



**Ecole Polytechnique Fédérale  
Lausanne, Suiza**



**Centro de Estudios y Control de Contaminantes  
Tegucigalpa, Honduras**

## **Proyecto ENAC**

# **La contaminación ambiental del Lago de Yojoa: Un estudio bibliográfico respecto a un Sistema de Indicadores Ambientales**

**Eveline Studer**

**en colaboración con:**

**Dr. Luiz Felipe de Alencastro, EPFL  
Lic. Julio Enrique Mérida Colindres, CESCCO  
Dr. Mirtha Lizeth Ferrary, CESCCO**



**Faculté Environnement, Naturel, Construit (ENAC)  
Section Sciences et Ingénierie de l'Environnement (SSIE)  
Master, semestre 3**

**Tegucigalpa, Honduras  
Febrero 2007**

## Contenido

1. Antecedentes .....	3
2. Resumen.....	3
3. Introducción .....	4
4. Metodología .....	5
5. La naturaleza de la subcuenca del Lago de Yojoa.....	5
6. Las actividades y presiones antropogénicas de la subcuenca .....	7
7. La contaminación ambiental .....	10
7.1 La contaminación por metales pesados.....	11
7.2 La contaminación por nutrientes.....	15
7.3 La contaminación fecal .....	18
7.4 La contaminación por plaguicidas .....	21
7.5 La modificación del régimen hídrico natural.....	23
7.6 El conjunto de la problemática ambiental.....	25
8. Recomendaciones .....	26
9. Conclusión .....	26
10. Bibliografía .....	27
11. Anexos .....	29

## Abreviaciones empleadas

AMUPROLAGO:	Asociación de Municipios del Lago de Yojoa
DBO:	Demanda bioquímica de oxígeno
CATIE:	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
CESSCO:	Centro de Estudios y Control de Contaminantes
COSUDE	Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación
ENAC:	Environnement Naturel Construit (medio ambiente, naturaleza, construido)
ENEE:	Empresa Nacional de Energía Eléctrica
EPFL:	Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (Escuela politécnica federal de Lausnne)
MARENA:	Programa Multifase de Manejo de Recursos Naturales en Cuencas Prioritarias
MC:	Microcuenca
msnm:	metros sobre el nivel del mar
OMS:	Organización Mundial de la Salud
ONG:	Organización no gubernamental
PIB:	Producto interior bruto
SSIE	Section Sciences et Ingénierie de l'Environnement (Sección de ciencias e ingeniería del medio ambiente)
UNAH:	Universidad Nacional Autónoma Honduras
q.:	quebrada

## 1. Antecedentes

El Centro de Estudios y Control de Contaminantes (CESCCO) fue creado entre otro por la Agencia Suiza para el desarrollo y la cooperación (COSUDE) representado a través de la Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL). Desde los años noventa varios estudiantes de la EPFL hicieron su trabajo de tesis en colaboración con el CESCCO.

El presente proyecto ENAC es un trabajo opcional a realizar dentro del ciclo de la maestría de estudios de Ciencias e Ingeniería del medio ambiente (SIE), que en este caso se realizó en el tercer semestre de la maestría, precisamente en el periodo del 18 de diciembre 2006 al 9 de febrero 2007. Este proyecto ENAC se realizó dentro el contexto de un Sistema de Indicadores Ambientales y servirá de base para un proyecto final de maestría. Sin embargo, el proyecto final de la maestría focalizará un determinado aspecto y no la totalidad del Sistema de Indicadores Ambientales.

## 2. Resumen

En Honduras existen escasos programas de control orientados a la contaminación ambiental. La subcuenca del Lago de Yojoa, ubicada el noroeste del país está sometida varias presiones de origen antropogénico. El aumento de la población, la intensificación de procesos de producción y los conflictos de uso de suelo causan problemas de contaminación ambiental, particularmente en el medio hídrico. Para enfrentar la problemática ambiental del Lago de Yojoa, el Gobierno de Honduras a través el CESCCO ha iniciado la formulación de un Programa de Vigilancia Ambiental, el cual implica la implementación de un Sistema de Indicadores Ambientales con enfoque en la Contaminación. Este sistema servirá de herramienta para evaluar, informar y mejorar la gestión ambiental de la subcuenca.

El presente es un estudio del material bibliográfico en la relación con la subcuenca del Lago de Yojoa. Se trata de un enfoque de los problemas de contaminación ambiental del lago y tiene como objetivos la recopilación y el análisis de la información existente, la determinación de temáticas respecto a cuales habrá que hacer más estudios y la proposición de indicadores ambientales que podrán servir de base para el desarrollo de un Sistema de Indicadores Ambientales.

Si hay que hablar únicamente de concentraciones ciertos componentes o de una contaminación, en función del uso del agua, que no se ha definido hasta el momento para el Lago de Yojoa. Evaluando el estado actual destacan distintos problemas de contaminación ambiental. Las altas concentraciones de coliformes en el lago, como en sus afluentes, indican la presencia de una contaminación fecal; un problema evidente y urgente a resolver. La contaminación por metales pesados representa actualmente un riesgo bajo para la salud de los organismos, dado que los metales no están biodisponibles. Sin embargo, las altas concentraciones de metales en el sedimento sugieren un potencial de contaminación muy alto. El fenómeno de enriquecimiento por nutrientes, que puede llevar a un estado eutrófico nefasto, es un proceso a largo plazo, por lo cual es importante conocer las causas u orígenes para controlar este proceso lo antes posible. Todavía se desconoce los aportes de nitrógeno y fosfatos al nivel de la subcuenca. Respecto a la problemática de plaguicidas y la modificación del régimen natural actualmente existe un gran desconocimiento. Es importante hacer más estudios para responder a las preguntas abiertas.

El material leído y analizado se caracteriza por una enorme variedad respecto a sus enfoques así como la consistencia de la información que contienen. Destacan pocos estudios que pueden servir de base para el desarrollo del Sistema de Indicadores Ambientales. Generalmente muchos estudios contienen observaciones acerca de distintas causas de contaminación, pero carecen de datos precisos para determinar su estado actual y permitir las evaluaciones a lo largo del tiempo. Bajo estas

consideraciones es importante hacer más estudios que permitan obtener más información acerca puntos y momentos críticos, respecto a las entradas de contaminantes para implementar el Sistema de Indicadores Ambientales apropiado.

### 3. Introducción

#### *Honduras y el medio ambiente*

La República de Honduras se encuentra ubicada en el centro de la región Centroamericana y tiene una extensión territorial de 112,492 [km<sup>2</sup>]. El país comparte fronteras con Guatemala, El Salvador y con Nicaragua. Según el censo del 2001, la población es de 6,485,000 habitantes.

En el 1998 el Huracán Mitch ocasionó grandes pérdidas económicas, sociales y ambientales. Para el 2004 Honduras contaba con un índice de desarrollo humano de 0.672, ocupando el puesto 116 de 177 países. Según el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, el PIB per Capita en el 2004 era de 2,665 USD. [33]

En el país existen escasos programas de vigilancia y control orientados a la preservación de la contaminación ambiental. La información no es consistente, encontrándose dispersa y pobremente divulgada. Entre las principales presiones que afectan el recurso agua en Honduras, destacan la gestión inadecuada de los residuos sólidos y líquidos generados tanto por el sector domiciliar, industrial, comercial y de servicios. Los drenajes y escurrimientos superficiales derivados de la actividad agropecuaria, así como aquellos derivados de la actividad minera juegan un rol importante en la calidad del recurso. Actualmente la actividad turística ha tomado gran importancia para los planes de desarrollo de Honduras, el país cuenta con un gran potencial en el campo turístico a nivel mundial. [33]

#### *El Lago de Yojoa y la contaminación ambiental*

La subcuenca del Lago de Yojoa, que se encuentra en el noroeste del país está sometida a varias presiones de origen antropogénico. El aumento de la población, la intensificación de procesos de producción y los conflictos de uso de suelo causan varias presiones de contaminación ambiental. El lago está sometido a ingresos de metales pesados, microorganismos patógenos, agroquímicos y a la modificación del régimen hídrico natural.

#### *El Sistema de Indicadores Ambientales*

El Gobierno de Honduras, está orientando esfuerzos para coordinar acciones específicas para enfrentar la problemática ambiental del Lago de Yojoa. El Centro de Estudios y Control de Contaminantes (CESCCO) en el año 2006, ha iniciado las bases para la formulación de un *Sistema de Indicadores Ambientales de Contaminación* en el Lago de Yojoa. Este sistema formará parte de un *Programa de Vigilancia Ambiental*, y servirá de herramienta a los tomadores de decisiones, tanto en el nivel local como central, para informar, mejorar y fortalecer la gestión ambiental de la subcuenca. [1].

#### *Motivación del estudio bibliográfico*

En el contexto del Sistema de Indicadores Ambientales de Contaminación, el presente trabajo es un estudio y análisis del material bibliográfico relacionado con el Lago de Yojoa. Los estudios y proyectos que existen sobre la subcuenca del Lago de Yojoa son numerosos. Sin embargo, la información es poco divulgada, a menudo existen pocos ejemplares de los trabajos hechos y no existe ninguna institución que tenga una colección completa los mismos. Muchos estudios contienen informaciones dispersas o tienen un enfoque muy puntual. No existe un trabajo sistemático.

Respecto a la calidad de los datos provenientes de los análisis físico-químicos, resulta que son muy variables. Existen unos pocos trabajos bastante complejos, mientras que muchos análisis fueron de carácter más puntual.

*Enfoque y objetivos*

Este estudio bibliográfico se enfoca a la contaminación ambiental relacionada con la calidad del agua del Lago de Yojoa. Los objetivos y los aspectos más importantes son los siguientes:

1) Reunir y analizar la información existente

¿Qué estudios ya se han hecho, su validez y sus resultados o conclusiones?

2) Servir como plataforma para futuros estudios.

¿Qué estudios hay que hacer para saber más acerca de la contaminación ambiental existente y su evaluación temporal y espacial? ¿Cuáles son las sospechas que necesitan de investigación para ser comprobadas científicamente?

3) Hacer una propuesta preliminar de indicadores que sirvan para el Sistema de Indicadores Ambientales.

¿Cuáles son los parámetros medibles para evaluar y monitorear la contaminación ambiental? ¿Cuáles son los puntos críticos para la medición?

*Estructura*

Después de la descripción de la metodología, se presentara la naturaleza de la subcuenca. A continuación una exposición de la población que vive en la subcuenca, sus actividades y presiones ambientales que generan. La parte principal es el estudio de la contaminación ambiental. Se presentan los distintos tipos de contaminación; siendo la contaminación por metales pesados, por nutrientes, la contaminación fecal, los plaguicidas y la presión a la modificación del régimen hídrico natural, posteriormente un resumen respecto a la contaminación ambiental y por último la conclusión final.

#### 4. Metodología

Se analizó todo el material accesible respecto a la contaminación ambiental del Lago de Yojoa. El material utilizado fueron estudios, proyectos y resultados de análisis de muestreos en la subcuenca Yojoa e información de entrevistas con especialistas en Tegucigalpa. Además, se integraron informaciones de Internet y otras fuentes bibliográficas como normas, artículos científicos y experiencias fuera del país. Asimismo, se incluyó la información obtenida durante una visita de campo que incluyó un muestreo y varias entrevistas con diferentes especialistas que trabajan en la subcuenca. El contenido fue organizado y presentado con el fin de utilizar la información coleccionada para que integre el Sistema de Indicadores Ambientales.

#### 5. La naturaleza de la subcuenca del Lago de Yojoa

##### *Localización y características del Lago y de la subcuenca de Yojoa*

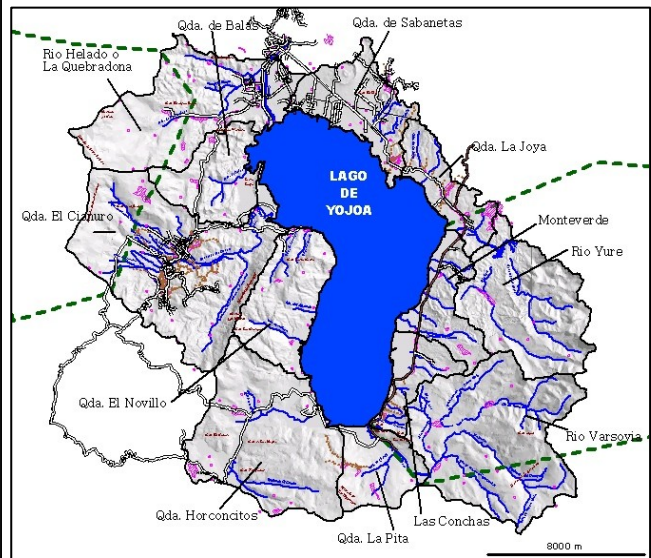
*Tabla 1: Características del Lago de Yojoa [32]*

Característica	Extensión
Área total de la subcuenca* [10]	441 km <sup>2</sup>
Área del espejo de agua [32]	79 km <sup>2</sup>
Perímetro del lago [32]	54 km
Nivel sobre el nivel del mar [32]	635 m
Volumen del lago (con un espejo a 635msnm) [34]	7.93 * 10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>
*incluyendo las microcuencas Yure y Varsovia	

Mapa 1: Mapa de Honduras [35]



Mapa 2: Mapa de la subcuenca, con tributarios y delimitación de las microcuencas [10]\*



\*La quebrada Cianuro y Raíces se refieren al mismo tributario

La extensión de la subcuenca es de próximamente de 22 [km] en dirección norte-sur y de 27 [km] en dirección este-oeste.

#### *Topografía, geología y suelos*

Los terrenos de las orillas del norte y del sur son planos e invadidos por las plantas acuáticas [34]. Los terrenos llanos del norte tienen suelos profundos y fértiles. [17]

La parte oeste es rocosa con pendientes fuertes, excepto la desembocadura de la quebrada Raíces, que forma un delta en el noroeste. Al este el terreno es montañoso hasta las faldas del cerro Azul Meámbar. [34]

La geología de la subcuenca es muy diversa. En la zona oeste y sur se encuentran rocas calizas, con drenaje cárstico subterráneo, mientras que en el norte y este las rocas son de origen volcánico. [32]

#### *Clima*

La subcuenca tiene una de las precipitaciones más altas del país con un promedio anual de 2300 [mm] en el sur y de 3200 [mm] en el norte. Hay más precipitaciones de julio a septiembre. La temperatura promedio anual es de 23 [°C], variando de 20 [°C] en diciembre/enero a 24.8 [°C] en mayo/junio. [34] El clima es tropical a transición subtropical en el norte y subtropical en el sur. [17] [33]

#### *Hidrología y limnología*

El Lago de Yojoa es la principal reserva de agua dulce del país [17]. La subcuenca Yojoa pertenece a la cuenca del Río Ulúa, que es una de las 19 cuencas hidrográficas de Honduras [33]. Los afluentes principales del Lago de Yojoa dividen la subcuenca en 12 microcuencas (Mapa 2).

Los vientos predominantes en dirección norte-sur causan corrientes superficiales en la misma dirección. [34]

El Lago de Yojoa es considerado un lago cálido y monomítico, con una mezcla de las aguas una vez por año, por algunas semanas en diciembre y enero. Durante el resto del año existe una estratificación térmica, con una termoclina a una profundidad que varía entre 12 y 16 [m]. La temperatura promedio del agua es 24,9 [°C] y 23,0 [°C] en la superficie y fondo respectivamente. [32]

### *Biodiversidad*

La variedad topográfica y las altas precipitaciones de la subcuenca dan lugar a una alta riqueza en especies y ecosistemas. House [17], dividió los ecosistemas en cuatro grupos; los ecosistemas del lago (humedales y bosques pantanosos), el área alrededor del lago (bosques latifoliados premontanos), los bosques de montañas (zonas altas del este y oeste) y los bosques secos (zona baja del sur, alejada del lago). Estos ecosistemas son el hábitat para muchas especies, incluso algunas endémicas. La tabla 2 muestra la riqueza biológica de la subcuenca, que representa solo un 0.37% del territorio nacional [17]. Cabe mencionar, que hay que tratar estos datos con precaución, dado que se sospecha algunos errores en la determinación de especies [32].

*Tabla 2: Riqueza biológica de la subcuenca (elaboración propia, datos [17])*

Tipo de especies	Número de especies	Representación nacional (%)
Plantas	802	101
Helechos	169	25
Plantas acuáticas	71	87
Aves acuáticas	66	88
Anfibios	31	44
Reptiles	71	44

### *Áreas protegidas*

En el 2005 la convención de humedales Ramsar declaró un área de 43,640 [ha] de la subcuenca como área protegida (Sitio Ramsar). Este sitio posee 13 tipos de humedales y ecosistemas únicos para Honduras. [25]

Dentro de la cuenca se encuentran partes del Parque Nacional de Santa Bárbara (área total: 132km<sup>2</sup>) y del Parque Nacional Azul Meámbar (superficie total: 209km<sup>2</sup>) [17].

## **6. Las actividades y presiones antropogénicas de la subcuenca**

### *Población y administración*

*Tabla 3: Población total de la subcuenca*

Año	Población
1974	21 656 [6]
1988	36 421 [32]
2002	74 624 (AMUPROLAGO, Analisis Ambiental Estratégico, 2002, publicado por [25])

La subcuenca está dividida en 3 departamentos y 9 municipios [15]. Se puede constatar un alto crecimiento en los últimos 30 años de la población dentro la cuenca. Con más de 20000 personas las Vegas es el único centro urbano dentro la cuenca. [25]

### *Principales actividades económicas que se desarrollan en la subcuenca, que tienen un impacto para el lago*

- Restaurantes de venta de pescado en la rivera este (55 casetas de venta) [3]
- Agricultura (3,788 productores, cultivando 4,740 ha) [3]
- Pesca y ganadería (640 pescadores y ganaderos) (datos de AMUPROLAGO, 2002 publicado por [25])
- Minería (Una de las minas más grandes del país, que explota plata, plomo y zinc, AMPAC) [11]

- Acuicultura de Tilapia en jaulas flotantes (3 pequeños cultivos y un cultivo grande, *Aquafinca Saint Peter Fish*)
- Producción de energía hidroeléctrica (las instalaciones se encuentran fuera de la subcuenca, pero varios canales y esclusas están adentro, *ENEE*)

#### *El uso del suelo*

En el 2003 se hizo una clasificación del uso del suelo de la subcuenca, basándose en imágenes de satélite. [10]

*Tabla 4 : Cobertura y uso del suelo [10]*

<b>Cobertura/Us</b>	<b>Descripción</b>	<b>Microcuenca*</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>%</b>
Asentamientos Humanos	Poblados, aldeas, fajas y carreteras.	Raíces, Helado, Joya	890.80	2.02
Agricultura tecnificada	Cultivos de piña, caña de azúcar, yuca, frutales zonas planas o/y fértiles.	Sabaneta, Helado	828.41	1.88
Agricultura tradicional	Agricultura con fines de subsistencia. zonas de ladera	Helado, Raíces, Horconito	4,333.18	9.82
Vegetación arbórea	Bosque de pino, mixto, bosque latifoliado, matorral alto, y/o café	Varovia, Yure, Raíces, Helado	17,462.72	39.56
Vegetación Arbustiva		Raíces, Helado, Horconito	10,854.70	24.59
Cuerpos de Agua	Lagunas, canales y cursos de agua	Yure, Helado	73.49	0.17
Humedales	Riveras norte, noreste, este, sur y sureste.	Sabaneta, Conchas, Pita	1,050.54	2.38
Suelo Desnudo		Raíces, Horconito	437.58	0.99
Espejo del lago			8,207.18	18.59
<b>Total</b>			<b>44,138.60</b>	<b>100</b>
*la microcuenca que contribuye más en superficie a este tipo de cobertura (datos de [10] publicado por [15]). Para localización de las microcuencas ver mapa 3				

#### *Los conflictos de uso de la subcuenca*

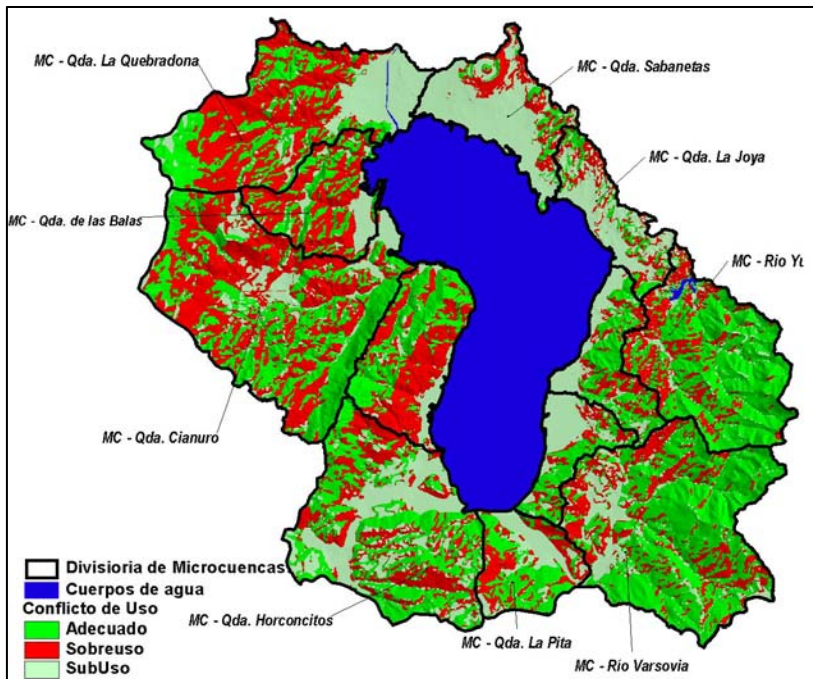
Las distintas presiones para el medio ambiente, que se dan dentro de la subcuenca resultan en primer lugar de un conflicto de uso (del suelo como del espejo del agua) y de la ausencia de una gestión territorial apropiada. A los conflictos resumidos en la tabla 5, se puede añadir otras presiones más como la deforestación por demanda de leña, las descargas de la mina, los supuestos cambios y bajas de nivel del agua debido a la generación de energía hidroeléctrica, la acuicultura intensa, la introducción de peces exóticos (*Black Bass, Tilapia*) y la pesca indiscriminada con arpón y redes. En fin, los conflictos de uso dentro la subcuenca generan problemas de dimensión social, territorial y ambiental. Se trata de un conjunto complejo incluyendo campos muy distintos como gestión de desechos, planificación territorial, legislación ambiental, protección del medio ambiente etc.



Tabla 5: Principales conflictos de uso del suelo ([32] y [17], elaboración propia)

Dominio de conflicto	Lugar	Presión	Consecuencias
Asentamientos humanos vrs. Agricultura	Zonas planas y a lo largo de las carreteras	Aumento de asentamientos de forma dispersa, no estructurada	Instalaciones de saneamiento y gestión de desechos inapropiado Disminución de tierra de vocación agrícola.
Agricultura vrs. Bosque	Generalizado	Aumento superficie para cultivos	Disminución y fragmentación de los bosques, pérdida de hábitat y especies, erosión hídrica, deslizamientos, modificación del régimen hídrico
Infraestructura vrs. Bosque	áreas protegidas como la zona oeste	Construcción de carreteras y caminos rurales	
Agricultura tradicional vrs. agricultura tecnificada	Varios sitios	Intensificación de la producción agrícola	Degradación del suelo y del agua, pérdida de hábitat, erosión hídrica
Ganadería vrs. humedales/rivera	Riveras N, E, SE	Ganadería en las zonas riveranas	Degradación de los humedales y agua

Mapa 3: Localización de los conflictos de uso de suelo y delimitación de las microcuencas [10]



En el 2003 se hizo un estudio respecto al conflicto de uso del suelo, comparando el uso actual de los terrenos con su uso óptimo en función de la pendiente. El resultado del estudio fue, que las categorías *Sobreuso* (116 km<sup>2</sup>), *Subuso* (112 km<sup>2</sup>) y *Uso Correcto* (111 km<sup>2</sup>) representan cada una próximamente un tercio de la subcuenca, substrayendo la superficie de 18 km<sup>2</sup> de los humedales y los asentamientos. Los terrenos de la categoría *Sobreuso*, se refieren esencialmente a las tierras de agricultura intensa en terreno de pendientes fuertes. Los resultados están representados en el mapa 3. [10]

## 7. La contaminación ambiental

Los estudios que están relacionados con la contaminación del Lago de Yojoa son numerosos. Sin embargo, la mayoría son muy puntuales en el tiempo y carecen de comparación con datos de años anteriores. Además los indicadores utilizados, las localizaciones y los momentos de las tomas de muestras son muy diferentes para cada estudio; por ejemplo; se estudió las concentraciones de plomo en sangre en la población que vive en el margen noroeste del lago sin comparación con una población de referencia, que no estuviera expuesta a la fuente de contaminación en cuestión. Por otra parte resulta difícil hacer comparaciones y determinar tendencias a lo largo de los años por la naturaleza puntual de los estudios.

Los conflictos de uso de suelo y del agua, descritos en el párrafo anterior, causan presiones ambientales que, tienen casi todos algún impacto sobre la calidad del agua. Esta parte principal del presente trabajo enfoca la contaminación ambiental y la modificación del régimen hídrico natural que tienen directamente e indirectamente un impacto para la calidad del agua del lago. Para estructurar la presentación, se hizo la clasificación siguiente:

- Contaminación por metales pesados
- Contaminación por nutrientes
- Contaminación fecal
- Contaminación por plaguicidas
- Modificación del régimen hídrico natural (contaminación física)

Se entiende por contaminación del agua la acción y el efecto de introducir materias o formas de energía, o inducir condiciones en el agua que, de modo directo o indirecto, impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores o con sus servicios ambientales. En este sentido la modificación del régimen hídrico natural es una contaminación causada por alteración de condiciones naturales que tiene su impacto para el medio ambiente de la subcuenca y será tratada en este mismo párrafo. [35]

Normalmente normas en función del uso del agua indican a partir de que valores (concentraciones) hay que hablar de contaminación. En Honduras solo existen normas respecto agua potable y descargas de aguas residuales a cuerpos receptores y alcantarillado sanitario. Además todavía no se definió el uso del lago, que es en la práctica una mezcla de uso para recreación, turismo, pesca, acuicultura, reserva natural. Debido a esto, es difícil decir cuando se puede hablar realmente de contaminación. El termino contaminación utilizado en este trabajo, se refiere, si no especificado, la contaminación potencial.

Cada tipo de contaminación contendrá la información siguiente:

- *Definiciones*: Definiciones de las expresiones claves respecto al tipo de contaminación tratada.
- *Estudios*: Descripción de los principales estudios y datos encontrados y analizados respecto a dicha contaminación.
- *Hechos*: Presentación de las distintas presiones y resultados del material existente
- *Sospechas*: Consecuencias o interrelaciones que se sospecha, pero que faltan ser comprobados.
- *Desconocimientos*: Lista de temáticas que hasta hoy no fueron estudiadas, pero que serían necesarios para evidenciar las sospechas anteriores. Ejemplo un parámetro importante para determinar el impacto de todas las fuentes de contaminación es el tiempo de residencia del agua del lago, que todavía se desconoce.
- *Indicador(es) propuestos(s)*: Proposición de uno o varios indicadores para detectar y evaluar dicha contaminación. Para la medición del indicador propuesto se precisará la matriz, las zonas críticas, indicativos para la colección de la muestra. Cabe mencionar que además de la localización propuesta, siempre hay que tomar una muestra en una estación índice/control; es decir una estación de referencia, que no está expuesta directamente a las fuentes de

contaminación puntuales. De manera similar habrá que determinar un momento de control, para hacer comparación de los datos recientes con un dato histórico de referencia.

## 7.1 La contaminación por metales pesados

### Definición

Metales pesados: grupo de elementos químicos con una densidad mayor de 4,5 [g/cm<sup>3</sup>], que a partir de una cierta concentración es tóxico para los organismos, incluso para el ser humano. En la química del agua, por metales pesados se consideran metales con un número atómico mayor de 20, (por ejemplo Pb, Cu, Cd, Zn, Fe) excepto los alcalinos, alcalinoterreos, lantanidos y actínidos. [27] y [35].

### Estudios

Por el hecho de tener interés público, la contaminación por metales pesados es una temática bastante estudiada. Estos estudios enfocan las actividades y los impactos de la industria minera en el margen noroeste del lago. Estos estudios locales analizan las aguas residuales de la mina y las aguas cercanas de la quebrada las Raíces y sus afluentes. Existen varios estudios sobre metales pesados en organismos. Pero como cada estudio se enfoca en organismo distinto y, muy pocos estudios hacen una comparación con una población de referencia, resulta difícil de establecer comparaciones.

Tabla 6: Resumen de los principales estudios respecto a la contaminación por metales pesados

Fuente, año del muestreo	Objeto; lugar del muestreo	Parámetros analizados
Castañeda, 1983 (publicado por [17])	sedimentos, agua, macrofitas, fitoplancton, zooplancton, caracol, *	Cd, Pb, Zn
Cruz, 1985 [14]	Peces ;*	Cu, Pb
Borjas et al., 1988 [7]	maíz; rivera noroeste	Pb, Cu, Cd
Bueso et al., 1988 [9]	arroz; rivera noroeste	Pb, Cu, Cd
Vevey, 1988/89 [34]	sedimentos; lago entero	Pb, Cu, Cd, Zn
Castañeda et al., 1989 (publicado por [9])	agua; rivera noroeste	Pb, Cu, Cd
Ramos et al., 1991 [21]	sangre humana; rivera noroeste	Pb
Lozano et al., 1991 [19]	lirio acuático; *	Pb, Cu, Cd, Zn
Ramos et al., 1991 [22]	Peces;*	Pb, Cu
Vaux et al., 1994 (publicado por [32])	pelo humano; rivera noroeste	Pb
Gaechter et al., 2001 [25]	sedimentos y agua; efluente mina, q. Raíces	Cu, Pb, Zn, Fe
Sandoval, 2001/02 [25] y 06 [27]	agua; lago entero	Cu, Pb, Zn, Cd, Fe
*muestreo sin localización precisa		

### - Hechos

Metales pesados en el agua:

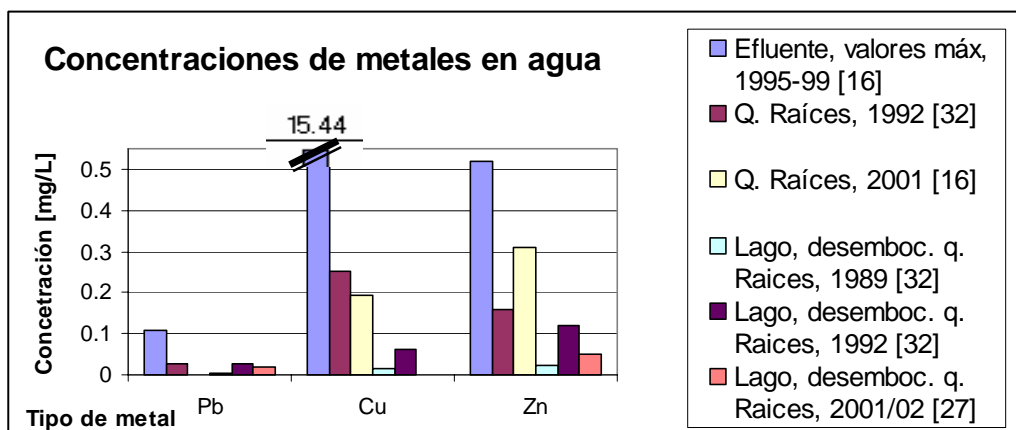
Vaux [32] y Sandoval [25] analizaron concentraciones de metales pesados (Cu, Cd, Pb, Zn) en muestras de agua del lago. En términos generales los resultados de los dos estudios son similares, reportando concentraciones bajas. Los dos autores concluyen que las concentraciones de metales en el agua del lago no presentan un riesgo para la salud de la vida acuática y humana. Sin embargo, en las muestras tomadas en profundidad Sandoval encuentra varios valores excepcionalmente altos, respecto a los demás valores dentro el mismo perfil de muestreo. Esto se explica por el hecho de que

las muestras antes de ser analizadas no fueron filtradas y que el sedimento tiene altas concentraciones de metales pesados (detalles más adelante). Así que estos valores altos son los resultados de muestras de una fase líquida-sólida mezclada.

En la tabla 7 se representan los resultados de muestras de la quebrada Raíces y su desembocadura. Las concentraciones de plomo y cobre exceden ligeramente las normas admisibles para la acuicultura [12]. Hay que indicar, que las normas para la acuicultura son tomadas de un documento borrador, que todavía no entró en vigor. Dado que en estos sitios no existen actividades de acuicultura, estas concentraciones no parecen problemáticas. Sin embargo, hay actividades pesqueras a la quebrada Raíces (observación propia).

En el trabajo de Gaechter [16] en el 2001 se evaluó la ecotoxicidad del efluente del pozo de sedimentación de la mina y de la quebrada Raíces, en la cual desemboca el efluente, a una distancia de 6 kilómetros del lago. Se analizaron las concentraciones de plomo, zinc, cobre, hierro y otros parámetros. Los resultados de este estudio no se pueden utilizar para comparar cuantitativamente con los estudios de Vaux y Sandoval, por su localización distinta. Sin embargo, este estudio da una información cualitativa sobre el impacto que tiene las actividades mineras para el lago; Gaechter no detectó plomo. La concentración del zinc era más alta en la quebrada Raíces que en el efluente. En el efluente las concentraciones de cobre de 0.6 [mg/l] excedieron ligeramente las normas nacionales para descarga de efluentes a cuerpos receptores de 0.5 [mg/l] [13]. Gaechter concluyó que el cianuro, y no los metales pesados, es el responsable principal para la toxicidad del efluente. En el momento del estudio, el efluente no tuvo un efecto tóxico para el lago, por efecto de dilución en su recorrido hacia el lago. Pero aún a concentraciones no tóxicas, el efluente tiene un impacto sobre la calidad del agua del lago.

Gráfico 1 y Tabla 7: Concentraciones de metales en el agua de diferentes estudios



Fuente	CESCCO, publicado por [16]	Cambio SA, publicado por [32]	Gaechter [16]	Castañeda, publicado por [32]	CESCCO, publicado por [32]	Sandoval [27]	Valores norma*	Valores norma**
Año del muestreo	95 a 99	92	01	89	92	01/02		
Localización	efluente mina	q. Raíces		lago, desembocadura q. Raíces				
Pb	0 - 0.11	0.026	nd	0.00394	0.026	0.02	0.1	0.01
Cu	0.62 - 15.44	0.25	0.194	0.0157	0.0625	nd	0.2	0.05
Zn	0 - 0.52	0.16	0.311	0.02218	0.12	0.05	3.0	0.5
Cd	-	0.00079	-	-	Nd	nd	-	-

valores en [mg/L]; nd: no detectado  
 \*Norma nacional propuesta para la preservación de flora y fauna [12]  
 \*\*máximo permisible para acuicultura [12]

Sandoval [25] y la empresa *Aquafinca Saint Peter Fish* [4] midieron la conductividad eléctrica en varios afluentes. Con próximamente 300 [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ] la conductividad de la quebrada Raíces era casi el doble comparado con los demás afluentes. La conductividad eléctrica indica la concentración de todos los iones presentes, sin distinguir entre iones de sales y de metales. Resulta que este parámetro no da una información precisa sobre las concentraciones de metales, pero da un valor indicativo.

- Metales pesados en sedimentos:

Las concentraciones de metales pesados en los sedimentos fueron estudiadas en diferentes sitios por Vevey [34], Castañeda (publicado por [32] y Gaechter [16]). Las concentraciones entre los distintos estudios varían considerablemente, lo que indica una alta variabilidad espacial de los metales. Comparando los estudios de Gaechter y Vevey, se puede ver que la concentración al centro del lago es más alta que en el afluente quebrada Raíces. Vevey, hizo un estudio muy completo analizando 63 muestras de sedimentos en todo el lago, y se detectó que las concentraciones mayores de todos los metales analizados se encuentran en los lugares más profundos del lago (centro norte) y en la desembocadura de la quebrada Raíces.

Tabla 8: Concentraciones de metales en los sedimentos de diferentes estudios

Fuente	Gaechter [16]	Vevey [34]	Castañeda*/ Publicado por [32]	Vevey [34]	Vevey [34]	Ingersoll [18]
<b>Año del muestreo</b>	2001	1990	1983	1990	1990	
<b>Localización/ aplicación</b>	q. Raíces	desembocadura q Raíces		máximo	prom	Efecto tóxico probable
<b>Pb</b>	566	6673	3363	6883	2600	128
<b>Cu</b>	99	1669	-	1745	380	149
<b>Zn</b>	636	12203	3177.7	12223	1800	459
<b>Cd</b>	-	111	46.1	113	18	4.98
valores en [mg/kg]						
* Hay un error de unidades; los datos son en [mg/kg] y no en [ $\mu\text{g}/\text{kg}$ ] como aparecen en la publicación de Vaux.						

Ingersoll [18] estableció límites para concentraciones de metales pesados (Cd, Cu, Pb, Zn) en sedimentos a partir de lo cuales existe un probable efecto ecotóxico. Estos límites empíricos sirven para interpretar los resultados de los estudios del Lago de Yojoa. Casi la totalidad de las muestras de sedimentos del lago exceden dichos límites. Los tres investigadores (Vevey, Castañeda y Gaechter) concluyen que los sedimentos están contaminados por metales pesados. Sin embargo, hasta el momento esta contaminación no representa un riesgo inminente para los organismos por el hecho de que estos metales se encuentran acomplejados en los sedimentos y no están biodisponibles.

Metales pesados en organismos:

Vevey [34] y Ramos [22] analizaron concentraciones de plomo y cobre en peces en circunstancias (número de muestras y especie) parecidas. Los resultados de los dos estudios son similares; la concentración de los metales depende de la especie y de la parte del pescado analizado (vísceras, filete y restos). El incremento en plomo entre 1989 y 1991 (0.29 [ppml]) en los peces de la especie *Black Bass*) es demasiado pequeño para deducir un aumento generalizado. Los dos autores coinciden con la conclusión que estas concentraciones de cobre y de plomo no representan un peligro para la salud humana, mientras que no haya un consumo excesivo de pescado, lo que serían varios kilos a la semana.

Respecto al estudio de concentraciones de metales en pelo humano (Vaux 1994, publicado por [32]), se publicaron solo los resultados finales, sin información sobre las condiciones del estudio y las consecuencias de dichas concentraciones.

Ramos [21] analiza las concentraciones de plomo en la sangre humana de la población del margen noroeste del lago. Este estudio demuestra que casi un tercio de las 76 personas estudiadas exceden los límites de tolerancia biológica recomendada por la OMS, que eran de 25 [mg%] (hoy 10 [mg%] [30]), 30 [mg%], 40 [mg%] para niños, mujeres, hombres respectivamente.

Tabla 9: Concentraciones de metales en organismos de diferentes estudios

Fuente	Castañeda publicado por [32]			Padilla [19]	Padilla publicado por [9]	Borjas publicado por [9]	Vevey [34]	Ramos [21]
<b>Año del muestreo</b>	1989	1983	1983	1991	1991	1989	1989	1991
<b>Muestra</b>	Zoo-plancton	Macrofitas	Fito-plancton	Lirio acuático		Maíz (raíz)	Pez (black bass)	
<b>Valor</b>	promedio			promed	max	promedio	promedio	
<b>Localización</b>	desembocadura q. Raíces			lago entero		desemboc. Raices	lago entero	
<b>Pb</b>	0.0407	1.1282	0.0129	94.44	174.3	97	0.29	0.59
<b>Cu</b>	-	-	-	153.66	197.9	13	1.01	1.48
<b>Zn</b>	0.0128	1.1728	0.0156	488.71	657.2	102	6.516	-
<b>Cd</b>	0.0004	0.0142	0.0021	5.43	6.8	4.5	0.067	-
valores en [mg/kg]								

Es difícil hacer conclusiones respecto a los demás trabajos sobre metales pesados en organismos (en maíz, arroz, fitoplancton, macrofitas, lirio acuático y zooplancton; publicados por [32] y [9]) porque no existen límites de tolerancia biológica o normas. Sin embargo, Borjas y Lagos (publicado por [9]) opinan que las concentraciones de metales en maíz y arroz no son peligrosas para la salud humana. Lozano y Padilla [19] observaron que el lirio acuático absorbe metales pesados (Pb, Cd, Cu, Zn) en función de la solubilidad del metal. Las concentraciones de metales en el lirio acuático están claramente por debajo de las concentraciones de los sedimentos.

#### Sospechas:

Sabiendo que las concentraciones de metales pesados (Cd, Cu, Pb y Zn) son mucho más altas en los sedimentos que en el agua, se supone que estos están acomplejados en forma sólida en los sedimentos acumulándose en los puntos más profundos del lago. Allí se encuentran igualmente los sedimentos provenientes de la época anterior a la construcción del pozo de sedimentación, cuando los efluentes de la mina eran más cargados en metales. La situación actual representa un riesgo bajo, pero con un peligro (impacto potencial) alto. La mayoría de los metales son más solubles en pH ácido, por lo que un cambio de pH podría causar que estos metales acomplejados pasen a la fase líquida y estarían así biodisponibles, es decir tóxicos, para los organismos. Un tal cambio de pH podría ocurrir en el caso de un accidente en la mina con uno de sus productos utilizados para la extracción de los metales o por la entrada de un efluente cargado con la capacidad de modificar el pH en algunos sectores del lago. Las consecuencias serían desastrosas para todos los ecosistemas del lago.

Las concentraciones de metales en el efluente de la mina fluctúan en función de la extracción minera. Sabiendo que las concentraciones de cianuro y cobre son muy altas [16] lo mismo se puede sospechar para otros metales pesados. Sabiendo que en las actividades mineras con frecuencia varios metales están asociados, se puede sospechar la presencia de otros no estudiados hasta ahora. Los procesos mineros para la extracción de metales cambiaron a lo largo de los años. En el pasado se utilizó frecuentemente el mercurio para la extracción de oro. Si este era el caso en la mina, es probable que este metal se acumulara en los sedimentos.

El polvo al borde de carreteras puede contener o haber contenido plomo (OMS, Riesgos del Ambiente Humano, 1976 publicado por [21]). Este podría ser el caso con la carretera que pasa a

proximidad de la rivera este del lago. Por escorrentía este polvo cargado con plomo puede llegar hasta el lago, representando otra fuente de contaminación.

Existen plaguicidas aplicados para los cultivos de café, que contienen sulfatos de cobre. Con la lluvia puede haber residuos que llegan hasta el lago. [35]

Es posible que la asociación de varios metales tenga un efecto ecotóxico, más grave que un solo metal aislado [5]. De manera similar, se puede sospechar, que la presencia de otras sustancias como plaguicidas, fertilizantes etc. puede influir en la biodisponibilidad de los metales.

*Desconocimientos:*

- Determinar las condiciones de biodisponibilidad de los metales. (¿Que condiciones de pH, alcalinidad, dureza total, temperatura y presencia de otros elementos causan una liberación de los metales acomplejados?)
- Determinar la interacción de los distintos metales detectados entre sí o con otros elementos como plaguicidas, fertilizantes y la consecuencia para los organismos.
- Evaluar la representatividad de la conductividad eléctrica como indicador para las concentraciones de metales en el agua. (¿Cual es la relación entre conductividad eléctrica y concentraciones de metales en la fase líquida?)
- Detectar las concentraciones máximas de metales en el efluente de la mina.
- Estudiar otros metales (además de cobre, hierro, plomo, cadmio, zinc) que son/eran asociados a las actividades mineras como el cromo y el mercurio.
- Estudiar los corrientes dentro el lago para determinar los lugares susceptibles de acumulación de sedimentos cargados en metales.
- Determinar y cuantificar otras fuentes de contaminación por metales como el plomo en el polvo de la carretera o el cobre de los plaguicidas cafetaleros.
- Comparar los resultados de concentraciones de metales pesados en organismos con una población de referencia que no está expuesta a una fuente de contaminación.
- Especificar las vías de entrada del plomo para la población que está expuesta al plomo, viviendo o trabajando en la zona de influencia de la mina, afín de disminuir la exposición.
- En caso de mortandad de peces, analizar los peces respecto a concentraciones de metales pesados, cianuros y otras sustancias tóxicas.

*Tabla 10: Indicadores propuestos para medir la contaminación por metales:*

Indicador	Matriz	Zonas críticas
Cd, Pb, Zn, Cu, Cr, Hg, cianuros	Sedimento	Zona más profunda del lago y la ribera noroeste
Cd, Pb, Zn, Cu, Cr, Hg, Cianuros, pH, alcalinidad, dureza, conductividad eléctrica	Agua	Efluente de la mina Lago (en varias profundidades) Desembocadura quebrada Raíces rivera noroeste

## 7.2 La contaminación por nutrientes

*Definición:*

Eutrofización (respecto a ecosistemas acuáticos): Enriquecimiento en nutrientes, esencialmente en nitratos y fosfatos, de un ecosistema acuático. Resulta un aumento de la producción primaria (proliferación de algas) y como consecuencia una disminución de la concentración de oxígeno por la actividad de descomposición de materia orgánica que consume oxígeno. El ambiente se vuelve anóxico afectando la existencia de la mayoría de las especies del ecosistema. [35]

*Estudios:*

Los estudios más completos que determinaron los parámetros físico-químicos relevantes para la evaluación de la contaminación por nutrientes son de Vaux [32], Borjas [7] y Sandoval [27] y [26]. Schmittou [29] estableció un estudio de impacto ambiental respecto a los cultivos de peces de Tilapia para la empresa *Aquafinca Saint Peter Fish*. Boyd [8] hizo un estudio del estado ambiental del lago, que trata igualmente la temática de la eutrofización. Sin embargo, estos dos estudios son incompletos y carecen de análisis de muestras, para fundamentar su razonamiento que la acuicultura no tiene ningún impacto negativo sobre el lago.

Diversos autores ([17], [32], [10]) hacen observaciones respecto a la deforestación y al conflicto de uso del suelo de manera general. Estos estudios contienen información de manera indirecta acerca de los nutrientes a través de los aportes de tierra.

*Tabla 11: Resumen de los principales estudios respecto a la contaminación por nutrientes*

Fuente	Enfoque del estudio	Parámetros/ elementos estudiados
Vaux [32]	evaluación ambiental	Transparencia Secchi, nitratos, amonio y ortofosfatos, productividad primaria y densidad del fitoplancton Fenómeno de deforestación, conflicto de uso de suelo
Borjas [7]	contaminación orgánica	transparencia Secchi, turbidez, nitratos, nitritos, demanda biológica en oxígeno, oxígeno disuelto
House [17]	evaluación ambiental	Fenómeno de deforestación, uso de suelo
Sandoval [27] y [26]	calidad de agua	Transparencia Secchi, nitratos, nitritos, amonio, ortofosfatos, demanda biológica en oxígeno, oxígeno disuelto
CATIE [10]	uso de suelo	Clasificación del uso del suelo

*Hechos:*

Principalmente los terrenos al margen norte y noroeste, las microcuencas Sabaneta y Río Helado (mapa 2), que tienen poca pendiente, son utilizados para la agricultura tecnificada. Para los cultivos de piña, naranja, yuca, caña, café etc. se aplican fertilizantes. [10]

El ganado en los terrenos cercanos a la rivera, que cuando el nivel está bajo, incluso entra en las zonas de los humedales, es otra fuente de nutrientes con son los excrementos. [17]

Varios autores mencionan los problemas de deforestación por falta de disponibilidad de tierras agrícolas y la demanda de leña. Esencialmente la parte oeste, que tiene pendientes fuertes y la parte alta en el este del lago están sometidos a esta presión. En esta misma zona, hay terrenos de agricultura tecnificada, que no es adecuado para estos pendientes. Resulta que estos terrenos están sometidos a la erosión hídrica. ([10], [17], [32])

En la rivera existen varios asentamientos (Monte Verde, Las Conchas, Pito Solo, Las Marías, El Novillo y otros) que tienen sus fosas sépticas en un mal estado o muy cerca del lago. Pocas casas tienen un sistema de eliminación de excretas. Un 28% de los hogares hacen fecalismo al aire libre, eso implica, aparte de una fuente en microorganismos, una fuente de nutrientes. [15]

Desde 1997 la empresa *Aquafinca Saint Peter Fish* cultiva peces (*Tilapia*) dentro del lago en jaulas flotantes. Existen tres cultivos de peces más, con una producción mucho más pequeña en comparación con la de *Aquafinca*. Únicamente para la empresa de *Aquafinca* se trata anualmente de 9000 toneladas de alimento, que son suministrados a los cultivos de peces. Estos alimentos tienen un 0.8% de fósforo y un alto contenido en nitrógeno [23]

Considerando los estudios de los últimos veinte años, las conclusiones acerca de los nutrientes son las siguientes:

- La transparencia Secchi ha disminuido considerablemente. En enero 2007 la transparencia Secchi promedio sobre 7 muestras era de 2.2 metros [31], lo que es más bajo que el valor mínimo de todos los muestreos en el 2001/02.



- Las concentraciones de nitrógeno-amoniaco ( $N-NH_4$ ), pero sobre todo del nitrógeno- nitrato ( $N-NO_3$ ) y del fosfato-ortofosfato ( $P-PO_4^{3-}$ ) han aumentado. Sin embargo, ninguno de los parámetros excede las normas nacionales propuestas para la preservación de la flora y fauna.
- El estado trófico del lago no ha cambiado entre 1993 y 2002/01, sigue siendo oligo-mesotrófico [32], [27]. Sin embargo, esta clasificación se hizo según valores de referencia que son establecidos para lagos en zonas climáticas distintas y aún así la clasificación no es clara.
- Durante la inversión termal, es decir de diciembre a enero, las concentraciones de oxígeno disuelto alcanzan valores críticos para la vida acuática, debajo de 3.0 mg/L. De hecho Aquafinca dispone de un sistema de aeración para estos momentos críticos, que se suele utilizar varias veces al año [28]

Tabla 12: Comparación de parámetros físico-químicos

Fuente, año de muestreo	Vaux, publicado por [32], 1981/82			Borjas [7] 1994/95	Sandoval [27] 2001/02			Cambio relativo 81/82 a 01/02
	prom	min	max	promedio	prom	min	max	promedio
<b>Valor</b>								
<b>Transparencia (m)</b>	7.1	3.4	12.6	3.8	4.8	3.5	6.5	-32.4 %
<b>O<sub>2</sub> disuelto (µg/L)</b>	-	-	-	6.5	6.33	4.91	8.2	-
<b>N-NO<sub>3</sub> (µg/L)</b>	32	1	114	93.2	50	10	180	156.3 %
<b>N-NO<sub>2</sub> (µg/L)</b>	-	-	-	-	10	1	55	-
<b>N-NH<sub>4</sub> (µg/L)</b>	20	1	148	-	80	10	1050	400 %
<b>P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> (µg/L)</b>	3	1	15	-	70	50	100	2333.3 %

Borjas [7] concluye de su estudio que es posible que el lago esté llegando a su capacidad de asimilación de nutrientes. En el 2006 Sandoval volvió a estudiar casi los mismos parámetros como en el 2001/02. Los resultados de este trabajo muestran que no hay una diferencia drástica respecto a 2002. Sin embargo, los procesos de enriquecimiento en nutrientes continúan [25]

#### *Sospechas e incertidumbres al nivel cuantitativo:*

Debido a varias actividades humanas el proceso de enriquecimiento en nutrientes podría llevar a un cambio del estado trófico, es decir que existe el riesgo de una eutrofización del lago. La mayoría de las siguientes presiones es evidente que enriquecen el lago con nutrientes. Las incertidumbres son sobre todo al nivel cuantitativo, se desconoce la contribución de cada una de las actividades siguientes;

- Agricultura (cultivos y ganados): Los fertilizantes y excrementos del ganado son arrastrados del suelo por la lluvia y llegan con los afluentes o directamente desde los terrenos cercanos a la ribera al lago.
- Aportes de tierra: Los terrenos deforestados y los terrenos de agricultura intensa en pendientes fuertes son expuestos a la erosión hídrica que puede causar incluso deslizamientos. Dado que son esencialmente los terrenos con pendientes fuertes que son expuestos a este fenómeno, estos aportes en tierra pueden llegar hasta el lago (directamente o indirectamente por los tributarios), siendo fuente de nutrientes.
- Acuicultura: Los alimentos para los cultivos no son absorbidos integralmente por los peces. La parte excedente contribuye al aumento en nutrientes en el lago.
- Servicios sanitarios: Dado que el sistema de los servicios sanitarios es insuficiente en casi toda la subcuenca, los desechos orgánicos y aguas negras de los asentamientos representan un aporte importante en nutrientes.

#### *Desconocimientos:*

- Cuantificar los aportes en nitrato y fósforo de las distintas actividades antropogénicas.
- Determinar los parámetros y sus niveles críticos (¿Cual es el nutriente limitante, que momento del año es crítico, cual es la capacidad de carga respecto a los nutrientes?)

- Estudiar la interdependencia de los parámetros y determinar los parámetros esenciales para medir el estado trófico. Esto implica también determinar la influencia de los cambios de nivel del espejo del lago, es decir los cambios en volumen, respecto a las concentraciones de nutrientes.
- Localizar los aportes de tierra por erosión hídrica y cuantificar sus aportes en nutrientes.
- Evaluar otros parámetros que podrían ser relevantes para determinación de la contaminación por nutrientes como la producción de clorofila, la cantidad de algas-verdes dentro el fitoplancton total, otros nutrientes como el carbono orgánico, sulfuros, potasio, hierro, cobalto, manganeso, zinc, cobre y también el contenido en materia orgánica en los sedimentos.
- Estudiar los distintos tipos de algas presentes en el lago y determinar la relación de algas específicas de aguas eutróficas y los que son específicas de aguas oligotróficas.
- Estudiar la estratificación termal, las concentraciones de oxígeno disuelto y la demanda bioquímica en oxígeno.

*Tabla 13: Indicadores propuestos para medir la contaminación por nutrientes:*

Indicadores	Matriz	Zonas críticas
Producción primaria, Clorofila a Relación de algas específicas de aguas eutróficas y los específicas de aguas oligotróficas Nitrógeno, nitrato, amonio, nitrógeno total, Fósforo total Carbono orgánico, sulfuros Transparencia Secchi Perfiles de oxígeno disuelto, DBO y temperatura	agua	Cerca de los cultivos de peces Cerca de la rivera norte y este (terrenos de agricultura, ganadería y entradas de aguas negras) Cerca de la rivera sur y oeste (terrenos deforestados) Desembocaduras q. Raíces (entradas de aguas negras de Las Vegas)

### 7.3 La contaminación fecal

#### *Definiciones:*

Coliformes: Grupo de especies bacterianas. En el control de calidad de agua los coliformes fecales son frecuentemente utilizados como indicadores de una contaminación fecal, por el hecho que son copresentes con microorganismos patógenos. Por ejemplo por ingestión a través del agua, estos microorganismos patógenos pueden provocar enfermedades, como fiebre tifoidea, cólera, hepatitis y diarrea. Se distingue entre coliformes totales, que comprende la totalidad del grupo y los coliformes fecales, que son de origen intestinal de especies de sangre caliente. [35] y [2]

#### *Estudios:*

La problemática de contaminación por microorganismos patógenos es evidentemente relacionada con la densidad de las poblaciones, su acceso a los servicios básicos (pozos sépticos, alcantarillado etc.) y su cercanía al lago. Este tema fue evaluado en dos estudios ([10] y [15]), que contienen estadísticas respecto al acceso a los servicios básicos.

Esencialmente cuatro estudios tratan de la contaminación fecal ([27], [26], [32], [7], [41]). Estos trabajos son bastante distintos en la consistencia de sus análisis, el trabajo de Sandoval [27], resulta ser el más completo.

Tabla 14: Los principales estudios respecto a la contaminación fecal

Fuente, año del muestreo/estudio	Enfoque	Localización; consistencia de datos
ENEE y CESCOO publicado [32], 1991/92	Coliformes fecales	28 estaciones en el lago, esencialmente en la orilla; muestreo durante un año. Solo pocas estaciones fueron analizadas más que una vez.
Borjas, 1994/95 [7]	Coliformes fecales	9 estaciones en los tributarios y una estación en el lago, se desconoce el número de muestras.
Sandoval, 2001/02 [27]	Coliformes fecales y totales	12 estaciones en distintas profundidades en ocho momentos distintos, muestreo durante dos años.
Aquafinca 2005 [4]	Coliformes fecales y totales	6 tributarios, medidos durante seis meses.
Mejia, 2005 [41]	Coliformes fecales	Varias estaciones esencialmente en la orilla sureste, sin repeticiones de los análisis.
CATIE, 2003 [10]	Servicios básicos	Estadísticas y mapas sobre el acceso a los servicios básicos y la distribución de la población dentro la cuenca.
Marena, 200? [15]	Servicios básicos	Estadísticas sobre el acceso a los servicios básicos.

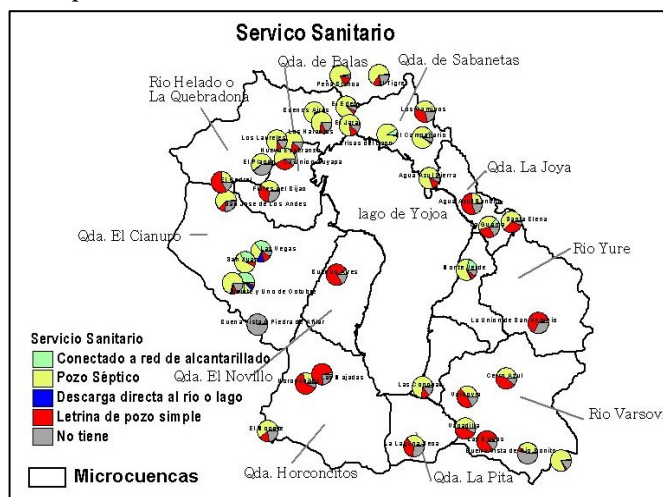
**Hechos:**

La causa principal de la contaminación fecal es el aumento de los asentamientos humanos en las partes mas bajas de la cuenca, es decir las zonas cercanas a la rivera. En esta zona se registraron tasas de crecimiento anuales hasta un 4.7 %. (CEPROD 2003, publicado por [15]).

El acceso al servicio sanitario muestra predominio de pozos sépticos y letrinas. Generalmente las comunidades de las zonas sur y sureste del lago presentan deficiencias más fuertes con un predominio de letrinas y en muchos casos la carencia de este servicio. [10]. Según un censo del 2001 el 28% de hogares hacen fecalismo al aire libre. Las estructuras existentes son letrinas, lavables y secas, que no ofrecen seguridad sobre la eliminación de excretas por su mal mantenimiento y su cercanía al lago. (Estrategia para la Reducción de la Pobreza, datos publicados por [15])

Las Vegas (en el noreste del lago) es la segunda población más grande de la cuenca con más de 15900 habitantes. Aunque existe una red de alcantarillado en este municipio, no hay manejo de las aguas servidas sino que estas drenan a la quebrada Raíces y luego al lago. [10].

Mapa 5: Acceso a servicios sanitarios [10]



Respecto a los estudios que evalúan las concentraciones de coliformes, las siguientes observaciones se refieren a las concentraciones de coliformes *fecales*, suponiendo que en este caso los coliformes son esencialmente de origen fecal. El agua del lago no se emplea como agua de bebida, así que se puede tolerar una cierta concentración de coliformes. Debido a que no se definió legalmente el uso del agua del lago, es difícil de asociar las concentraciones de coliformes encontradas a un valor de referencia.

Todos los autores detectaron concentraciones muy altas, o varias veces superiores 1000 [UFC/100ml] que es la propuesta norma nacional de agua para uso recreativo y acuacultura. Significa que en ciertos momentos el lago no es apto para la natación lo que está en discrepancia con el uso turístico del lago. En el 2006, Sandoval [25] analizó el agua de los afluentes y del lago, en

todos los afluentes se detectaron concentraciones de coliformes muy altas. Los tributarios con las concentraciones más altas en coliformes eran la quebrada Raíces, que lleva las aguas negras de Las Vegas y la quebrada del Cacao, que se encuentra cerca de terrenos de ganadería. Los resultados de los análisis de Aquafinca [4] afirman los de Sandoval.

El agua de los afluentes es solo una fuente parcial de la contaminación fecal del lago. Además hay que considerar la entrada directa de aguas negras de los asentamientos de la rivera. Espacial- y temporalmente las concentraciones varían mucho, se detectaron concentraciones más altas durante la estación lluviosa y en profundidad [27]. Respecto al porcentaje de muestras que excedieron el límite de 1000UFC/100ml, hay que ser prudente con la interpretación, dado que las concentraciones varían mucho en función del tiempo y lugar de la toma de la muestra. Así que no se puede cuantificar la evolución respecto a los últimos años, pero este dato confirma la gravedad del problema.

Los tres autores (Vaux, Borjas y Sandoval) coinciden en que los sitios más críticos son la orilla sur y este (Pito Solo, Las Conchas, Monte Verde) y la desembocadura de la quebrada Raíces (El Rincón, Las Marías) donde llegan las aguas negras de Las Vegas, que es uno de los asentamientos más grandes dentro la subcuenca.

*Tabla 15: Comparación de concentraciones de coliformes fecales de varias fuentes*

Fuente, año del muestreo	ENEE y CESCOO publicado por [32], 1991/92	Borjas, 1994/95 [7]	Sandoval 2001/02 [27]	Aquafinca 2005 [4]
<b>Lago (promedio)</b>	-	166	-	-
<b>Lago (rango)</b>	1-62400	-	1-65000	-
<b>Tributarios (rango)</b>	40-615	179-1609*	-	1-7270000
<b>Número total</b>	72 muestras	10 estaciones	196 muestras	80 muestras
<b>muestras /estaciones sup a 1000 UFC/100ml</b>	12.5 %	20 %	5.1 %	59 %
Valores en unidades formadoras de colonias (UFC) en 100ml [UFC/100ml]				
* rango de valores promedios de los distintos tributarios				

#### *Sospechas:*

Esencialmente en la orilla sureste, donde se encuentran las casetas de venta de pescado hay, muchas construcciones informales (Fotos 1 y 2). Se sospecha que muchas de estas construcciones no disponen ningún servicio básico, practicando fecalismo al aire libre; los excrementos llegan directamente al lago.

*Fotos 1 y 2: Vista desde la carretera y desde el lago de las mismas casetas de venta de pescado*



Supuestamente otra fuente de coliformes fecales es el ganado de los terrenos riberaños esencialmente en la parte noreste y sureste y también a lo largo de los afluentes. El hecho que el ganado entra en los humedales cuando el nivel del lago está bajo, agrava el problema.

Se supone que las concentraciones de coliformes fecales son más altas en la estación de lluvia, porque los excrementos (de origen animal como humano) depositados sobre el suelo son arrastrados por el efecto de escorrentía, que les lleva hasta el lago.

*Desconocimientos:*

- Determinar las construcciones que no tienen ningún servicio básico, pozos sépticos en mal estado y/o demasiado cerca de la orilla del lago, enfocando la orilla este y sureste.
- Localizar y cuantificar el impacto de los excrementos del ganado.
- Estudiar los niveles de la capa freática y su variación estacional con el fin de conocer la eficiencia, o mejor dicho la deficiencia, de las fosas sépticas y así los puntos de entrada de la contaminación fecal.
- Implementar una planificación territorial eficaz. Lo que implica una previsión del aumento de la población, zonificación de la cuenca y la construcción de sistemas de colección y tratamiento de aguas negras.

La existencia de una contaminación fecal del lago y sus efluentes es demostrada. Respecto al Sistema de Indicadores Ambientales habrá que localizar y cuantificar todas las entradas de materia fecal, para determinar los puntos y momentos críticos. Para remediar el problema es importante de actuar en los dominios de la gestión y planificación al nivel de toda la subcuenca. Sin embargo, este último punto excede el marco del Sistema de Indicadores Ambiental.

*Tabla 16: Indicadores propuestos para medir la contaminación fecal:*

Indicadores	Matriz	Zonas críticas
Coliformes totales y fecales	agua	Cerca de la poblaciones de la ribera norte, noreste, este y sureste La desembocadura de la quebrada Raíces Los afluentes más críticos (q. Raíces, q. Cacao, canal Yure etc) Muestreo en la época seca y lluviosa en varias profundidades

#### 7.4 La contaminación por plaguicidas

*Definición:*

Plaguicidas (también denominados pesticidas): Sustancias químicas destinadas a matar, repeler, atraer, regular o interrumpir el crecimiento de seres vivos considerados plagas. [35]

*Estudios:*

Existen solo dos estudios que analizaron las concentraciones de plaguicidas. Un análisis muy puntual [14] y un estudio mucho más completo de Sandoval [27]. En el 2006 Sandoval analizó casi las mismas estaciones como en su estudio anterior, incluso muestras de los afluentes [25]. El estudio de MARENA [15], que incluye mapas localizando los terrenos de agricultura tecnificada puede servir de base para determinar las zonas críticas.

*Tabla 17: Los estudios respecto a la contaminación por plaguicidas*

Fuente, año del muestreo/estudio	Enfoque del estudio
Cruz, 1979 [14]	Una muestra de tierra de un canal de desagüe de un vivero en el margen norte del lago y 5 muestras de peces Análisis respecto a las plaguicidas Lidano y Hexaclorobenzono (BHC)
Sandoval, 2001/02 [27]	64 muestras de agua del lago (8 estaciones en 8 momentos distintos) Análisis respecto a 53 plaguicidas (organoclorados y organofosforados)
MARENA, 200? [15]	Recursos hídricos incluyendo mapas de uso de suelo

*Hechos:*

Principalmente los terrenos planos al margen norte y noroeste del lago (microcuenca Sabaneta y microcuenca Río Helado (ver mapa 2) son utilizados para la agricultura intensa con cultivos de piña, naranja, yuca, caña, café etc. [15].

Con dos excepciones de concentraciones muy bajas, Sandoval no detectó plaguicidas en su estudio del 2001/02. En las muestras del 2006 tampoco se encontraron plaguicidas. [27] y [26]

Después de una mortandad de peces, se detectó trazas las plaguicidas hexaclorobenzeno (HBC) y lindano en una muestra de tierra de un canal de desagüe, que drenaba sus aguas hacia el lago, y en las muestras de peces [4]. Los dos son plaguicidas organoclorados persistentes. No obstante este fue un análisis muy puntual.

*Sospechas:*

En su trabajo de evaluación ambiental de 1993 Vaux señala, que no existe ninguna sospecha para una contaminación por plaguicidas [32]. Estudios más recientes ([17], [15]) mencionan varias fuentes de plaguicidas debidas su aplicación en los viveros y otros cultivos. Se sospecha que en los últimos años la aplicación de plaguicidas dentro la cuenca aumentó. Se trata de observaciones, no existen análisis de muestras que les confirmen. Sin embargo, la falta de pruebas no implica la ausencia de un impacto respecto al lago. Existen varias explicaciones porque no se detectaron plaguicidas en el agua hasta hoy. Se han hecho únicamente análisis respecto a plaguicidas de tipo organoclorados y organofosforados. Sin embargo, existen hoy muchas plaguicidas más, que son difíciles a analizar. Además es posible que los volúmenes de muestras eran demasiado pequeñas, el nivel de detección de los instrumentos era demasiado bajo. Puede ser que las plaguicidas están acomplejadas con los sedimentos, se evaporizaron o que los análisis hechos no corresponden con el tipo de plaguicidas utilizados en la subcuenca.

Con la escorrentía superficial, los afluentes y desagües estos plaguicidas pueden llegar al lago. Según la persistencia y el tiempo de degradación de estos plaguicidas, se pueden acumular en los organismos o/y desarrollar un efecto tóxico para ciertos especies incluso el hombre viviendo en la rivera a través del consumo de agua, alimentos contaminados (pescado, hortalizas etc.).

Es factible que plaguicidas fueron los responsables para algunas de las mortandades de peces observadas.

Si los plaguicidas están acomplejados en los sedimentos, se puede sospechar una acumulación en los puntos más profundos del lago.

La presencia de otras sustancias como metales o fertilizantes puede influir la biodisponibilidad de los plaguicidas.

*Desconocimientos:*

- Establecer un censo respecto a la utilización de plaguicidas en la subcuenca. (¿Qué tipo y cantidad de plaguicidas son utilizados, con qué frecuencia y dónde se aplican?).
- Determinar las posibles vías de entrada al lago de los plaguicidas (¿Cuáles son los afluentes críticos, dónde están los desagües de viveros y fincas?)
- Analizar muestras de agua y de sedimentos del lago (orilla y los puntos más profundos) y sus afluentes respecto a plaguicidas.
- Estudiar el efecto de los plaguicidas dentro los organismos y la cadena alimentaria (vía de entrada, órganos de acumulación, toxicidad).
- Determinar las condiciones de biodisponibilidad de los plaguicidas.
- Estudiar la interacción de los plaguicidas, fertilizantes y metales pesados.
- En caso de mortandad de peces; evaluar las concentraciones de plaguicidas en los peces, el agua y el sedimento.

*Tabla 18: Indicador propuesto para medir la contaminación por plaguicidas:*

Indicador	Matriz	Zonas críticas
Plaguicidas	Agua y sedimento	Zona riverana norte, noroeste; centro del lago Afluentes y desagües

## 7.5 La modificación del régimen hídrico natural

### *Definiciones:*

Humedal: Zona de tierras planas en la que la superficie se encuentra anegada permanente o intermitentemente, dando lugar a un ecosistema híbrido entre los acuáticos y los terrestres con una alta diversidad biológica, además de su valor ecológico, los humedales cumplen importantes funciones climáticas, previniendo inundaciones, recargando los acuíferos subterráneos y estabilizando las condiciones locales, particularmente lluvias y temperatura. [35]

### *Estudios:*

Existen muchos estudios que hacen referencia a la modificación del régimen hídrico natural. A excepción de un solo trabajo, que publica los niveles históricos del espejo del agua [27], todos los estudios contienen únicamente observaciones sin cuantificación de la extensión y amplitud de los distintos fenómenos.

*Tabla 19: Los principales estudios respecto a la modificación del régimen hídrico natural*

Fuente, año de publicación	Elementos del estudio
Tela Rail Road Company 1949; publicado por [6]	Relación de nivel, área del espejo de agua y volumen de agua
Sandoval, 2003 [27]	Niveles máximos y mínimos del espejo del lago de 1944 a 2001.
Vaux, 1993 [32] House, 2002 [17] CATIE, 2003 [10] Marena, 200? [15]	Importancia de los humedales respecto a su diversidad ecológica Amenazas por las actividades antropogénicas Descripción de las modificaciones del régimen natural por instalaciones

### *Hechos y sospechas:*

En el 2005, una parte de los humedales de la cuenca (43.640 [ha] fue declarada como humedal de importancia mundial es decir área protegida (Sitio Ramsar). Este sitio posee un total de 13 tipos de humedales con una alta diversidad biológica y especies endémicas amenazadas de extinción. En el área protegida se encuentra el 86.5% del total nacional de plantas acuáticas y emergentes [25]. Debido a su poca profundidad los humedales son los terrenos más expuestos y afectados por las variaciones del nivel del espejo.

Respecto a la modificación del régimen natural, es decir el efecto de las actividades antropogénicas, existen varios estudios que señalan las mismas observaciones. Sin embargo, es difícil distinguir entre los hechos y las sospechas, que no son claramente diferenciados por los autores.

Varios trabajos indican que la producción hidroeléctrica de las centrales de Cañaveral-Río Lindo causó a lo largo de los últimos años una bajada de nivel del espejo, pero también se observaron cambios drásticos en los niveles. Cuando baja el nivel del agua el ganado entra para consumir las gramíneas que crecen en los humedales. Este sobrepastoreo de los humedales se da sobretodo en la estación seca. Por la compactación de los suelos de los humedales, el impacto de estar seco en verano y sometidos al impacto del ganado es causa de la destrucción acelerada de este tipo de ecosistema. [17], [10], [15]

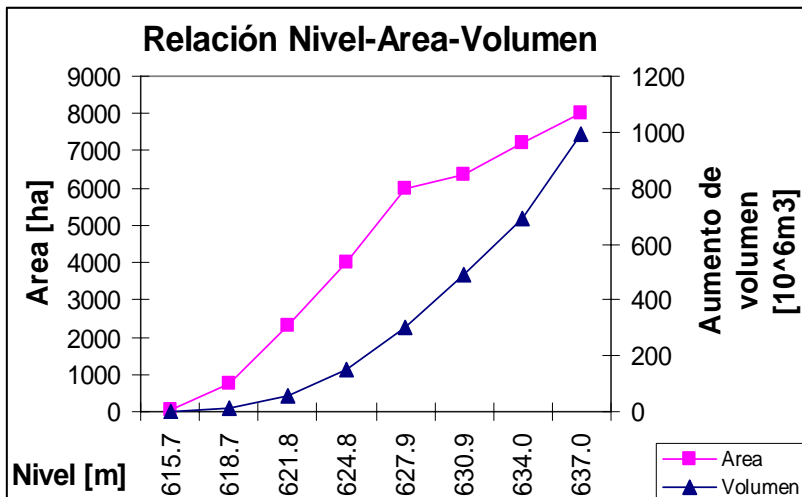
Los humedales y algunas áreas de bosque que se encuentran inundadas parte del año han sido afectados por estos cambios bruscos de niveles y parece que han perdido su capacidad de regeneración. Las diferencias de niveles del lago hicieron necesario la construcción de muelles dentro del lago, y la necesidad de dragar y profundizar los canales de acceso. Estas actividades causan fuertes daños a las plantas acuáticas. [17]

Las tres represas construidas por la Empresa Nacional de Energía (ENEE) en los años 70 para maximizar la explotación hidroeléctrica cambiaron de forma fundamental el régimen hídrico natural de la subcuenca. Primero se construyó una represa al sureste para interrumpir la salida del agua del

lago hacia el sur. Como consecuencia el nivel de agua en el lago subió un metro. Después se construyó un canal al norte, siendo la nueva y única salida del lago. Es en este canal que se encuentran las instalaciones de generación de energía hidroeléctrica. Otras dos represas fueron construidas para desviar los ríos Yure y Varsovia hacia el lago. La introducción de estas dos microcuencas aumentó la superficie de la subcuenca de un 27%. La represa de Yure, que es la más grande, tiene 50 metros de alto y dio lugar a un embalse de 50 hectáreas. Del embalse el agua pasa por un canal para desembocar al este del Lago de Yojoa. [32]

La información cuantitativa más completa respecto a de los niveles del agua, que se podían encontrar en la literatura, son publicados por Sandoval [27]. Se trata de los niveles mínimos y máximos anuales desde el 1944, medidos por la ENEE. En este período los niveles varían de 631.15 [m] a 638.25 [m] siendo los valores extremos. Se desconocen los niveles a intervalos de observación más cortos (niveles semanales o mensuales no se encuentran en los estudios mencionados anteriormente). Tampoco se conoce los datos de la apertura de las esclusas, las precipitaciones y temperaturas a intervalos cortos. Resulta que no hay prueba de que las instalaciones hidroeléctricas implican modificaciones bruscas de niveles.

Grafico 2: Relación entre nivel, superficie de agua y volumen (Tela Rail Road Company 1949, publicado por [6])



El grafico 1 resume el único estudio que existe sobre las relaciones entre nivel, área y volumen del 1949. Dado que en este momento se conocía la batimetría solo de forma aproximativa, esta información tiene poca precisión. Sin embargo, esta relación da una idea de la extensión de la superficie de terrenos afectados por los cambios de niveles.

Otras actividades antropogénicas como la construcción de la carretera de la rivera este, la compactación e

impermeabilización del suelo por las actividades agrícolas, la deforestación y la construcción de edificios y canales tenían y siguen teniendo su impacto para el régimen hídrico natural. [17]

Otra causa de la modificación del régimen hídrico natural es la mina. Antes de llegar a la mina la quebrada Raíces tiene un caudal de próximamente 500 [l/s], sostenido por los afluentes naturales. Los aportes de las aguas de evacuación de la mina que desembocan en la quebrada Raíces constituyen un aporte casi igual al caudal natural de la quebrada. A esto hay que añadir además el efluente del pozo de sedimentación de la mina con un caudal de 40 [l/s] [16]. Sin embargo, este hecho solo tiene un impacto indirecto sobre el lago.

*Desconocimientos:*

- Determinar el impacto de las instalaciones hidroeléctricas respecto a los cambios de nivel del espejo del agua. Es decir, evaluar si los cambios de nivel son producidos por las instalaciones o por las condiciones meteorológicas.
- Cuantificar y localizar los terrenos que son afectados por los cambios de nivel, lo que implica una relación actualizada entre nivel y superficie del espejo del agua.
- Localizar los terrenos que son susceptibles a un sobrepastoreo por el ganado durante la estación seca.
- Estudiar el efecto que tienen los cambios de nivel sobre los ecosistemas de la rivera, en especial los humedales.



- Determinar las relaciones entre el nivel (volumen) y las concentraciones de ciertos compuestos (¿con un aumento del nivel, es decir del volumen, hay una disminución de las concentraciones de coliformes, nutrientes o de la temperatura?)
- Evaluar el impacto que tienen los aportes de agua de la mina para la quebrada Raíces (aumento del potencial de erosión, aporte en metales pesados).

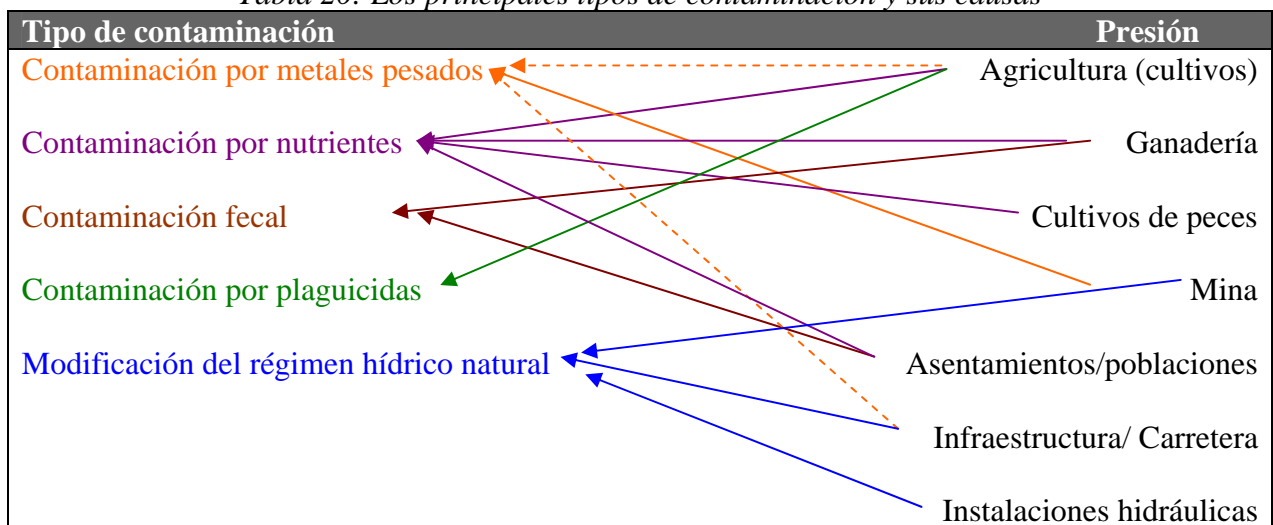
*Indicador propuesto:*

Nivel del espejo del agua

### 7.6 El conjunto de la problemática ambiental

El análisis de los estudios existentes demostró la existencia o el riesgo respecto a distintos tipos de contaminación. La tabla 20 relaciona las problemáticas tratadas con sus respectivas causas. Cada problemática tiene varias causas. (Por ejemplo la agricultura y la acuicultura causan un aumento en nutrientes). Además cada causa contribuye de manera diferente al problema. (Así por ejemplo la contribución en metales de la mina es mucho más importante de lo que sería la contribución de los plaguicidas con contenido de cobre, del polvo de la carretera conteniendo plomo.) Por otra parte, existen actividades que generan varios problemas, por ejemplo la ganadería es causa de la contaminación fecal como de la contaminación por nutrientes.

*Tabla 20: Los principales tipos de contaminación y sus causas*



Es evidente que se trata de un conjunto complejo. Es importante considerar las interacciones de los distintos factores para entender el conjunto de las problemáticas. Existen problemáticas que parecen más urgentes, como la contaminación fecal, en relación a otras, como la modificación del régimen hídrico natural. Sin embargo, para un Sistema de Indicadores Ambientales viable a largo plazo hay que considerar todos los factores que podrían alterar el medio ambiente.

## 8. Recomendaciones

Los indicadores propuestos en el presente trabajo podrán servir de base para el Sistema de Indicadores Ambientales. Pero es primordial hacer más estudios para saber la validez de los indicadores. Sintetizando habrá que buscar respuestas a las preguntas *¿Cuánto?*, *¿Dónde?* y *¿Cómo?* a varias escalas. Es decir, a escala pequeña habrá que determinar las interdependencias de diferentes matices (agua-sedimento, agua-organismo, tierra-agua, sedimento-organismo) involucrados en la contaminación del agua. (¿Bajo que condiciones los metales en los sedimentos pasan a la fase líquida y están biodisponibles para los organismos? ¿Qué efecto tiene el aumento en nutrientes en el agua para los organismos acuáticos? ¿En qué matiz están los plaguicidas y cuales son sus concentraciones? etc.). A escala de la subcuenca habrá que localizar y cuantificar las actividades que representan una fuente de contaminación ambiental para el lago. Esta información indicará los puntos y momentos críticos, que son fundamentales para el implemento del muestreo. El muestro será un elemento esencial para el programa de monitoreo a través del Sistema de Indicadores Ambientales. Este sistema implicará también el establecimiento de normas en función con los límites de capacidad de carga. Conociendo el estado actual y las tendencias se podrá determinar los peligros y riesgos que representan las diferentes presiones antrópogénicas e implementar medidas.

Debido a los recursos económicos limitados, es importante definir un mínimo de indicadores, que proporcionan un máximo de información para evaluar la contaminación ambiental existente, su evolución y asimismo proteger los recursos naturales que son la base de abastecimiento de la población de la subcuenca. En otras palabras hay que desarrollar un sistema de indicadores sostenible.

## 9. Conclusión

Respecto a los trabajos leídos y analizados, se puede notar una enorme variedad no solamente en los enfoques de cada trabajo, pero también en la consistencia de la información que contienen. Son pocos, los trabajos completos que además evaluaron la evolución temporal de los distintos fenómenos. Sin embargo estos trabajos completos sirven de fundamento para el desarrollo de un Sistema de Indicadores Ambientales. Es importante destacar que el Sistema de Indicadores Ambientales describe la situación actual y las tendencias de las distintas problemáticas ambientales y tiene como fin de proporcionar información. Para enfrentar la contaminación ambiental, es decir solucionar los problemas hay que implementar un Sistema de Vigilancia Ambiental, que tiene un marco más amplio e implica la colaboración de diversas instituciones.

Los distintos usos de la tierra y del agua y los diferentes actores manifiestan la complejidad de las problemáticas dentro de la cuenca del Lago de Yojoa. Este trabajo enfocó los aspectos de contaminación ambiental. Sin embargo, es importante implementar una gestión integral, para enfrentar los conflictos existentes. Una gestión sostenible tiene que tratar, aparte del constituyente ambiental, los componentes sociales y económicos. Es decir, hay que buscar un equilibrio entre el bienestar de los habitantes (el acceso a los servicios básicos, al empleo, al recreo), las actividades económicas (el fomento de empresas y actividades turísticas) y la protección del medio ambiente al nivel de la subcuenca. Es obvio que no existe una solución única y cualquier proposición tiene que ser congruente con los recursos financieros disponibles.

## 9. Bibliografía

### *Bibliografía referenciada:*

- 1 Anónimo; Sistema de indicadores ambientales del lago de Yojoa, Honduras - términos de referencia; CESCO; Tegucigalpa, Honduras; 2006?
- 2 Anónimo; <http://www.lenntech.com/espanol/glosario-agua.htm#P>; Lenntech Agua Residual & Purificación del Aire Holding, Delft, Holanda; 2007
- 3 Anónimo; Estadísticas del lago de Yojoa y su cuenca tributaria; Asociación de Municipios del Lago de Yojoa (AMUPROLAGO); sin lugar de publicación; 2002
- 4 Aquafinca Saint Peter Fish; Resultados de análisis de parámetros físico-químicos de los afluentes del Lago de Yojoa, datos proporcionados por A. Piedrahita a M. Ferrary; Lago de Yojoa; 2006
- 5 Banegas, M., Barahona, M., Mérida, J., Borjas, G., y Van Slooten, K. B.; Toxicidad Crónica (72h) de *Selenastrum capricornutum* a tres metales Cadmio (Cd), Cobre (Cu), Zinc (Zn), tanto en su forma individual como en mezcla; CESCO; Tegucigalpa, Honduras; 2007 y  
Barahona, M., Banegas, M., Mérida, J., Borjas, G., y Van Slooten, K. B.; Toxicidad Aguda (24h) de *Daphnia magna* (Strauss) expuesta a tres metales Cadmio (Cd), Cobre (Cu) y Zinc (Zn), en su forma individual como en mezcla; CESCO; Tegucigalpa, Honduras; 2007
- 6 Betancourt J. y Dulin P. ; El plan de uso Múltiple de Lago de Yojoa (segunda fase); Corporación Hondureña de Desarrollo Forestal (CODEHFOR) - Dirección general del RRNN - Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE); Tegucigalpa, Honduras; 1978
- 7 Borajs G., Casco R., Flores S., Erazo R., Myton B.; Evacuación de la contaminación orgánica en el lago de Yojoa y sus tributarios; UNAH; Tegucigalpa, Honduras; 1995
- 8 Boyd C.; Estado ambiental de los lagos Yojoa y el Cajón; Auburn University; Alabama, USA; 2004
- 9 Castañeda C.; Environmental health risks associated with heavy metal pollution in the lake Yojoa area of Honduras; University of Texas; Austin, USA; 1997
- 10 Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE); Análisis de Contexto Territorial y del Plan de Gestión de los Recursos Naturales para la Subcuenca del Lago de Yojoa; Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAG) - Manejo de Recursos Naturales (MARENA); Tegucigalpa, Honduras; 2003
- 11 Centro Internacional de Agricultura Tropical; Mapa topográfico a base del atlas Digital de América Central; Environmental Systems Research Institute; 1999
- 12 CTN-CALAGUE-CAPRE; Propuestas de normas técnicas de Agua de acuerdo al uso; Protección de vida acuática flora y fauna; Tegucigalpa, Honduras; 2001
- 13 CTN-CALAGUE-CAPRE; Normas técnicas de las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores y alcantarillado sanitario; Tipografía nacional; Tegucigalpa, Honduras; 1997
- 14 Cruz G.; Historia del *Micropterus Salmoides* (Black bass) en Honduras; Ceiba 23; Tegucigalpa, Honduras; 1985
- 15 ESA-consultores; Plan de manejo integral de los recursos hídricos de la subcuenca del lago Yojoa - informe de avance; Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAG) - Manejo de Recursos Naturales (MARENA); Tegucigalpa, Honduras; 200?
- 16 Gaechter D., Tarradellas J., Becker, K., Mérida J.; Evaluación de la ecotoxicidad de un efluente proveniente de una industria minera en Honduras con ayuda de una batería de bioensayos; CESCO-EPFL; Lausanne, Suiza; 2001
- 17 House P.; Diagnóstico Ambiental del Lago de Yojoa, Honduras; The Nature Conservancy, AMUPROLAGO; Tegucigalpa, Honduras; 2002
- 18 Ingersoll C.; Prediction of sediment toxicity using; consensus-based freshwater sediment quality guidelines; United States Geological Survey final report for the U.S. Environmental Protection Agency (USEPA); Chicago, USA; 2000
- 19 Lozano Herrera E., Padilla Bejarano A.; El lirio acuático como indicador biológico en la contaminación por metales pesados (Pb, Cd, Zn, Cu) en el lago de Yojoa; UNAH ; Tegucigalpa, Honduras; 1991
- 20 Padilla A.; Examen del plomo y cadmio en Honduras; CESCO; Tegucigalpa, Honduras; 2006

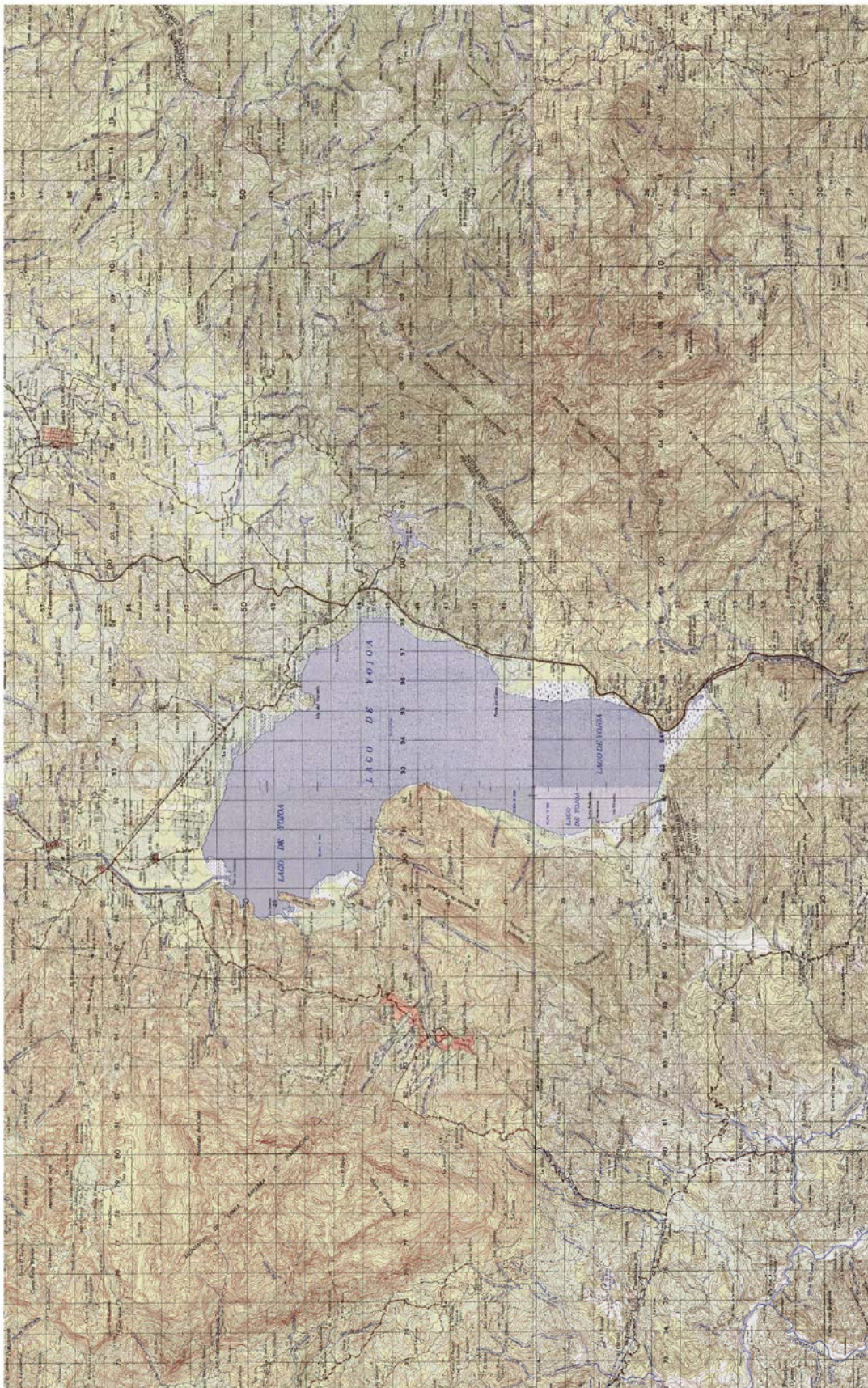
- 21 Ramos L., Ferrary M., Munguía L., Tarradellas J., López M., Amaya I.; Determinación de niveles sanguíneos de plomo en la población humana residente en el margen noroeste del lago de Yojoa; CESCO-UNAH; Tegucigalpa, Honduras; 1991
- 22 Ramos L., Ferrary M., Urrera N., Botto J., Munguía L., Tarradellas J.; Determinación de trazas de plomo y cobre en peces del lago Yojoa, Honduras; CESCO- UNAH; Tegucigalpa, Honduras; 1991
- 23 Ramsar Convention on Wetlands, Gland, Suiza; [http://www.ramsar.org/wn/w.n.honduras\\_yojoa.htm](http://www.ramsar.org/wn/w.n.honduras_yojoa.htm); 2005
- 24 Reyes. A.; Aquafinca cultivo de Tilapia en el Lago de Yojoa; Aquafinca Saint Peter Fish; Lago de Yojoa, Honduras; 2007
- 25 Rivera C.; Plan de manejo de la cuenca del Lago de Yojoa; AMUPROLAGO; Tegucigalpa, Honduras; 2003
- 26 Sandoval S.; Comunicación personal, Unidad de servicios técnicos de la Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE); Tegucigalpa, Honduras; 2007
- 27 Sandoval S.; Evaluación de la calidad del agua del lago de Yojoa; Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE); Tegucigalpa, Honduras; 2003
- 28 Sandoval, A.; Biólogo de la Aquafinca Saint Peter Fish, comunicación personal; Lago de Yojoa; 2007
- 29 Schmittou H.; Estudio de impacto ambiental y capacidad de carga para el cultivo de Tilapia en el Lago de Yojoa - Informe preliminar; Aquafinca Saint Peter Fish; sin lugar de publicación; 2003
- 30 Sepulveda, V.; Exposición a plomo ambiental de la población infantil; Organización Panamericana de Salud; Washington, USA; 2000
- 31 Studer E. y Mérida J.; Resultados de análisis de parámetros físico-químicos; muestreo del 11 y 12 de enero 2007; Tegucigalpa, Honduras; 2007
- 32 Vaux P., Baepler D., Jennings R.; Soden, D., Galvare E., Díscua J., Vargas E.; Una evaluación ambiental del lago de Yojoa y su cuenca tributaria; University of Nevada; Las Vegas, USA; 1993
- 33 Varios; GEO 2005 Honduras; Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y Secretaria de Recursos Naturales y Ambiente (SERNA); Tegucigalpa, Honduras; 2005
- 34 Vevey E., Ramos D., Munguía Guerrero L., Tarradellas J.; Contaminación de los sedimentos del lago de Yojoa por cuatro metales pesados; CESCO-EPFL; Tegucigalpa, Honduras - Lausanne, Suiza; 1990
- 35 Wikipedia, La enciclopedia libre; <http://es.wikipedia.org>; 2007

*Bibliografía consultada:*

- 35 Anónimo; Estudio de caso: Planificación para la conservación del lago Yojoa; The nature Conservancy – AMUPROLAQGO; Tegucigalpa, Honduras; 2002
- 36 Anónimo; Canadian Water qualities for the protection of Aquatic Life; Canadian Council of ministers of the environment; Hull, Canada; 2005
- 37 Anónimo; Los resultados de la zona litoral con un análisis ambiental; Banco Interamericano de Desarrollo (BID) – AMUPROLAGO; sin año de publicación
- 38 Diaz A.; Impacto de los desechos de las minas del Mochito en la ecología del ; Lago de Yojoa; UNAH; Tegucigalpa, Honduras; 1980
- 39 Espinoza. J. ; Estudio de Auditoria Ambiental del Cultivo de Peces en Jaulas ; Flotantes de las Aquafincas “Doble Cosecha, Lobos de Mar y Los Norteños”; Dirección de Evaluación y Control Ambiental, Secretaría de Recurso Naturales y Ambiente (SERNA); Tegucigalpa, Honduras; 2003
- 40 Vargas, E.; Anoxia 2005; Aquafinca Saint Peter Fish, 2005
- 41 Mejia K.; Cuantificación de los Desechos Sólidos y Determinación de la Calidad del Agua en Lago de Yojoa; Escuela Nacional de Ciencias Forestales (ESNACIFOR); Siguatepeque, Honduras; 2005
- 42 Merida J.; Mortandad de peces en Honduras; CESCO; Tegucigalpa, Honduras; 2004
- 43 Ramos L., Ferrary M., Urrera N., Botto J., Munguía L., Tarradellas J.; Determinación de plomo y cobre en peces y manejo de sus residuos sólidos en el lago de Yojoa, Honduras; CESCO- UNAH; Tegucigalpa, Honduras; 1991

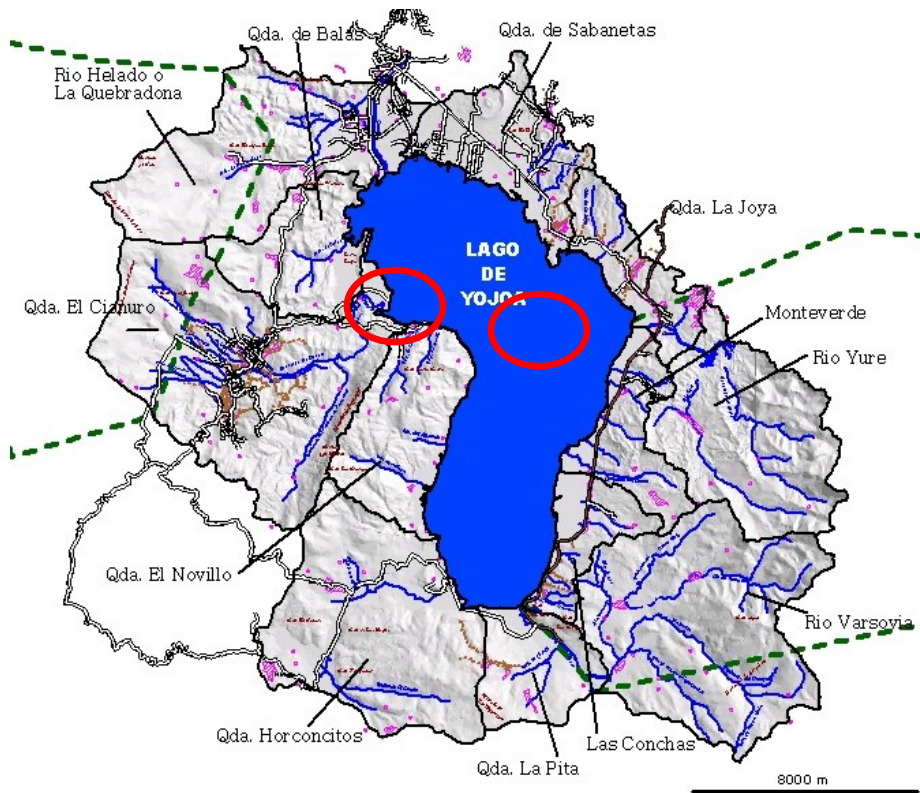
## 10. Anexos

*Mapa de la subcuenca del Lago de Yojoa ( cuadrantes de 1km por 1km)*

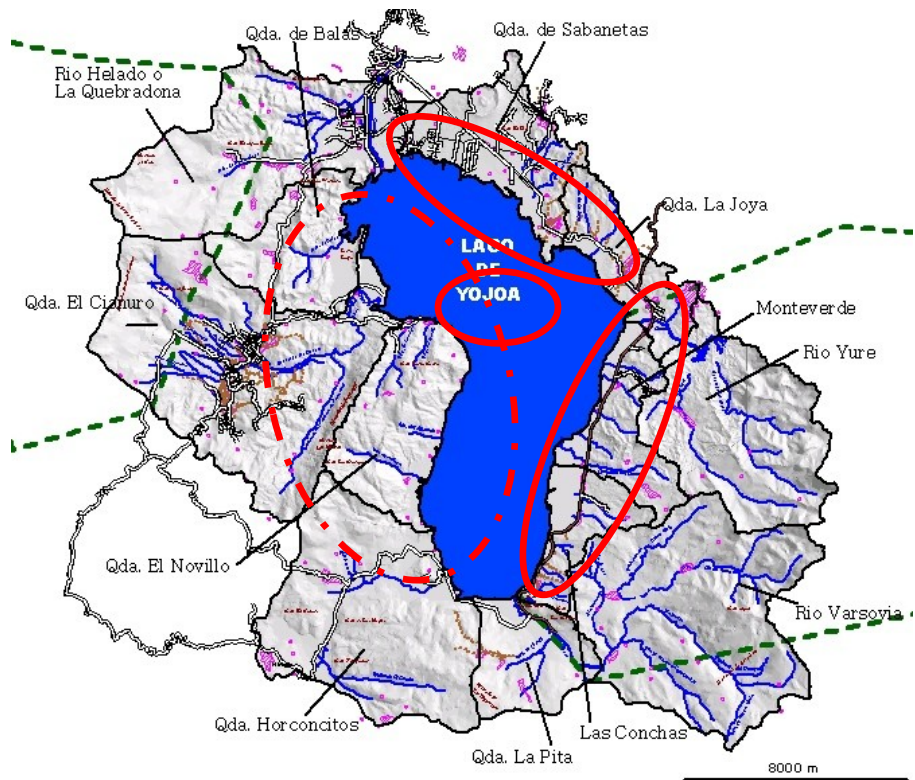


Mapas de los puntos críticos

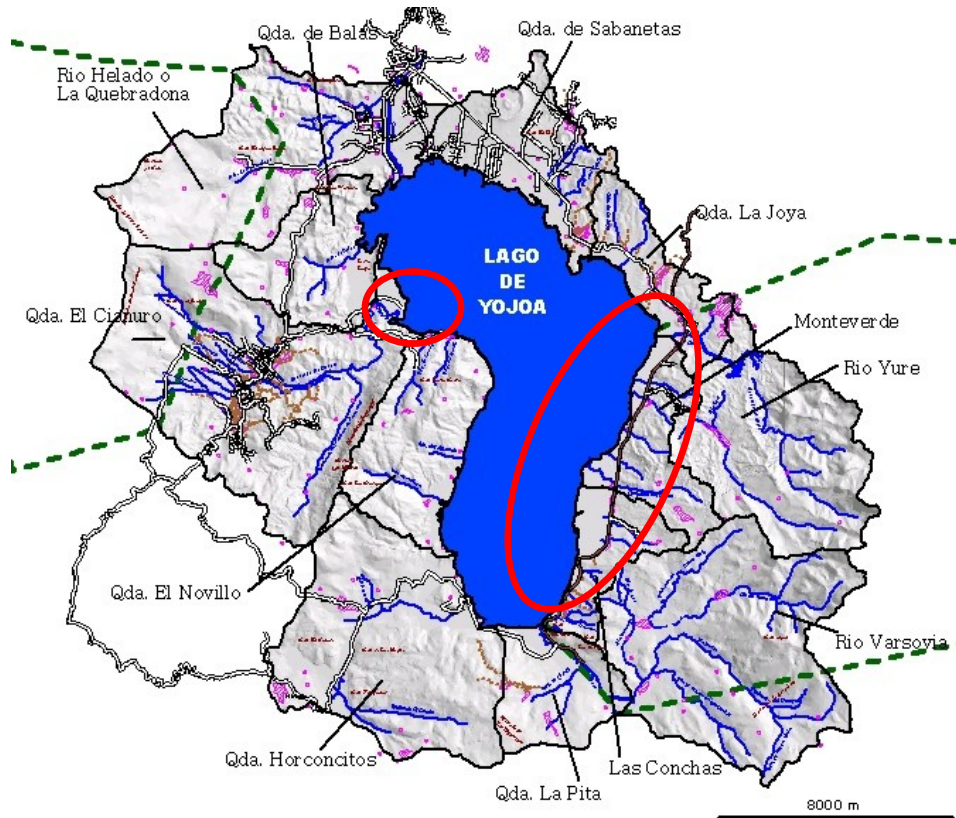
Puntos críticos: Contaminación por metales pesados



Puntos críticos: Contaminación por nutrientes



Puntos críticos: Contaminación por microorganismos patógenos (contaminación fecal)



Puntos críticos: Contaminación por plaguicidas

