al estudio anterior (1984).

En 2006, se obtiene que las concentraciones superficiales vuelven a variar, aunque de un modo más moderado que el caso anterior, respecto al estudio de 2002, con un valor medio de 0,06 mg/l, lo que representa un incremento del 87,5% respecto a hace 22 años (1984) y uno del 20% respecto a 2002.

Sin embargo, el estudio actual, 2010, determina unas concentraciones superficiales en el lago entre 4,36 mg/l y 6,6 mg/l, con un valor promedio de 5,48 mg/l. Se refleja un aumento muy significativo de los valores: en 1984 el promedio era de 0,032 mg/l siendo actualmente de 5,4835 mg/l, lo que representa un incremento de las concentraciones promedio mayor del 1700%.

A pesar de este incremento, no se superan los valores de la normativa. El aumento de las concentraciones puede indicarnos que en estos años ha existido un aumento de aportes materia orgánica que se encuentra actualmente en descomposición.

Nitritos

Comparando este estudio con los anteriormente realizados en los años 2001-2002 y 2006, se puede llegar a las siguientes conclusiones (Fig.51):

El estudio de los años 2001-2002, determina que las concentraciones superficiales de nitritos en el lago van de 0,004 mg/l a 0,02 mg/l, con un valor promedio de 0,01 mg/l. Mientras que en 2006, las concentraciones superficiales en el lago varían de 0,003mg/l a 0,012 mg/l, con valor medio de 0,005 mg/l. Entre ambos estudios no hay cambios significativos y nunca se superan los valores de la norma técnica nacional de aguas potables.

Sin embargo, en 2010, las concentraciones superficiales en el lago oscilan de 0,003 mg/l a 1,8 mg/l con un valor promedio de 1,005 mg/l. Este dato indica que la concentración media de los nitritos ha sufrido un aumento significativo, en los últimos 9 años.

Este aumento es muy significativo, y llega a presentar valores que determinan una contaminación importante por este nutriente, al ser mayor de 0,1mg/l.

El incremento de las concentraciones de nitritos, al igual que en el caso de los nitratos, puede deberse a un mayor aporte de materia orgánica, en este caso en descomposición parcial.

FORMAS DE FÓSFORO (Tabla 39)

AÑO DE ESTUDIO	ORTOFOSFATOS (mg/l)			FÓSFORO LIBRE (mg/l)			NTNAPH (mg/l)
	MIN	MED	MAX	MIN	MED	MAX	
1984	<0,001	0,003	0,015	-	-	-	No existen especificaciones
2001	0,01	0,23	0,58	0,003	0,08	0,19	
2002	0,02	0,22	0,51	0,007	0,07	0,17	
2006	-	0,07	-	-	-	-	
2010	0,12	1,35	4,33	0,09	0,75	1,45	

Tabla 39: Resultados de las formas de fósforo obtenidos en diversos estudios

En función de los valores promedio se ha representado un gráfico (Fig.52) donde se puede ver la tendencia creciente a lo largo del tiempo de la concentración de todas las formas de fósforo (explicado en detalle debajo de la figura).

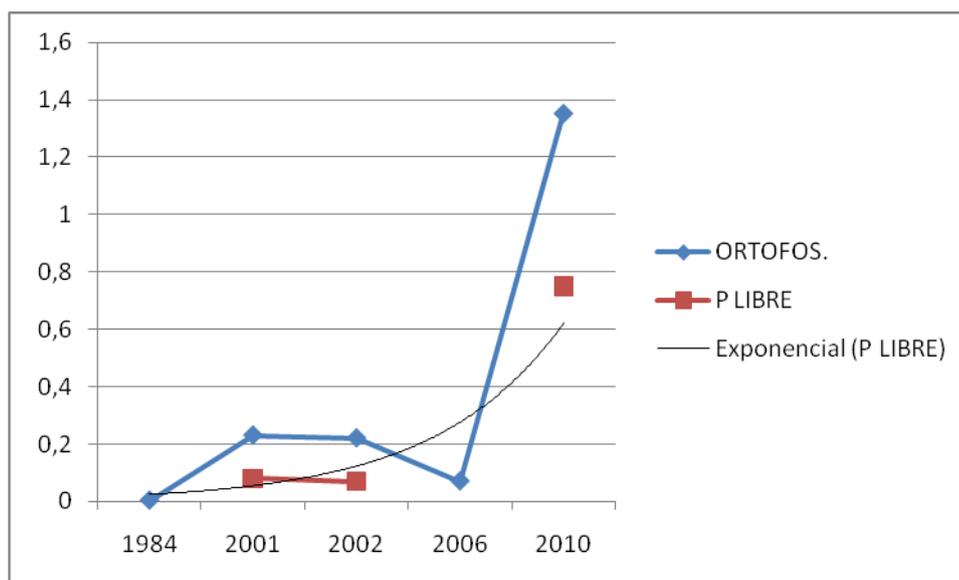


Fig. 52 – Evolución en el tiempo de las formas de fósforo. Los ortofosfatos presentan un crecimiento de 1984 a 2001, a partir de ahí comienza una disminución en las concentraciones hasta alcanzar el mínimo en el año 2006 donde comienza un nuevo incremento con un crecimiento muy rápido. En el caso

del fósforo libre y a falta del muestreo del año 2006 se puede observar un comportamiento similar al de los ortofosfatos donde la línea de tendencia nos indica un crecimiento rápido de las concentraciones en los últimos años.

Ortofosfatos y Fósforo libre

En 1984, en la superficie del lago existe una concentración estimada entre $<0.001 - 0.015$ mg/l, con un promedio de 0.003 mg/l.

En 2002, el promedio de ortofosfatos es de 0.07 mg/l. Es decir, que con respecto al estudio anterior su concentración se incrementó 22 veces.

En 2006, el promedio es de 0.07 mg/l en la superficie del lago, mismo nivel que la última concentración estimada. En consecuencia, quizá se pueda hablar de la existencia de cierto mecanismo de estabilización en el proceso de enriquecimiento de las aguas del lago con la especie química $P-PO_4^{3-}$ desde 2002 al 2006.

En la actualidad, 2010, la concentración media se estima en 1, 35 mg/l, lo que supone un nuevo incremento, esta vez enorme respecto a años anteriores.

En el caso del fósforo libre, como se puede observar en los registros obtenidos a lo largo de 2001-2002 las variaciones son prácticamente inexistentes, pudiendo hablar de una posible estabilización, sin embargo, los datos de 2010, reflejan un incremento considerable de esta especie química, lo mismo que ocurría anteriormente con los ortofosfatos, existe un proceso de enriquecimiento del P libre a partir de 2002 hasta la actualidad.

Este incremento de ambas especies químicas, ha tenido un impacto en el aumento de la fertilización de las aguas del Lago de Yojoa, aunque la ausencia de pesticidas organofosforados, se podría considerar que las posibles fuentes de este incremento son: aumento de los volúmenes y cambio en la calidad de las aguas residuales domésticas que aportan cantidades indeterminadas de fósforo al lago. Descarga directa de las aguas residuales de los negocios que operan en los alrededores del lago. Aporte de fosfatos proveniente del lavado de ropa directamente en los afluentes del lago. Aporte de fósforo procedente de los excrementos vacunos del ganado y descargas hacia aguas del lago de tierras agrícolas fertilizadas con abonos fosfatados.

A pesar de dicho incremento y en función de la clasificación de las aguas por su contenido en fósforo total, se puede indicar que nos encontramos ante aguas poco contaminadas, en el límite con contaminación importante según Massol, 2010.

OTRAS SALES (Cloruros, Sulfatos) (Tabla 40)

AÑO DE ESTUDIO	CLORUROS (mg/l)			SULFATOS (mg/l)			NTNAPH (mg/l)
	MIN	MED	MAX	MIN	MED	MAX	
2010	0,25	1,2	3,49	0,009	0,715	5,27	<u>Cloruros y Sulfatos</u> VR 25 VMP 250

Tabla 40: Resultados de cloruros sulfuros obtenidos en este estudio. . VR= Valor Recomendado; VMP=Valor Máximo Permitido

No existen registros de estos dos parámetros en estudios anteriores, pero se puede determinar que las concentraciones presentes para en el año 2010 son muy bajas y por tanto, no suponen ningún tipo de amenaza para el cuerpo de agua del Lago de Yojoa.

En el caso de los cloruros, este ion puede ingresar al agua de forma natural, mediante el lavado que las aguas lluvias realizan sobre el suelo.

La presencia de los sulfatos puede tener como fuente de ingreso los residuos del drenaje de minas (oxidación de la pirita y del uso del ácido sulfúrico), oxidación de menas de sulfuro, desechos industriales y fertilizantes. Además el sulfato es uno de los principales constituyentes disueltos de la lluvia.

METALES ALCALINOS (Na, K) (Tabla 41)

AÑO DE ESTUDIO	Na (mg/l)			K (mg/l)			NTNAPH (mg/l)
	MIN	MED	MAX	MIN	MED	MAX	
1984	1,9	-	2,6	1,0	-	1,4	<u>Sodio</u> VR:25 VMP 20 <u>Potasio</u> VMP 10
2001	0,87	1,74	2,21	0,87	1,74	2,21	
2002	1,61	2,30	3,20	1,20	1,53	2,40	
2006	1,73	2,28	3,20	1,31	1,99	3,45	
2010	1,84	2,11	3,55	1,23	2,76	8,6	

Tabla 41: Resultados de sodio y potasio obtenidos en diversos estudios. VR= Valor Recomendado; VMP=Valor Máximo Permitido

No existen cambios importantes de estos registros en el tiempo, para ambos elementos los valores obtenidos siempre se han mantenido muy bajos, aunque con una ligera tendencia a aumentar en el tiempo. Estos resultados indican una vez más una salinidad baja de las aguas al igual que lo indica los resultados de la conductividad.

Todos los registros se encuentran por debajo del valor propuesto por la NTNAPH y en ningún caso se iguala o supera dichas cifras. De acuerdo con los datos obtenidos, se puede concluir que hasta el momento no ha existido ninguna fuente natural o antropogénica que se haya constituido en un problema de contaminación que eleve las concentraciones de estas dos especies químicas.

METALES ALCALINOTÉRREOS (Ca, Mg) (Tabla 42)

AÑO DE ESTUDIO	Ca (mg/l)			Mg (mg/l)			NTNAPH (mg/l CaCO ₃)
	MIN	MED	MAX	MIN	MED	MAX	
1984	22,3	29,2	38,4	1,3	1,7	2,1	<u>Calcio</u> VMP 100 <u>Magnesio</u> VMP 30
2001-2002	25,8	27,8	30,50	1,40	1,54	1,93	
2010	13,74	22,03	29,22	0,83	1,36	1,73	

Tabla 42: Resultados del calcio y magnesio obtenidos en diversos estudios. VMP=Valor Máximo Permitido

Existe una ligera tendencia a disminuir las concentraciones tanto de calcio como de magnesio. Pero las concentraciones registradas a lo largo de todos los años son tan bajas que no es muy significativa.

Parámetros íntimamente relacionados con la dureza del agua, en función de su concentración las aguas serán duras o blandas.

La comparación de estos dos parámetros en el tiempo, es una demostración clara de una relativa constancia de estas especies químicas y por tanto, la dureza de las aguas apenas ha sufrido cambios en estos 26 años considerándose siempre como muy blandas.

Todos los registros se encuentran dentro de los límites marcados y ninguno de ellos iguala o supera el valor máximo propuesto.

METALES PESADOS (Pb, Cu, Zn, Cd, Fe, Mn) (Tabla 43,44)

En el estudio realizado en el año 2010 no se han analizado ni plomo ni cadmio, por tanto el resultado de estos dos elementos se presentan de modo independiente.

AÑO DE ESTUDIO	Pb (mg/l)			Cd (mg/l)			NTNAPH (mg/l)
	MIN	MED	MAX	MIN	MED	MAX	
2002	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	<u>Plomo:</u> VMP 0,01 <u>Cadmio:</u> VMP 0,003

Tabla 43: Resultados de plomo y cadmio obtenidos en un estudio anterior. N.D.= No Detectados, VMP= Valor máximo permitido

En el estudio del año 2002, todas las concentraciones menores de 0,01 mg/l de Cu, Pb, Zn y Cd no han podido ser identificadas (N.D.) y los valores entre 0,1 mg/l – 0,01 mg/l de Cu, Pb y Zn; y entre 0,05 mg/l y 0,01 mg/l de Cd se considera que no son fiables. Estas limitaciones son debidas a la técnica de estudio.

AÑO	Cu (mg/l)			Zn (mg/l)			Fe (mg/l)			Mn (mg/l)			NTNAPH (mg/l)
	MIN	MED	MAX	MIN	MED	MAX	MIN	MED	MAX	MIN	MED	MAX	
2002	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,031	0,06	N.D.	0,045	0,09	N.D.	N.D.	N.D.	<u>Hierro</u> VMP 0,3 <u>Manganeso</u> V.R. 0,01 VMP 0,5 <u>Cobre</u> V.R. 1,0 V.M.P. 2,0 <u>Cinc</u> V.M.P. 3,0
2010	0,01	0,031	0,26	<0,01	0,02	0,06	0,007	0,112	0,32	<0,01	0,0713	0,25	

Tabla 44: Resultados de plomo y cadmio obtenidos en un estudio anterior. N.D.= No Detectados, VMP= Valor máximo permitido, VR= Valor recomendado

Valorando todos los metales pesados en su conjunto y aunque en 2010 aparecen cantidades anteriormente no detectadas, las concentraciones de estas especies en el agua superficial del lago siguen siendo muy bajas, por tanto no pueden considerarse peligrosas para la vida acuática o para la salud humana, y ningún valor registrado supera la norma.

En términos generales y a modo de hipótesis, las concentraciones encontradas de estos metales pesados en las aguas del Lago de Yojoa podrían proceder, por una parte, del aporte de algunos ríos, que han incorporado a sus aguas metales pesados procedentes de la actividad minera existente en la zona o mediante descargas de residuos urbanos con contenido metálico. Por otra parte, también podrían deberse a algunas fuentes de agua, que transportan sólidos disueltos o sedimentos en suspensión resultado de procesos físico-químicos naturales de lixiviación de rocas, disolución de metales en compuestos minerales o a erosión de suelos. Pero ninguna de estas hipótesis ha podido ser demostrada ya que no ha formado parte de este estudio, siendo interesante para estudios próximos.

CONTAMINACIÓN MICROBIOLÓGICA (Tabla 45)

AÑO DE ESTUDIO	RECUESTO TOTAL BACTERIANO (UFC/100ml)			COLIFORMES TOTALES (UFC/100ml)			COLIFORMES FECALES (UFC/100ml)			E-COLI (UFC/100ml)			NTNAPH (UFC/100ml)
	MI N	MED	MA X	MI N	ME D	MA X	MI N	ME D	MA X	MI N	ME D	MA X	
2001	-	-	-	0	91	1.60 0	0	92	1.50 0	-	-	-	<u>TOTAL BACTERIANO</u> VMP <500
2002	-	-	-	0	452	5.50 0	0	130	2.50 0	-	-	-	<u>COLIFORMES TOTALES, FECALES Y E-COLI</u> VMP 0
2006	-	-	-	0	768	6.70 0	0	197	1.20 0	-	-	-	
2010	11 4	>1.45 0	6.50 0	10	>60 0	5.00 0	<1	>40 0	4.50 0	<1	>35 0	4.00 0	

Tabla 45: Resultados de microbacterias obtenidos en diversos estudios. N.D.= No Detectados, VMP= Valor máximo permitido

Si se comparan los valores medios, obtenidos a lo largo de todos los estudios, 2001-2010, se observa que hay un incremento bastante llamativo a lo largo de los años, esto claramente se debe a un aumento de los focos emisores de estos parámetros.

En la mayoría de los de los registros, existen altas concentraciones de coliformes, lo que indica una alta contaminación bacteriológica. Esto constituye un elevado aporte de materia orgánica que puede contribuir al proceso de eutrofización del lago.

En la mayoría de los datos registrados en los estudios anteriores (2001-2006) se superan los valores de la Norma Técnica, aunque en algunas ocasiones el recuento de los Coliformes ha sido cero. Sin embargo, en la actualidad (2010), todos los valores registrados sin excepción presentan contaminación microbiológica.

Algunas de las fuentes de contaminación que promueven el incremento de las concentraciones son, por una parte, posible aumento del número de personas que habita en los diferentes pueblos ubicados alrededor del lago y un incremento del turismo que visita las casetas de venta de pescado, hoteles y otros negocios de la zona, tanto unos como otros, no presentan en su mayoría, ningún control de los desechos sólidos, vertiendo en su mayoría, directamente a las aguas del lago o en su defecto a las quebradas que van a desembocar a él. Por otra parte, la presencia de ganado en los alrededores del lago e incluso dentro de los propios humedales favorece dicho incremento.

TRANSPARENCIA DE SECCHI (Tabla 46)

AÑO DE ESTUDIO	TRANSPARENCIA DE SECCHI (m)			NTNAPH
	MIN	MED	MAX	
1984	-	7,10	-	No existen especificaciones
2001	3,50	5,00	6,50	
2002	3,50	4,53	6,00	
2010	3,38	4,24	4,72	

Tabla 46: Resultados de la transparencia de Secchi obtenidos en un estudio anterior

Al comparar los datos obtenidos por todos los estudios (Fig.53), se puede apreciar que existe una disminución de la transparencia de las aguas del Lago de Yojoa a medida que pasan los años.

De los datos registrados de 1984 (7,1 m), a los obtenidos en los años 2001-2002 (4,8 m de media), se observa que ha existido una disminución de la transparencia del 32,4% en 18 años.

Si ahora se comparan estos resultados con los obtenidos en 2010 (4,2 de media), se observa que la transparencia ha disminuido un 12,5% en los últimos 9 años (2001-2010) y un 41% en 26 años (1984-2010).

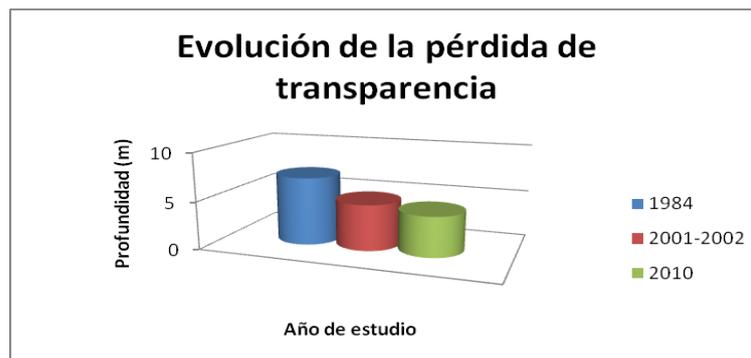


Fig. 53 – Comparativa en el tiempo de la transparencia de Secchi. Se observa una clara disminución de la transparencia con el paso de los años

Esta disminución de la transparencia en el tiempo, nos indica que la concentración de partículas en suspensión, los niveles de materia orgánica disuelta y coloreada y la cantidad de biomasa planctónica también ha aumentado.

CONTAMINACIÓN POR PESTICIDAS (Tabla 47)

AÑO DE ESTUDIO	PESTICIDAS (mg/l)			NTNAPH (mg/l CaCO ₃)
	MIN	MED	MAX	
2001	N.D.	N.D.	N.D.	Valor Recomendado 400
2002	N.D.	N.D.	N.D.	
2010	N.D.	N.D.	N.D.	

Tabla 47: Resultados de plomo y cadmio obtenidos en un estudio anterior. N.D.= No Detectado

Aunque en la actualidad, no se ha estudiado la posible presencia o no de pesticidas en las aguas del Lago de Yojoa.

Los pesticidas analizados en los estudios anteriores son pesticidas organoclorados y organofosforados y se puede concluir que al menos, hasta el año 2006 no se ha detectado la existencia de éstos en las aguas del Lago de Yojoa.

9. ESTADO TRÓFICO DEL LAGO DE YOJOA

El proceso en enriquecimiento de las aguas en nutrientes o fertilización, da lugar a un crecimiento explosivo de algas productoras de trastornos en el equilibrio ecológico, a este fenómeno se le conoce con el nombre de Eutrofización.

Independientemente de que el origen de este fenómeno, sea un proceso natural o artificialmente provocado, puede llegar a disminuir la capacidad útil de un cuerpo de agua, que podría terminar sin oxígeno disuelto en aquellas áreas donde el proceso haya tenido lugar.

Según Arce (sin fecha) las causas de la eutrofización pueden ser:

Naturales: Aportes atmosféricos (precipitación). Removilización de los sedimentos del fondo. Liberación desde los sedimentos anóxicos. Descomposición y excreción de organismos, y fijación de nitrógeno por microorganismos.

Antropogénicas: Vertidos de residuos (industriales, agrícolas, urbanos y de plantas de tratamiento). Deforestación que aumenta la erosión y disminuye el reciclaje de nutrientes en la cuenca, aumentando su ingreso al cuerpo de agua. Fertilizantes aplicados en exceso. Aguas residuales de granjas. Tanques sépticos. Uso de detergentes con grandes cantidades de fósforo. Aporte de contaminantes por agua de lluvia y sistema de alcantarillado de ciudades y pueblos.

Es importante indicar que el proceso de eutrofización es la causa primaria de un florecimiento algal persistente y del deterioro del ambiente acuático de los lagos. En consecuencia, la mayoría de los esfuerzos para disminuir los efectos nocivos y no deseados de la eutrofización apuntan al problema de la reducción de nutrientes (N, P), que son limitantes del crecimiento vegetal.

El grado o extensión alcanzada por la eutrofización permite clasificar un cuerpo de agua en tres diferentes estados tróficos (Sandoval, 2003):

Oligotrófico: Cuerpo de agua claro y azul, con bajas concentraciones de nutrientes limitantes y reducida presencia de algas. Si se estratifica, presenta abundante oxígeno hipolimnético.

Mesotrófico: Cuerpo de agua con moderada presencia de nutrientes limitantes y algas. Productividad o proliferación moderada.

Eutrófico: Cuerpo de agua de color verde (muy productivo y fértil), con alto contenido de nutrientes limitantes y elevada producción de algas.

Es importante señalar que la Eutrofización es un proceso de cambio de un estado trófico a otro de nivel superior por adición de nutrientes. Clasificar u ordenar un cuerpo de agua bajo un determinado estado trófico, es un proceso

complejo y difícil, ya que existen muchas variables que intervienen en el proceso de eutrofización. Además, la carencia de datos que reflejen la realidad y las condiciones de eutrofización de lagos calientes tropicales como es el Lago de Yojoa dificulta la comparación entre ellos, lo que complica aún más esta tarea.

A pesar de ello, el grado de eutrofización de un sistema se puede conocer a través de la cuantificación del Nitrógeno y del Fósforo en el agua o a través de su contenido en clorofila; también, indirectamente, mediante la Transparencia de Secchi.

Continuando con la comparativa de estudios previos de la calidad del agua superficial del Lago de Yojoa, se va a seguir la misma metodología aplicada por Sandoval (2003), en los estudios de 2001 y 2002.

Estos años, el estrado trófico del Lago de Yojoa fue catalogado en función de tres parámetros: Profundidad de Secchi, contenido promedio de fósforo libre y nitrógeno ($\text{NO}_2 + \text{NO}_3 + \text{NH}_3$). Los límites usados para adjudicar el nivel trófico se presentan en las Tablas 48 y 49:

ESTADO TRÓFICO	PROFUNDIDAD DE SECCHI (m)
<i>Oligotrófico</i>	9,9
<i>Mesotrófico</i>	4,2
<i>Eutrófico</i>	2,45
<i>Hipertrófico</i>	0,4-0,5

Tabla 48: Límites establecidos por la OCDE para el estado trófico de las aguas.

ESTADO TRÓFICO	FÓSFORO TOTAL (mg/m3)=$\mu\text{g/l}$	NITRÓGENO TOTAL (mg/m3)=$\mu\text{g/l}$
<i>Oligotrófico</i>	<10	<200
<i>Mesotrófico</i>	10-20	200-300
<i>Eutrófico</i>	>20	>300

Tabla 49: Límites establecidos en Nueva Zelanda para establecer el estado trófico de las aguas.

Siguiendo estas mismas síntesis (Tabla 50), a continuación se muestra una comparativa de los resultados obtenidos en los estudios de 2001 y 2002 mencionados frente a los obtenidos en 2010; los valores promedio de las formas de nitrógeno en 2010 sólo reflejan nitratos y nitritos, puesto que no fueron analizadas las formas amoniacales:

De acuerdo con los resultados obtenidos (habría que añadir el contenido de N-NH_3 al promedio de N total lo que aumentaría aún más el resultado total y con ello el incremento de la eutrofización de las aguas), y tratando empíricamente e igual que se realizó en 2001-2002 de establecer cierto equilibrio entre los

diferentes estados tróficos obtenidos como resultado, donde se catalogó el lago como Oligotrófico-Mesotrófico, podríamos concluir que actualmente el Lago de Yojoa puede clasificarse como Mesotrófico-Eutrófico.

AÑO DE ESTUDIO	PARÁMETRO	REGISTROS	NIVELES TRÓFICO	ESTADO TRÓFICO
2001-2002	<i>Nitrógeno</i>	<i>130 µg/l</i>	<i>Oligotrófico</i>	<i>Oligotrófico-Mesotrófico</i>
	<i>Fósforo</i>	<i>0,07 mg/l = 70 µg/l</i>	<i>Eutrófico</i>	
	<i>Transparencia Secchi</i>	<i>4,8 m</i>	<i>Oligotrófico-Mesotrófico</i>	
2010	<i>Nitrógeno</i>	<i>6,485 mg/l = 648,5 µg/l</i>	<i>Eutrófico</i>	<i>Mesotrófico-Eutrófico</i>
	<i>Fósforo</i>	<i>0,75 mg/l = 75 µg/l</i>	<i>Eutrófico</i>	
	<i>Transparencia Secchi</i>	<i>4,2 m</i>	<i>Mesotrófico</i>	

Tabla 50: Resultados obtenidos en el estudio 2001-2002 y en 2010 de los parámetros que indican el estado trófico de las aguas.

Por lo tanto, una vez más, se demuestra que el lago ha sufrido en los últimos años un incremento de su fertilización que consecuentemente ha provocado un crecimiento y proliferación de las algas, lo que está causando trastornos en el equilibrio ecológico. Además se corrobora la interpretación realizada de los mapas en cuanto a la presencia de una contaminación en nitritos.

10. ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA

La preservación de los recursos naturales requiere, entre otras medidas, de la implementación y mantenimiento de métodos que permitan interpretar los resultados obtenidos en los muestreos, fundamentalmente basados en el estudio de indicadores ambientales.

Los índices implementados actualmente para control del agua permiten evaluar la calidad, aptitud, sostenibilidad y grado de conservación de los mismos, a través del cálculo de su correspondiente “Índice de Calidad de Agua” (ICA).

La necesidad de evaluar permanentemente su calidad y poder compararla con otras aguas, hace que se requiera de un método unificado, donde los indicadores sean calculados de igual manera, de tal forma que resulten uniformes e independientes de la capacidad o métodos de observación del operador.

El método se basa en el “Water Quality Index”, modificado por Brown, el cual emplea gráficos para calcular los índices correspondientes a los siguientes parámetros (w_i):

1. Coliformes Fecales* (1 NMP/100 ml = 1 UFC/100ml)
2. pH (unidades de pH)
3. Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/l)
4. Nitratos (NO_3 mg/l)
5. Fosfatos (PO_4 mg/l)
6. Cambio de la Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
7. Turbidez** (1 FAU = 1 UNT)
8. Sólidos disueltos totales (mg/l)
9. Oxígeno disuelto (% de saturación)

*Coliformes Fecales: Son unidades equivalentes, NMP/100ml (número más probable por 100 ml) si se usa la técnica del número más probable o en UFC/100ml (unidades formadoras de colonias por 100ml) si se utiliza la técnica de filtración por membrana.

**Turbidez: 1 FAU (unidades de atenuación de formacina) es equivalente a 1 UNT (unidades nefelométricas de turbidez). Ambas unidades representan 7,5 ppm de Sílice.

Para calcular el Índice de Brown (Sub_i), se puede utilizar una suma lineal ponderada de los subíndices (ICA_a) o una función ponderada multiplicativa (ICA_m). Estas agregaciones se expresan matemáticamente como sigue:

$$ICA_a = \sum_{i=1}^9 (Sub_i * w_i)$$

$$ICA_m = \prod_{i=1}^9 (Sub_i^{w_i})$$

Donde:

w_i : Pesos relativos asignados a cada parámetro (Sub_i), y ponderados entre 0 y 1, de tal forma que se cumpla que la sumatoria sea igual a uno.

Sub_i: Subíndice del parámetro i .

Los pesos, w_i establecidos para los diversos parámetros son (Tabla 51):

i	Sub_i	w_i
1	Coliformes Fecales	0,15
2	pH	0,12
3	DBO	0,10
4	Nitratos	0,10
5	Fosfatos	0,10
6	Temperatura	0,10
7	Turbidez	0,08
8	TSD	0,08
9	OD	0,17

Tabla 51: Pesos, w_i asociados a los parámetros correspondientes

Los pasos a seguir para calcular los (Sub_i) del ICA son:

Sub₁: Coliformes Fecales (Fig.54)

Si los Coliformes fecales son mayores de 100.000 Bact/100 ml el (Sub_1) es igual a 3. Si el valor de Coliformes fecales es menor de 100.000 Bact/100 ml, buscar el valor en el eje de (X) en la (Fig. 49) se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el (Sub_1) de Coliformes fecales, se procede a elevarlo al peso w_1 para calcular ICA_m o se multiplica por w_1 si se calcula el ICA_a .

Como el valor de la gráfica está en función de Bact/100 ml, debemos usar nuestro dato Recuento Total Bacteriano y no Coliformes Fecales como se indica en la gráfica, ya que en este dato no estaría hecho el recuento total de bacterias existentes por cada 100 ml. El valor representado en la gráfica es un valor aproximado al resultado real, ya que en dos muestreos correspondientes al mes de Mayo el resultado del laboratorio no fue un valor exacto sino que indicaba

que el recuento era mayor de 5.700 UFC/100ml (para obtener la media se ha usado un valor de 5.701 UFC/100 ml).

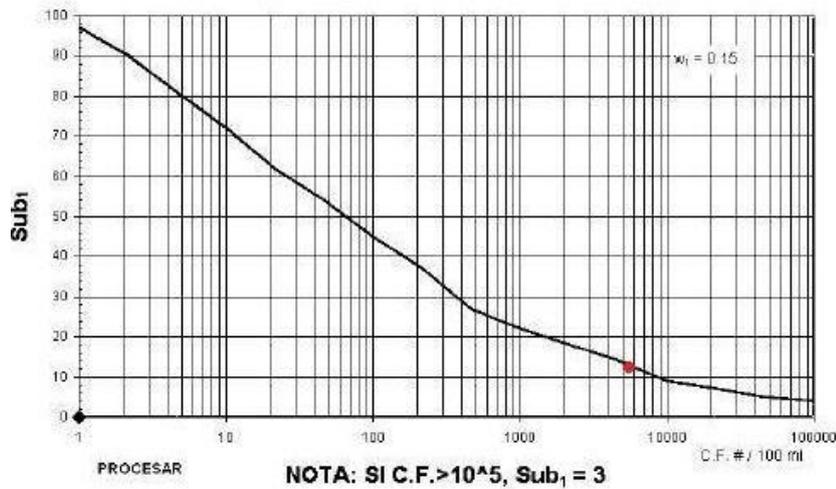


Fig. 54 – Valoración de la calidad del agua en función de los Coliformes fecales (Recuento total bacteriano Bact/100ml) (SNET)

Sub₂: pH (Fig.55)

Si el valor de pH es menor o igual a 2 unidades el (Sub₂) es igual a 2, si el valor de pH es mayor o igual a 10 unidades el (Sub₂) es igual a 3. Si el valor de pH está entre 2 y 10 buscar el valor en el eje de (X) en la (Fig. 50) se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el (Sub₂) de pH y se procede a elevarlo al peso w_2 para calcular ICA_m o se multiplica por w_2 si se calcula el ICA_a

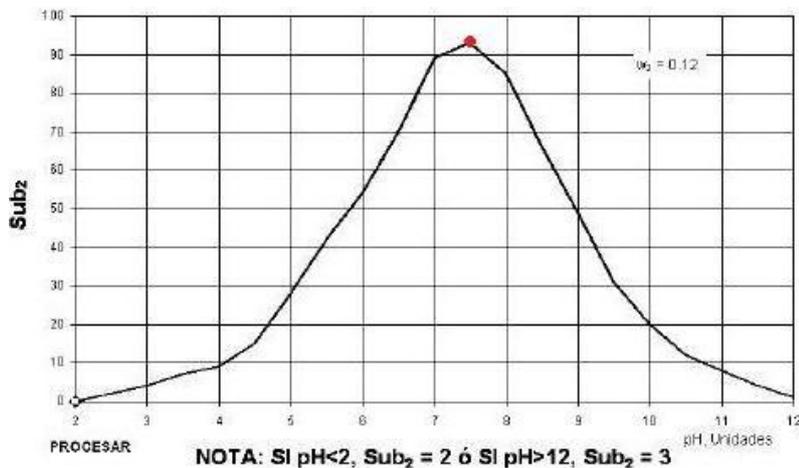


Fig. 55 – Valoración de la calidad del agua en función del pH (SNET)

Sub₃: DBO (Fig.56)

Si la DBO es mayor de 30 mg/l el (Sub₃) es igual a 2. Si la DBO es menor de 30 mg/l buscar el valor en el eje de (X) en la (Fig. 51) se procede a

interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el (Sub₃) de DBO y se procede a elevarlo al peso w_3 para calcular ICA_m o se multiplica por w_3 si se calcula el ICA_a

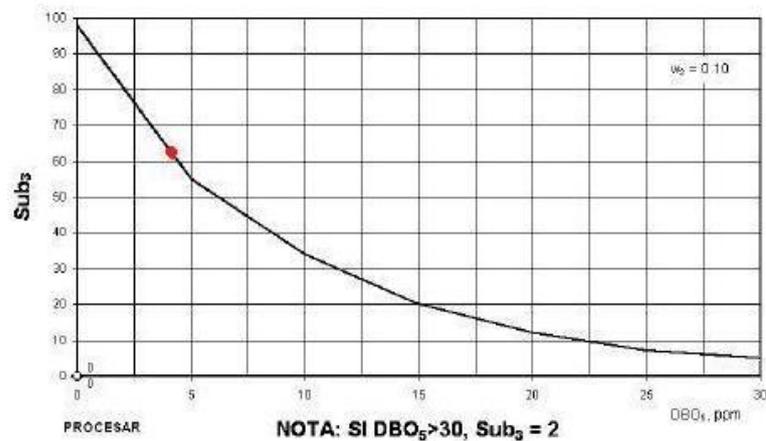


Fig. 56 – Valoración de la calidad del agua en función de la DBO (SNET)

Sub₄: Nitratos (Fig.57)

Si Nitratos es mayor de 100 mg/l el (Sub₄) es igual a 2. Si Nitratos es menor de 100 mg/l buscar el valor en el eje de (X) en la (Fig. 52) se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el (Sub₄) de Nitratos y se procede a elevarlo al peso w_4 para calcular ICA_m o se multiplica por w_4 si se calcula el ICA_a

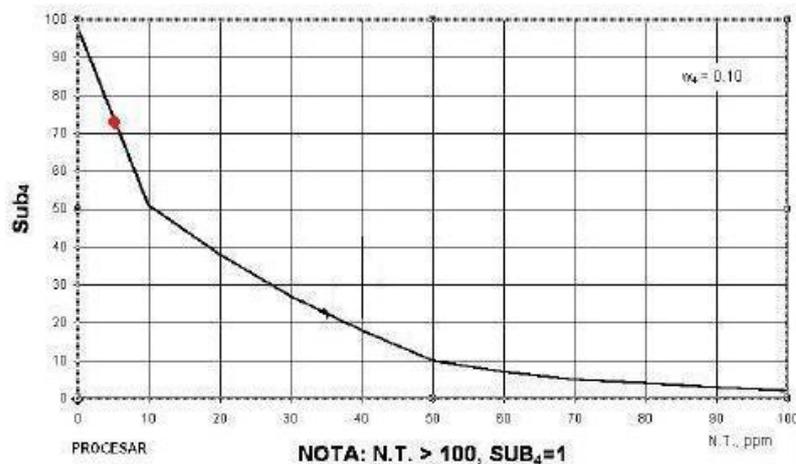


Fig. 57 – Valoración de la calidad del agua en función de los nitratos (SNET)

Sub₅: Fosfatos (Fig.58)

Si el Fosfatos es mayor de 10 mg/l el (Sub₅) es igual a 5. Si el Fosfatos es menor de 10 mg/l buscar el valor en el eje de (X) en la (Fig. 53) se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el (Sub₅) y se procede a elevarlo al peso w_5 para calcular ICA_m o se multiplica por w_5 si se calcula el ICA_a

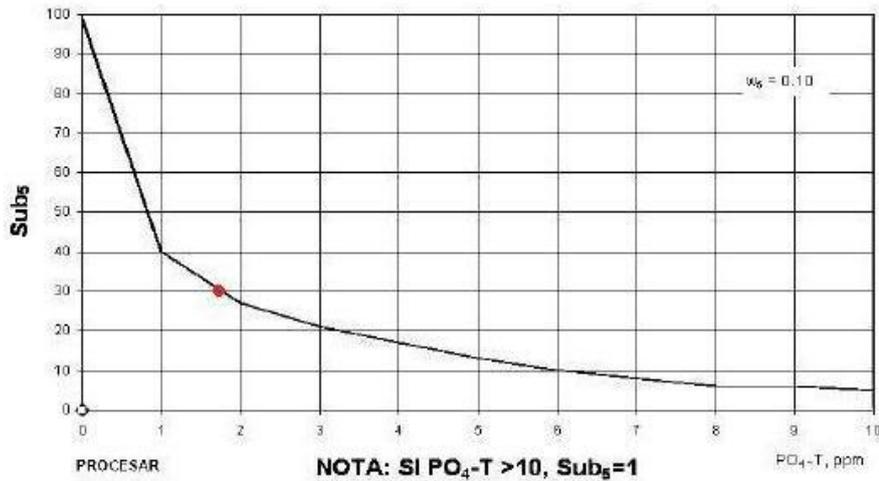


Fig. 58 – Valoración de la calidad del agua en función de los fosfatos (SNET)

Sub₆: Temperatura (Fig.59)

Para el parámetro de Temperatura (Sub₆) primero hay que calcular la diferencia entre la temperatura ambiente y la de la muestra y con el valor obtenido proceder

$$(T_a - T_m = 26,958^\circ\text{C} - 23^\circ\text{C} = 3,985^\circ\text{C} \approx 4^\circ\text{C}).$$

Si el valor de esa diferencia es mayor de 15°C el (Sub₆) es igual a 9. Si el valor obtenido es menor de 15°C, buscar el valor en el eje de (X) en la (Fig. 54) se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el (Sub₆) de Temperatura y se procede a elevarlo al peso w_6 para calcular ICA_m o se multiplica por w_6 si se calcula el ICA_a .



Fig. 59 – Valoración de la calidad del agua en función de la diferencia entre la temperatura ambiente y la temperatura del agua (SNET)

Sub₇: Turbidez (Fig.60)

Si la Turbidez es mayor de 100 UNT el (Sub₇) es igual a 5. Si la Turbidez es menor de 100 UNT, buscar el valor en el eje de (X) en la se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y) en la (Fig. 55). El valor encontrado es el (Sub₇) de Turbidez y se procede a elevarlo al peso w_7 para calcular ICA_m o se multiplica por w_7 si se calcula el ICA_a .

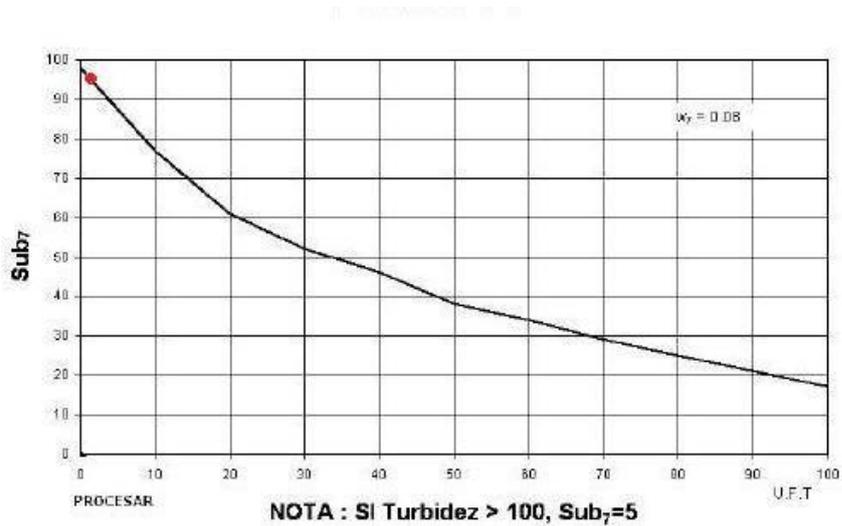


Fig. 60 – Valoración de la calidad del agua en función de la Turbidez (SNET)

Sub₈: TSD (Fig.61)

Si los Sólidos disueltos Totales son mayores de 500 mg/l el Sub₈ es igual a 3; si es menor de 500 mg/l, buscar el valor en el eje de (X) en la (Fig. 56) se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el (Sub₈) de Residuo Total y se procede a elevarlo al peso w_8 para calcular ICA_m o se multiplica por w_8 si se calcula el ICA_a

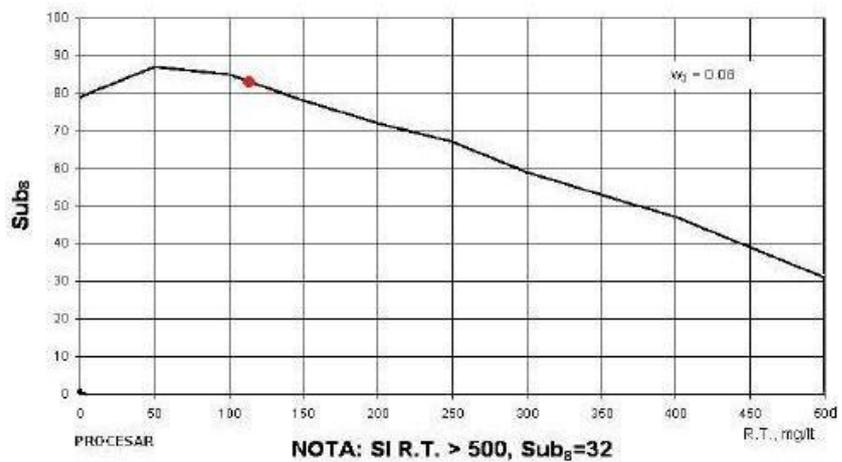


Fig. 61 – Valoración de la calidad del agua en función del TSD (SNET)

Sub₉: OD (Fig.62)

Si el porcentaje de Saturación de OD es mayor de 140% el (Sub₉) es igual a 47. Si el valor obtenido es menor del 140% de Saturación de OD buscar el valor en el eje de (X) en la (Fig. 57) se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el (Sub₉) de Oxígeno Disuelto y se procede a elevarlo al peso w₉ para calcular ICA_m o se multiplica por w₉ si se calcula el ICA_a

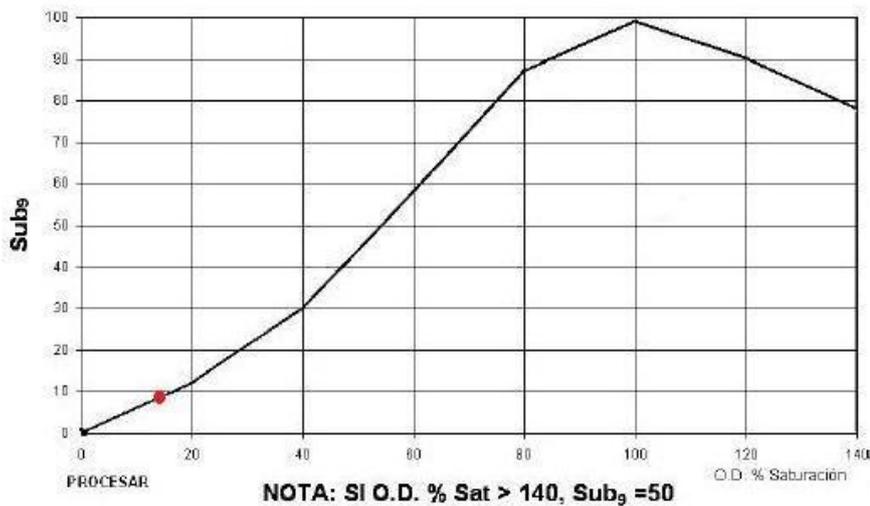


Fig. 62 – Valoración de la calidad del agua en función del OD (SNET)

Los datos obtenidos se incorporan al siguiente cuadro (Tabla 52) para obtener el valor del “ICA” mediante los dos procedimientos, ICA_a e ICA_m:

PARÁMETRO	VALOR	UNIDADES	Sub _i	w _i	TOTAL ICA _a ΣSub _i *w _i	TOTAL ICA _m ∏[Sub _i ^{w_i}
1 Coliformes Fecales	5.701	NMP/100mL ≈ UFC/100ml	14	0,15	2,1	1,49
2 pH	7,5	Unidades pH	94	0,12	11,28	1,72
3 DBO	4,12	mg/l	62	0,10	6,2	1,51
4 Nitratos	5,48	mg/l	72	0,10	7,2	1,53
5 Fosfatos	1,8	mg/l	30	0,10	3	1,41
6 Temperatura	4	°C	65	0,10	6,5	1,52
7 Turbidez	2	FAU ≈ NTU	96	0,08	9,6	1,58
8 TSD	114,8	mg/l	82	0,08	6,56	1,42
9 OD	12	%	9	0,17	1,53	1,45
VALOR DEL ICA					53,97 ≈ 54	41,28

Tabla 52: Cuadro resumen donde se presentan los resultados obtenidos para la calidad del agua por el método ICA_a e ICA_m

El “ICA” adopta para condiciones óptimas un valor máximo determinado de 100, que va disminuyendo con el aumento de la contaminación del agua en estudio (Tabla 53)

<i>CALIDAD DEL AGUA</i>	<i>CRITERIO GENERAL</i>	<i>VALOR DEL ICA</i>	<i>VALOR OBTENIDO</i>
<i>Excelente</i>	<i>No contaminado</i>	<i>91-100</i>	
<i>Buena</i>	<i>Aceptable</i>	<i>71-90</i>	
<i>Regular</i>	<i>Poco contaminado</i>	<i>51-70</i>	<i>ICA_a = 54</i>
<i>Mala</i>	<i>Contaminado</i>	<i>26-50</i>	<i>ICA_m = 41,28</i>
<i>Pésima</i>	<i>Altamente contaminado</i>	<i>0-25</i>	

Tabla 53: Valoración de la calidad del agua (Lobos, 2002)

- Las aguas con “ICA” mayor que 90 son capaces de poseer una alta diversidad de la vida acuática. Además, el agua también sería adecuada para todas las actividades que requieran un de contacto directo con ella.
- Las aguas con un “ICA” de categoría “Regular” tienen generalmente menos diversidad de organismos acuáticos y en ellas se ve aumentado con frecuencia el crecimiento de las algas.
- Las aguas con un “ICA” de categoría “Mala” pueden solamente apoyar una diversidad baja de la vida acuática y están experimentando probablemente problemas con la contaminación.
- Las aguas con un “ICA” que caen en categoría “Pésima” solamente pueden apoyar un número limitado de las formas acuáticas de la vida, presentan problemas abundantes y normalmente no sería considerada aceptable para las actividades que implican el contacto directo con ella, tal como natación.

Como se ha realizado el cálculo del ICA por los dos métodos:

$$\mathbf{ICA_a = 54 \text{ y } ICA_m = 41,28}$$

Los resultados obtenidos no corresponden a una misma categoría de calidad de agua, por lo que deberíamos admitir que las aguas del Lago de Yojoa presentarían una calidad entre aguas regulares (ICA_m) a aguas malas (ICA_a). Vuelve a demostrarse la probable contaminación de las aguas del Lago y la presencia de un crecimiento algal.

No obstante, hay que señalar que para la obtención de este índice han sido usados todos los valores obtenidos en análisis de laboratorio además del OD,

que sólo ha sido analizado por la sonda. Como ya se había indicado, el registro de este parámetro podría no ajustarse a la realidad e inducir a cierto error en el cálculo del ICA. No obstante, aunque se obviara el resultado obtenido para el OD y se calculase el ICA sólo en función de los ocho parámetros restantes, la calidad de las aguas del Lago de Yojoa sigue clasificándose del mismo modo.

11. CONCLUSIONES

El Lago de Yojoa es un lago monomítico cuyas aguas se mezclan en los meses de Diciembre-Enero. En rasgos generales, puede ser clasificado como un cuerpo de agua dulce, de baja alcalinidad y con aguas blandas.

A lo largo del estudio y tras analizar el comportamiento de los diferentes parámetros se ha demostrado que el Lago de Yojoa sufre con el paso de los años un empeoramiento en la calidad de sus aguas.

En la última década se ha producido un incremento en las concentraciones de nutrientes, tanto en las formas de nitrógeno como en las de fósforo, así como de actividad bacteriológica; esto indica de un modo directo el aumento la fertilización de las aguas posiblemente por aportes de materia orgánica en descomposición, favoreciendo con ello un aumento de algas. Esta contaminación viene acompañada por una intensa contaminación bacteriana-fecal.

A falta de poder comprobar los niveles de clorofila, y basándonos en las concentraciones existentes de nitrógeno y fósforo mas la disminución en la transparencia de Secchi, se puede indicar que el nivel trófico del lago también se ha visto afectado negativamente, pasando de un nivel oligotrófico-mesotrófico a mesotrófico-eutrófico.

En cuanto a la distribución estacional se ha demostrado que en función de la época que se analice muchos de los parámetros ven afectado su comportamiento de un modo directo.

Respecto a la distribución espacial y valorando todos los mapas realizados en su conjunto se pueden resaltar dos entradas de aportes principales en la subcuenca, uno situado en el extremo sur y otro en el margen oeste del Lago. Es difícil cuantificar cómo y en qué medida es responsable de este empeoramiento cada una de las actividades que se desarrollan en la subcuenca puesto que son muchos los actores implicados, y existe una deficiencia de estudios o información que arrojen luz sobre ello, pero sin duda se puede confirmar que todas y cada de las actividades perjudican la calidad de las aguas ya sea de un modo directo o indirecto y por tanto, se consideran potenciales fuentes de contaminación.

Por tanto, se puede concluir que se han cumplido todos los objetivos propuestos al inicio de este estudio además de demostrar que el sensor que registra el oxígeno disuelto en la sonda multiparamétrica es probable que no funcione correctamente.

12. BIBLIOGRAFÍA REFERENCIADA

- AMUPROLAGO (2002). Estadísticas del lago de Yojoa y su cuenca tributaria. Informe Interno.
- AMUPROLAGO (2003). Plan de Manejo de la Cuenca del Lago Yojoa.
- Arce, O. (sin año). Eutrofización de cuerpos de agua. Química del agua. Universidad Loyola, La Paz, Bolivia.
- Babor, J.A. y Ibarz, J. (1963). Química general moderna. Séptima edición. Ed. Marín, S.A. 1144 pp.
- 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.
- Betancourt, J. y Dulin, P. (1978). Plan de Uso Múltiple Lago de Yojoa (Segunda Fase). CODEHFOR Dirección general del RRNN, CATIE.
- Boyd, C.E. (2004). Estado ambiental de los lagos Yojoa y Cajón. Auburn University, Alabama, EE.UU.
- CCAD (2003). Primer congreso mesoamericano de áreas protegidas. Corredor Biológico Mesoamericano. Serie Memorias 14. Managua, Nicaragua.
- CEDEX (2006). Indicadores de sostenibilidad ambiental. 12 V-2c, p. 307-310. Ministerio de Fomento, España.
- Curran, D. (1981, a). Mapa Geológico de Honduras, Santa Cruz de Yojoa, Hoja 2060 IV, escala 1:50.000. Instituto Geográfico Nacional, Tegucigalpa, Honduras.
- Curran, D. (1981, b). Mapa Geológico de Honduras, Taulabé, Hoja 2660 III, escala 1:50.000 Instituto Geográfico Nacional, Tegucigalpa, Honduras.
- Custodio, E. y Llamas, M.R. (1983). Hidrología subterránea. Tomo I. Ed. Omega. Segunda edición. 1157 pp.
- Díaz Gutiérrez, J. (2010). Análisis temporal de las aguas superficiales adyacentes a los restaurantes ribereños y en los sistemas intensivos de acuicultura; y su relación con la eutrofización del Lago de Yojoa, Honduras. Tesis Ingeniero Forestal. Escuela Nacional de Ciencias Forestales. Siguatepeque, Honduras.
- ESA-MARENA (2007). Plan de manejo integrado de los recursos hídricos de la subcuenca del Lago de Yojoa. Tegucigalpa, Honduras.
- Finch, R.C. (1979). Mapa Geológico de Honduras, San Pedro Zacapa, Hoja 2560 II, escala 1:50.000. Instituto Geográfico Nacional, Tegucigalpa, Honduras.
- Finch, R.C. (1985). Mapa Geológico de Honduras, Santa Bárbara, Hoja 2560 I, escala 1:50.000. Instituto Geográfico Nacional, Tegucigalpa, Honduras.
- García Obando, L.A. (2003). Indicadores técnicos y evaluación de la influencia del uso de la tierra en la calidad del agua, subcuenca del río Tascalapa Yoro, Honduras Tesis de postgrado en Manejo de Cuencas Hidrográficas con sub especialización en Manejo de la Biodiversidad. CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Geólogos del Mundo (2010). Focos de contaminación subcuenca del Lago de Yojoa (Honduras). Proyecto: Programa para la regeneración medioambiental del Lago de Yojoa, 2009-2010.
- Hanna Instruments (sin fecha). HI 9828 Medidor multiparamétrico para la calidad del agua.
- Horne, A.J y Goldman, C.R. (1994). Limnology (Segunda Edición). McGraw-Hill. New York, EEUU.
- House, P. (2002). Diagnóstico Ambiental del Lago de Yojoa, Honduras. AMUPROLAGO.
- Kevern, R.N., Darrell, L., King, L.D. y Ring, R. (1996). Lake classification systems, part 1. The Michigan Riparian February.
- Lobos, J. (2002). Evaluación de contaminantes del Embalse del Cerrón Grande. PAES.

- Lynch, J.M. y Poole, N.J. (1979). *Microbiol ecology: a conceptual approach*. Blackwell Sci. Publ., London. 49pp.
- Marín B., Vivas L.J., Troncoso W., Acosta J.A., Vélez A.M. y Betancourt J. (2004). Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacífico colombiano red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marina y costeras de Colombia. Diagnóstico Nacional y Regional 2003. INVEMAR.
- Massol, A. (2010, a). Curso Ecología Microbiana. UPRM.
- Massol, A. (2010, b). Curso Microbiología Sanitaria. UPRN.
- Massol, A. (2010, c). Curso Microbiología. UPRM.
- Munn, C.B. (2004). *Marine Microbiology: ecology and applications*. New York: BIOS Scientific Publisher. Hidrosfera LTDA.
- Ortega-Gutiérrez, F., Solari L.A., Ortega-Obregón C., Elías-Herrera M., Martens U., Morán-Icál S., Chiquín M., Keppie D.J., Torres de León R. y Schaaf, P. (2007). The Maya-Chortís Boundary: A tectonostratigraphic approach. *International Geology Review*, 49: 1-29.
- Padilla Padilla, A.E. (2006). Examen de plomo y cadmio en Honduras. CESSCO.
- Remonti, M., Uttini, A., Cantelli, A., Dal Pont, P., Pappini, U. y Rainero, A. (2007). Studio Idrogeologico e Ambientale del Bacino del Lago di Yojoa, Honduras. *Geólogos Sin Fronteras*.
- Riveras, C., Rodas, R. y Rodríguez, G. (2003). Plan de manejo Cuenca del Lago de Yojoa 2003-2008. Programa El Cajón. ESA Consultores-AMUPROLAGO.
- Rogers, R.D. (1992). *Geology of the Valle de Jamastrán Quadrangle, Honduras*. Informe del Instituto Geográfico Nacional, Tegucigalpa, Honduras.
- SAG-MARENA (2003). Análisis del contexto territorial y plan de gestión de los recursos naturales de la Subcuenca del Lago de Yojoa. Tegucigalpa, Honduras.
- SAG-MARENA (2006). Plan De Manejo Integrado de los recursos hídricos de la subcuenca del Lago de Yojoa. Tegucigalpa, Honduras.
- Sánchez Navas, E.N. (2011). *Compendio de legislación ambiental de Honduras*. Norma Técnica Nacional para la Calidad del Agua Potable. 1071 pp.
- Sandoval, S. (2003). Evaluación de la calidad del agua del Lago de Yojoa. Unidad de servicios técnicos, ENEE.
- Sandoval, S. (2006). Informe preliminar sobre la calidad del agua del espejo del Lago de Yojoa y de sus afluentes. Unidad de servicios técnicos, ENEE (inédito).
- SERNA-GEOMINH-BRGM. (1987-1992). Mapa Metalogenético y Catálogo de Minas y Ocurrencias Minerales, Inventario Minero Nacional II Fase. Tegucigalpa, Honduras.
- Silva-Romo, G. y Mendoza-Rosales, C.C. (2009). Evaluación geológica de los modelos para el truncamiento cenozoico del sur de México: Erosión por subducción y detachment del bloque Chortís. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 26(1) 165-176.
- Smith, L.L y Smith, L.M. (2000). *Ecología* (Cuarta Edición.). Addison Wesley.
- SNET (sin fecha). Índice de calidad del agua general "ICA". Servicio Nacional de Estudios Territoriales. San Salvador, El Salvador.
- Studer, E. (2007). Evaluación de parámetros físicos, químicos y biológicos. Indicadores del estado trófico del Lago de Yojoa, Honduras. Tesis de máster EPFL-CESCCO.
- Vaux, P., Baepler, D., Jennings, R., Soden, D., Galvez, E., Discua, J. y Vargas, E. (1993). *Evaluación Ambiental Del Lago de Yojoa y Su Cuenca Tributaria*. USAID.
- Weber, B., Valencia, V., Schaaf, P., Pompa-Mera, V. y Ruiz, J. (2009). Significance of provenance ages from the Chiapas Massif Complex (Southeastern Mexico): Redefining the Paleozoic basement of the Maya block and its evolution in a Peri-Gondwanan realm. *Journal of Geology*, 116: 619-639.

Zúñiga Andrade, E. (1990). Las modalidades de las lluvias en Honduras. Ed. Guaymuras (Itzamná). Tegucigalpa, Honduras.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

- AFE-COHDEFOR (2001). Evaluación del Convenio de Co-Manejo del Parque Nacional Cerro Azul Meambar. Inédito.
- Aguilar, A. (sin año). Los resultados del censo de la zona litoral con un análisis ambiental. AMUPROLAGO.
- Aguilar, W. y Aleman, D. (1986). Informe sobre la situación actual del Lago de Yojoa. RRNN.
- Albarado, G., Corano, M. y Gonzales, R. (1998). Demarcación del Parque Nacional de Santa Bárbara. AFE-COHDEFOR, DAPVS.
- Alberto, J., Urrea, N., Ramos, L., Ferrary, L., Guerrero, M., Amaya, I., Tarradelas J. y Sorto, M. (1994). Determinación de Plomo y Cobre en Peces y Manejo de sus Residuos en el Lago de Yojoa. UNAH, CESCO, COSUDE.
- Allen, P (1955). The Conquest of Cerro Santa Barbara Honduras. Ceiba 4(5): 253-270.
- AMHON-PRODEMON (2002). Diagnóstico biofísico y socioeconómico de la zona centro., Cooperación Española, Estudios, Proyectos y Planificación, S.A.
- Anadón, R. y Fernández, C. (sin año). Características, origen y tipos de suelo. Ecología 3^{er} curso de Licenciatura de Biología. UNIOVI.
- Andino Mejía, J.W. (2005). Planificación del manejo de los recursos naturales con base en los servicios ambientales prioritarios en la subcuenca del Lago de Yojoa, Honduras. Tesis de postgrado en Manejo y Conservación de los Bosques Tropicales y Biodiversidad. CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Anzola, R. y Betancourt, J. (1979). Lineamiento para la Elaboración de un Plan Maestro para el Lago de Yojoa. Inédito.
- Arce, O. (2003) Eutrofización de cuerpos de agua Universidad Loyola. La Paz, Bolivia. 30 pp.
- Arce, O. (2005) La eutrofización localizada en el lago Titikaka. Universidad Loyola. La Paz, Bolivia. 30 pp.
- Arostegui, A. (2000). Uso Recomendado y Propuesto del Suelo. Microcuenca El Escondido, Santa Bárbara, Honduras.
- ASECOVE (1992). Las aéreas protegidas de Honduras, los Bosques Nublados y el Parque Nacional Santa Bárbara.
- ASECOVE (1992). Las Áreas Protegidas de Honduras, los Bosques Nublados y el Parque Nacional Santa Bárbara.
- Bachmann R., Horsburgh C., Hoyer M., Mataraza L. y Canfield L. (2002). Relations between trophic state indicators and plant biomass in Florida lakes, Department of Fisheries and Aquatic Sciences, University of Florida, Gainesville, USA.
- Bautista, M. (2007). Principales actividades ambientales, presentación Jornada Limnológica Aguas Limpias, Aguas Productivas.
- Benito, B., Camacho Astigarrabia, E., Climent, A., Escobar Figueroa, J.J., Lindholm, C., Marroquín, E., Molina, E., Rojas, W. y Talavera, E. (2008). Proyecto RESIS II: Evaluación de la amenaza sísmica en Honduras.
- Borjas, C. y Lagos, S. (1989). Determinación de metales pesados en la raíz tallos de la planta de maíz cultivada en el margen nor-este del Lago de Yojoa. UNAH.
- Borjas, G. y Pérez, D. (1996). Propuesta de Plan de Acción para el Desarrollo Sostenible del Largo de Yojoa. UNAH.
- Borjas, G., Casco, R., Cantarero, C., Moncada, M. y Torres, O. (1997). Calidad de agua en seis subcuencas del Parque Nacional Azul Meambar. Fundación Vida, UNAH.
- Borjas, G., Casco, R., Flores, S., Erazo R. y Myton, B. (1995). Evacuación de la contaminación orgánica en el Lago de Yojoa y sus tributarios. UNAH, Tegucigalpa, Honduras.

- Borjas, G., Casco, R., Flores, S., Erazo, R. y Myton, B. (1999). Evaluación de la contaminación orgánica en el Lago de Yojoa y sus tributarios. Dpto. de Biología-UNAH.
- Borjas, G. y Pérez, D. (1996). Propuesta de Plan de Acción para el Desarrollo Sostenible del Lago de Yojoa. UNAH.
- Borjas, G., Pérez, D., Aguilar, S., Thorn S., Flores, S. y Cruz, G. (1997). Primer estudio sobre biodiversidad en el Parque Nacional Azul Meambar. Aldea Global.
- Borjas, G., Pérez, D., Aguilar, S., Thorn, S. Flores, S. y Cruz, G. (1997). Primer estudio sobre biodiversidad en el Parque Nacional Azul Meambar. Aldea Global. Inédito.
- Bueso, W. y Cortes, P. (1989). Determinación de metales pesados (Pb Cu Zn Cd) en granos básicos (arroz, frijol, maíz) cultivados en los márgenes de la zona nor-este del Lago de Yojoa. UNAH.
- Carlson R.E., Settles J., Boyer H. y Combs W. (1980). Light, Secchi disks, and trophic states. *Limnology and Oceanography*, Vol. 25, No. 2. pp. 373-377, Minesota, USA.
- Carlson R.E. (1980). More complications in the Chlorofill-Secchi disk relationship. *Limnology and Oceanography*, Vol. 25, No. 2. pp. 379-382, Minesota, USA.
- Castañeda, C. (1993). The distribution of lead Zinc and Cadmiun in the aquatic ecosystem of Lago de Yojoa. University of Texas.
- Castañeda, C. (1997). Environmental health risks associated with heavy metal pollution in the Lake Yojoa area of Honduras. University of Texas, Austin, USA.
- Castañeda, C. (sin año). Síntesis de los estudios sobre el Lago de Yojoa, Honduras. UNAH.
- Catalán, J. y Catalán J.M. (1987). Ríos, caracterización y calidad de sus aguas ed. Dihidrox. Madrid, España. 264 pp.
- CEPIS (1990). Metodologías simplificadas para la evaluación de eutrofización de lagos cálidos tropicales, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Programa regional CEPIS/HPE/OMS. 58 pp.
- Cerrato, C. (1985). Informe de gira a la montaña Azul-Meambar. UNAH .
- Cerrato, C. (1996). Informe de la gira a la montana Azul-Meambar. UNAH.
- CESCO-COSUDE. (1994). Determinación de Plomo y Cobre en peces y manejo de sus residuos en el Lago de Yojoa, Honduras.
- Chang Gómez, J. (2009). Limnología. Capítulo 3. ESPOL- FIMCM.
- Cotilla, M. y Udías, A. (1999). Geodinámica del límite Caribe-Norteamericana. *Rev. Soc. Geol. España*, 12 (2): 175-186.
- Cruz, G. y Deldado, R. (1986). Distribución de macrofitas en el Lago de Yojoa. *Rev. Biol. Trop.* 34(1): 14-149.
- Cruz, G. y Deldado, R. (1986). Distribución de Macrofitas en el Lago de Yojoa. *Rev. Biol. Trop.* 34(1): 141-149.
- Dada, J. (sin año). Servidumbres ecológicas e incentivos para la conservación de cuencas hidrográficas: La experiencia en el Lago de Yojoa, Honduras. PROARCA/CAPAS.
- Davies, W. (1992). A preliminary assessment of the fisheries resources of Lago de Yojoa, with special emphasis on the dinamic of large moubth Bass (*Microperus salmoides*). University of AUBUM.
- De Silva, G. (1993). Diagnóstico de la situación sanitaria de “El Novillo” y “Santa María de Yojoa” Aspecto legal para el manejo de la cuenca. Tegucigalpa Honduras.
- Díaz, A. (1980). Impacto de los desechos de las minas del Mochito en la ecología del Lago de Yojoa. UNAH, Tegucigalpa, Honduras.
- DIGERENARE (1989). Cooperación Técnica para el estudio del proyecto de Protección. FOHPREI SRN/DIGERENARE.

- ECOLAGO (1995). Fundación para la Conservación Ecológica y el Desarrollo Sostenible del Lago de Yojoa.
- ECOLAGO (1995). Fundación para la Conservación Ecológica y el Desarrollo Sostenible del Lago de Yojoa.
- ECOLAGO (1996). Plan Estratégico 1996-2000 Ambiente y Sociedad: Armonía Ecológico Económico. Inédito.
- Elizabeth, B., Barreto, H., Couillaud, P., Cox, J., Leclerc, G., Jiménez, P., Urbano, P. Lamy, F., Nelson, A., y Farrow, A. (sin año). Atlas de Honduras. CIAT.
- ESA Consultores (1994). Establecimiento y Desarrollo sustentable del Parque Nacional Cerro Azul Meambar. Inédito.
- Espinoza Ochoa, J. (2003). Estudio auditoria ambiental de cultivo de peces en jaulas flotantes: Doble cosecha, Lobos de mar y Los Norteños. Lugares de estudio: Comunidades de Agua Azul Sierra, Monte Verde en el Municipio de Santa Cruz de Yojoa, Cortes y en Pito Solo, Municipio de Taulabe, Comayagua. SERNA.
- Espinoza, G.A. (1995). Antecedentes descriptivos 20 comunidades PANACAM. Aldea Global.
- Espinoza, G.A. (1995). Estudio socioeconómico y ambiental, 20 comunidades PANACAM. Aldea Global COMITTEC.
- Finch, R.C. y Ritchie, A.W. (1991). The Guayape fault system, Honduras. *Journal of South America Earth Sciences*, 4(1/2): 43–60.
- Gaechter, D., Tarradellas, J., Becker, K., y Mérida J. (2001). Evaluación de la ecotoxicidad de un efluente proveniente de una industria minera en Honduras con ayuda de una batería de bioensayos. CESCCO-EPFL, Lausanne, Suiza.
- Galeano, H. y Colindres, I. (1996). Plan operativo Parque Nacional Montaña de Santa Bárbara, Región Forestal Nor-Occidental. AFE-COHDEFDAPVS.
- GATESA. (2006). Sistema de Alerta Temprana e Identificación de Obras para la Mitigación de Desastres ante la amenaza de Deslizamientos en la Subcuenca Yojoa. , COPECO, SAG-MARENA. 199 pp.
- Geólogos del Mundo (2010-2011). Focos de contaminación en la subcuenca del Lago de Yojoa. Inédito.
- Goldman, C. (1972). El Cajon project. Vol. V. ENEE.
- Goldman, C. y Vaux, P. (1984). El Cajon hydroelectric project, limnology and fisheries program final report. Vol. 1. ENEE.
- González Menéndez, A. (2009-2010). Programa para la regeneración medioambiental del Lago de Yojoa, I Etapa. Informe Interno. Geólogos del Mundo.
- González Menéndez, A. (2011). Estudio para la protección medioambiental de la cuenca del Lago Yojoa. Jornada día de la tierra. Geólogos del Mundo.
- GOPA-Consultants. (2010). Análisis hidrogeológico y sistematización de la información geológica e hidrogeológica de las zonas Copan Chortí y Lempa Ulúa de la Región Trifinio, Honduras. Inédito.
- Gordon, M.D. y Muehlberger, W.R. (1994). Rotation of the chortis block causes dextral slip on the Guayape fault. *Tectonics*, 13(4): 858–872.
- Gray, N.F. y John Wiley (1994). Drinking water quality. Problems and solutions. Hawkins, T. (1991). Parque Nacional de Santa Bárbara. Informe 3-3-91 CONSEFORH, Chichester.
- Harper, D. (1992). Eutrophication of freshwaters. Principles, problems and restoration. Chapman & Hall. London. 327 pp.
- Hernandes, A. (1980). Impacto de los Desechos de las Minas de las Mochito en la ecología de Lago de Yojoa.
- Herra, S. y Castañeda, C. (1991). Concentración de metales pesados en fuentes de agua potable en el margen noroeste del Lago de Yojoa. Dirección de Investigación Científica. UNAH.

- Herra, S. y Castañeda, C. (1991). Concentración de metales pesados en fuentes de agua potable en el margen noroeste del Lago de Yojoa. Dirección de Investigación Científica, UNAH. Inédito.
- Home G.S., Clarke G.S. y Pushkar P. (1997). Pre-Cretaceous rocks of northwestern Honduras: basement terrane in Sierra de Omoa. *The AAPG* 60(4): 566-583.
- House, P.R., Trochez, D. y Rivas, M. (2002). Diagnóstico Ambiental del Lago de Yojoa, Honduras, 1.ed. The Nature Conservancy. AMUPROLAGO. 104. pp.
- Labrada, R. Caseley, C. y Parker, C. (1996). Manejo de malezas para países en desarrollo. Italia. 408 pp.
- Landazuri, H., Perez, D., Ramirez, M. y Alduvin, R. (sin año). Proyecto de manejo de los recursos renovables de la cuenca del embalse El Cajón. ENEE-OEA.
- Lewis, W.M. (1987). Tropical Limnology. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* Vol. 18, 159-184.
- López Barrera, A.I. (2006). Inventario, caracterización y balance de los recursos hídricos en la cordillera de Mico Quemado (Honduras). *Geólogos del Mundo-UNIOVI*.
- Lozano Herrera, E. y Padilla Bejarano, A. (1991). El lirio acuático como indicador biológico en la contaminación por metales pesados (Pb, Cd, Zn, Cu) en el lago de Yojoa, UNAH, Tegucigalpa, Honduras.
- Lozano, N. y Padilla, A. (1991). El Lirio Acuático como indicador biológico en la contaminación de metales pesados en el Lago de Yojoa. UNAH.
- MARENA-CATIE. (2003). Análisis de contexto territorial de la subcuenca del Lago de Yojoa. Programa Multifase de Manejo de Recursos Naturales en Cuencas Prioritarias. 52 pp.
- MARENA-CATIE. (2003). Caracterización físico territorial de las microcuencas del Lago de Yojoa. Programa Multifase de Manejo de Recursos Naturales en Cuencas Prioritarias. 104 pp.
- Martino, P. (1989). Curso básico sobre eutrofización, CEPIS, Washington, USA.
- Maya Rendón, C. y Jiménez Cisneros B.E. (sin año). Calidad físico-química y microbiológica en efluentes secundarios por el lago artificial Nabor Carrillo, México. UNAM.
- McBirney, A.R. y Williams H. (1969). Volcanic history of Honduras. *Geological Sciences*. Vol. 55. University of California.
- Medina, M.T. et al. (1986). Efectos sobre la salud humana por los metales pesados: Plomo (Pb), Cadmio (Cd), Zinc (Zn) y Cobre (Cu) en la población residente en el margen noroeste del Lago de Yojoa, Honduras. Protocolo de Investigación, dirección de investigación científica. UNAH, Tegucigalpa, Honduras.
- Mejía, K. (2005). Cuantificación de los desechos sólidos y determinación de la calidad del agua en Lago de Yojoa. Tesis Ingeniero Forestal. ESNACIFOR. Siguatepeque, Honduras.
- Mellman, J. y Reeser, E. (1993). Diagnostico del Parque Nacional Azul Meambar (PANACAM). Inédito.
- Merida, J. (2004). Mortandad de peces en Honduras, CESSCO, Tegucigalpa, Honduras.
- Mertzman, S.A. (1976) 87sr/86sr reconnaissance of the yojoa volcanic field, Honduras. Informes y trabajos técnicos presentados en la IV reunión de geólogos de América Central. *Publicaciones Geológicas del ICAITI*, 5: 99-103.
- Mills, R.A., Hugh, K.E., Feray, D.E. y Swolfs, H. (1967). Mesozoic stratigraphy of Honduras: *AAPG Bull* 51: 1711-1786.
- Montalvo, J.F., Perigó, E., Espinosa, J. y García, I. (2000). Prospección de variables hidroquímicas de calidad ambiental en la zona del litoral entre el río Hatiguanico y Majana. Contribución a la educación y protección ambiental. 1, 15-26.
- Obón de Castro, J.M. Análisis microbiológico del agua. Dpto. Ingeniería Química y Ambiental de la Universidad Politécnica de Cartagena. UPCT.

- Olmos G.C. (2000). Eutrofización en embalses de altura, Incachaca-hampaturi. Problemática del siglo XXI. La Paz, Bolivia. 10 pp.
- Olsen, T. (1992). Reporte Final: Proyecto Parque Nacional Santa Bárbara. Cuerpo de paz. Inédito.
- Oyuela, D.O. (2002). Principios básicos para la elaboración de planes de manejo para Cuencas hidrográficas comunitarias, ESNACIFOR, Siguatepeque, Honduras. 42 pp.
- Padilla Cámara, T.A., García Álvarez, N. y Pérez Duarte, W. (2010). Caracterización físico-química y bacteriológica, en dos épocas del año, de la subcuenca del río Quiscab, Guatemala. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, Vol. 19, No. 3.
- PDAC (2008). El Mochito Exploration, Honduras, Centro América.
- Pérez, D., Borjas, G. (1996). Propuesta del Plan de Acción para el desarrollo sostenible del Lago de Yojoa. SEDA.
- Piedradita, A. (2007). Estudios de los 6 principales tributarios del Lago de Yojoa. Foro: Intercambio de experiencias limnológicas, Lago de Yojoa, Honduras.
- Ramírez, G. y Viña, G. (1998). Linología colombiana, aportes a su conocimiento y estadísticas de análisis. Bogotá. Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. 131-145.
- Ramos, L., Ferrary, M., Munguía, L., Tarradellas, J., López, M. y Amaya, I. (1991). Determinación de niveles sanguíneos de plomo en la población humana residente en el margen noroeste del Lago de Yojoa. CESSCO-UNAH, Tegucigalpa, Honduras.
- Ramos, L., Ferrary, M., Urrera, N., Botto, J., Munguía, L. y Tarradellas J. (1991). Determinación de trazas de plomo y cobre en peces del Lago Yojoa, Honduras. CESSCO- UNAH, Tegucigalpa, Honduras.
- Ramos, L., Ferrary, M., Urrera, N., Botto, J., Munguía, L. y Tarradellas, J. (1991). Determinación de plomo y cobre en peces y manejo de sus residuos sólidos en el Lago de Yojoa, Honduras. CESSCO- UNAH. Tegucigalpa, Honduras.
- Reeser, E. (1994). Programa de la Calidad de Agua de Unas Comunidades Del Parque Nacional Cerro Azul Meambar.
- Reyes, A. (2007). Aquafinca cultivo de Tilapia en el Lago de Yojoa. Foro: Intercambio de experiencias limnológicas, Lago de Yojoa, Honduras.
- Rivas, Z., Sánchez, J., Troncone, F., Márquez, R., Ledo de Medina, H., Colina, M. y Gutiérrez, M. (2009). Nitrógeno y fósforo totales de los ríos tributarios al sistema Lago de Maracaibo, Venezuela. *INTERCIENCIA*, Vol. 34 (5) 308-314.
- Rivera, C. (1993). Inventario de Aves Acuáticas y su Distribución en el Lago de Yojoa. UNAH.
- Rodier, J. (1981). *Análisis de las aguas*. Ed. Omega. Barcelona, España. 1059 pp.
- Rogers, R.D. (2003). Jurassic-Recent tectonic and stratigraphic history of the Chortis block of Honduras and Nicaragua (northern Central America), The University of Texas at Austin.
- Rogers, R.D. (2003). Jurassic-Recent tectonic and stratigraphic history of the Chortis block of Honduras and Nicaragua (northern Central America), The University of Texas at Austin, 289 pp.
- Roldán, G. (1992). *Fundamentos de limnología neotropical*. Medellín. Ed. Universidad de Antioquia, 225-223.
- Romero, F. y Mejía, N. (2007). Batimetría del Lago de Yojoa. ESNACIFOR, Siguatepeque, Honduras.
- Ryding, S. y Rast, W. (1992). *El control de la eutrofización en lagos y pantanos*. ed. pirámide S. A. Madrid. 375 pp.
- Ryding, S. y Rast, W., (1994). *El control de la eutrofización de lagos y embalses*, UNESCO, Paris, Francia. 92 pp.
- Salas, H.J. y Martino, P. (2001). *Metodologías simplificadas para la evaluación de eutrofización en lagos cálidos tropicales*. OPS/CEPIS. 63 pp.

- Salvatierra, T. (2006). Calidad del agua del Lago de Nicaragua (Cocibolca) en el área de influencia municipal del sur de la Isla de Ometepe. Programa de Pequeños Fondos para Investigación del SEMA/IDRC. CIRA/UNAN-AMUNIC. Managua, Nicaragua. 11 pp.
- Samra, M. (1991). Informe sobre la contaminación ambiental en Honduras. Dirección General de Minas e Hidrocarburos. Honduras, C.A.
- Samra, M. (1991). Informe Sobre la Contaminación Ambiental en Honduras. Dirección General de Minas e Hidrocarburos. Honduras, C.A.
- Sanchis, E.J. (1991). Estudio del medio ambiente su análisis y control. Contaminación por nitratos de las aguas subterráneas. Colegio oficial de químicos de valencia, España. 226 pp.
- Schmittou, H. (2003). Estudio de impacto ambiental y capacidad de carga para el cultivo de Tilapia en el Lago de Yojoa. Informe preliminar. Aquafinca Saint Peter Fishsin. Inédito.
- SERNA (2000). Primer informe nacional sobre la implementación de la convención de desertificación en Honduras.
- SERNA (2009). Guía de producción más limpia para el cultivo y procesamiento de tilapia. AGA y Asociados. Tegucigalpa, Honduras. 104 p.
- Simmons, C.S. (1969). Informe al gobierno de Honduras sobre los suelos de Honduras. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo y Programa de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. PNUD/FAO, Roma, Italia.
- Tarradelas (1997). Determinación de los niveles sanguíneos de los metal pesados: Plomo, Cadmio, Zinc, y Cobre en la población humana residente en el margen nor-este del Lago. UNAH, CESSCO, COSUDE.
- Vammen, K., Tercero, J. y Montenegro S. (2007). Evaluación del proceso de eutrofización del Lago de Cocibolca (Lago de Nicaragua) y sus causas en la cuenca (versión preliminar), Centros para la Inverstigación de Recursos acuaticos, Managua, Nicaragua.
- Vaux, P. (1985). The ecology of the freshwater fishes of central Honduras. Thesis, University of California.
- Vaux, P., Baepler, D., Jennings, R., Soden, D., Galvare, E., Dísqua, J. y Vargas E. (1993). Una evaluación ambiental del Lago de Yojoa y su cuenca tributaria. University of Nevada, Las Vegas, USA.
- Vevey, E., Ramos, D., Munguia, L. y Tarradellas, J. (1990). Contaminación del Lago de Yojoa por metales pesados. Inst. Du Genie de L'Environnement Ecotoxicologie Lausanne Suisse, CESCO.
- Vevey, E., Ramos, D., Mungía Guerrero, L. y Tarradellas, J. (1990). Contaminación de los sedimentos del Lago de Yojoa por cuatro metales pesados; CESSCO-EPFL, Tegucigalpa, Honduras-Lausanne, Suiza.
- Zapata, J.B., Ferrán, F. y Faustino, J. (1993). Propuesta para el manejo sostenible de la cuenca del Lago de Yojoa. RENARM-CATIE.

ENLACES DE INTERÉS

Mapas temáticos de Honduras:

<http://www.maplibrary.org>

<http://www.worldmapfinder.com>

<http://www.serna.gob.hn/cartografia.htm>

Legislación de Honduras

<http://www.ccad.ws/legislacion/Honduras.html>

<http://www.serna.gob.hn/Legislacion.htm>

Documentación Corredor Mesoamericano

<http://www.ccad.ws/PCCBM/documentacion.htm>