

EVALUACIÓN DEL PROCESO DE EUTROFICACIÓN DEL LAGO COCIBOLCA, NICARAGUA Y SUS CAUSAS EN LA CUENCA

Katherine Vammen[§], Jorge Pitty Tercero[§] y Salvador Montenegro Guillén[§]

[§]Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (CIRA/UNAN), Aptdo. Postal 4598, Managua, Nicaragua. Teléfono: (+505)-2-786981/82, Fax (+505)-2-678169, Correo electrónico: cirasubt@cablenet.com.ni

Palabras claves: Eutroficación, Lago Cocibolca, Cuenca, Plan Estratégica de Acción

Resumen

El Lago Cocibolca es el cuerpo de agua más grande de Centroamérica y entre los más grandes de Latino América. El Lago representa un potencial hídrico muy importante para Nicaragua y ha sido designado como reserva natural del futuro para agua potable. En estudios recientes de investigación del año 2002-2003 “Estudios Básicos Monitoreo Hidrometeorológico y de la Calidad del Agua en la Cuenca del Río San Juan” que formaron parte del Proyecto “Formulación de un Plan Estratégico de Acción para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos y el Desarrollo Sostenible de la Cuenca del Río San Juan y su Zona Costera” del PROCUENCA-SANJUAN, se obtuvo información básica limnológica sobre el estado eutrófico del Lago desde el punto de vista de los indicadores biológicos y químicos y el flujo de macronutrientes desde el subsistema hidrológico. Este ha permitido evaluar mejor el desarrollo del proceso de eutroficación y las causas involucradas.

Para la colecta de muestras se ubicaron dos sitios lo más cercano al centro del Lago Cocibolca; cinco sitios en la “vertiente Noreste” del Lago, 300 metros aguas arriba de la desembocadura de los ríos que drenan al Lago: Malacatoya, Mayales, Acoyapa, Oyate, Tepenaguasapa, y un punto en la “Vertiente Suroeste” 300 metros aguas arriba de la desembocadura del río Ochomogo para medir el flujo de macronutrientes. Se analizó mapas geológicos, tipo de suelo, precipitación y uso del suelo de la cuenca del lago para entender mejor las características naturales y antropogénicas de la cuenca.

En una comparación de los indicadores biológicos del lago con estudios de años anteriores, se observa una aceleración del proceso de eutroficación notable en el aumento en la biomasa de fitoplancton, simplificación estructural en el fitoplancton y zooplancton y en la dominancia de una especie de Cyanophyta filamentosa, *Cylindrospermopsis raciborskii* quienes son indicadores de eutroficación. El aporte de macronutrientes de los tributarios estudiados revela que dos tributarios ubicados en las zonas de alta precipitación, río arriba y ubicados en una subcuenca donde predomina el uso de suelo para pasto de ganadería, contribuyen en un 92% en cuanto al transporte de los nutrientes totales transportados por estos tributarios.

Los cambios de uso del suelo en interacción con las características naturales de la cuenca fueron identificados como uno de los factores más importante en explicar la aceleración del proceso de eutroficación; la deforestación y conversión de extensas zonas para pasto de ganadería en las últimas décadas han promovido la erosión en la cuenca que produce fuerte sedimentación en los

tributarios y un aumento en la carga instantánea de nutrientes en el escurrimiento difuso sobre el suelo.

Aplicando los resultados del estudio se ha definido metas principales para un plan estratégico de acción para la cuenca que incluye control de la sedimentación desde la cuenca, reducción de la contaminación sanitaria y tóxica, establecimiento de medidas de protección en la cuenca para reducir el aporte de nutrientes hacia el lago, la aplicación de las prioridades de uso del lago contenidas en la Ley de Aguas de Nicaragua e introducción de una planificación del uso del suelo en todas las subcuencas del lago.

Introducción

Nicaragua tiene un potencial hídrico de 38,7 m³/cápita que resulta ser un poco más alto que Brasil en 32,256 m³/cápita y esencialmente más alto que Estados Unidos en 8,9 m³/cápita o Suiza en 7,4 m³/cápita. Pero no todo lo que entra al ciclo hidrológico en Nicaragua es apto para su aprovechamiento y un porcentaje muy grande del agua disponible no posee una calidad adecuada para consumo humano, así que vive en un frágil equilibrio (Campos y Lucke, 1998) que requiere una mejor gestión integral y planificación de los recursos hídricos nacionales.

El Lago Cocibolca, está clasificado como uno de los más grandes de Centroamérica y entre los más grandes de Latino América. Ha sido designado por las autoridades nacionales (Ley General de Aguas Nacionales, Plan Nacional de Desarrollo, Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados-INAA y la Asociación de Municipios de la Cuenca del Gran Lago de Nicaragua AMUGRAN) como la reserva natural del futuro para agua potable, específicamente para la zona del Pacífico de Nicaragua, ya que posee la más alta densidad de población del país. Los recursos de agua dulce podría satisfacer la demanda del desarrollo previsible de la región semiárida del pacífico. En el caso ideal, un lago que se usa para agua potable debería tener una calidad de agua lo más cerca posible al estado trófico que pueda asegurar que su tratamiento es mínimo para lograr las condiciones adecuadas para agua de consumo humano (Ryding, 1989). Sin embargo, no se ha establecido medidas en su cuenca hidrográfica para su protección, ni apoyo para introducir un programa de monitoreo, con el objetivo de dar seguimiento a la calidad del agua de este lago, lo cual es necesario para su protección.

El Lago Cocibolca posee características limnológicas internas muy específicas

ya que es un lago tropical y como lago somero es polimíctico. Esto juega un papel importante en la evaluación de su proceso de eutroficación ya que puede responder a actividades de su cuenca de forma particular.

Este estudio examina indicadores biológicos y químicos que apuntan a un deterioro en la calidad del agua del Lago Cocibolca y procura evaluar el desarrollo del proceso de eutroficación y sus causas a través del análisis de su relación con las actividades de la cuenca (CIRA, 2004, 1997 y 1994).

La contaminación puntual desde la cuenca en la descarga de aguas residuales crudas o deficientemente tratadas se concentra en 30 municipios, 5 de ellos son los más críticos en cuanto al aporte por descarga de nutrientes. Estos centros urbanos o semi-urbanos no cuentan con adecuado tratamiento de los desechos líquidos ni sólidos que se vierten directamente al lago (CIRA, 1996).

El uso de la cuenca por actividad antropogénica ha sufrido cambios drásticos en las últimas décadas. El aumento de la actividad ganadera ha convertido una gran parte de la cuenca en áreas de pastos y así ha deteriorado paulatinamente los ecosistemas propios de la cuenca. Estos cambios en interacción con las características naturales de la cuenca son los que han aportado en mayor grado al incremento de la entrada de nutrientes y por tanto se podría identificar como la causa que acelera el proceso de eutroficación del Lago Cocibolca en la última década.

Este proceso ha puesto en peligro su uso como futuro reservorio natural para agua potable y posible fuente natural de desarrollo en la zona del Pacífico.

Los estudios (Vammen, en preparación; Flores, 2005 y Pitty, en preparación) limnológicos del lago, el flujo de macronutrientes del subsistema hidrológico y la contaminación por compuestos orgánicos persistentes del lago y sus tributarios han producido importante información que ha permitido identificar algunas metas principales para un Plan Estratégico de la Cuenca.

Descripción del Lago

Lago Cocibolca o Lago Nicaragua es el lago más grande de los dos grandes lagos centroamericanos del graben tectónico (figura 1 y 2); tiene un área de 8000 km² con una cuenca de drenaje de 23 844 km² y forma parte de una cuenca binacional que es la más grande de Centroamérica con 41 600 km² dividida en 70% en Nicaragua y 30% en Costa Rica (Montenegro Guillén, 2003).

En la Tabla 1, se presenta un resumen sobre los datos más relevantes del Lago Cocibolca.

Tabla 1. Características Generales del Lago Cocibolca

Características del Lago Cocibolca y su Cuenca	
Área del Lago	8 000 km ²
Área de la Cuenca	23 844 km ²
Volumen de Agua	~ 104,000 hm ³
Profundidad Max.	40 m
Profundidad Promedio	13 m
Nivel Histórico Mín.	29, 57 m
Nivel Histórico Máx.	33, 84 m
Longitud del Eje Mayor	160 km (Panaloya – San Carlos)
Longitud del Eje Menor	70 km (La Virgen - San Ubaldo)
Elevación	31,4 m.s.n.m
Precipitación en la Región Tropical de Sabana	1 000-2 000 mm anuales
Precipitación en el Sector Suroeste	>2 500 mm anuales
Ubicación Geográfica	Entre 85 ⁰ y 86 ⁰ longitud oeste y 11 ⁰ y 12 ⁰ latitud norte



Figura 1. Nicaragua y Ubicación del Lago Cocibolca

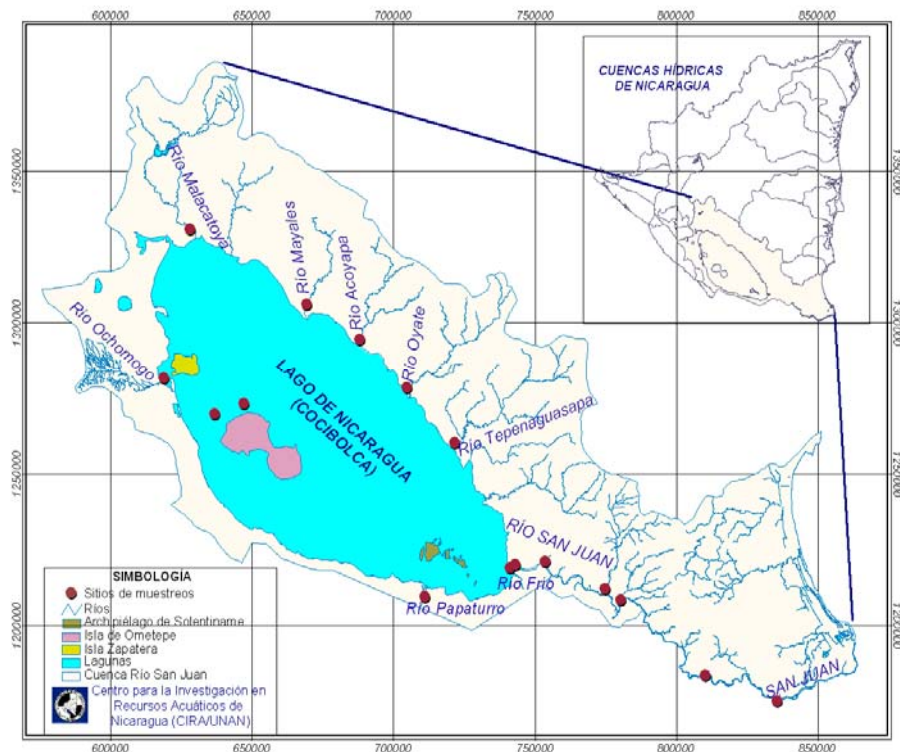


Figura 2. Cuenca del Lago Cocibolca y Río San Juan y Sitios de Muestreos de 2002 y 2003

El Río San Juan es su drenaje natural. En este lago desembocan 25 ríos que provienen de 16 subcuencas circundantes.

Lago Cocibolca como Lago Tropical Somero

El lago Cocibolca es polimíctico, sin estratificación estable debido a su profundidad baja (13 m en promedio), temperaturas altas constantes observadas en un rango de 29,3 hasta 25,4 °C en todo el año y expuesto a vientos que mezclan constantemente la columna de agua. Como otros lagos tropicales (Viner y Smith, 1973; Tundisi et al, 1984) la variación de temperatura es más grande en su ciclo diario que por estación anual.

Las altas temperaturas aseguran una alta tasa de mineralización microbiana (Payne, 1986) en lagos tropicales lo que garantiza la degradación de sustancias orgánicas en la columna de agua. Ahlgren (1997) encontró limitación en cuanto a la productividad bacteriana en los sedimentos del Lago Cocibolca y concluyó que menos productos de la producción primaria logran incorporarse a los sedimentos.

A pesar de una medianamente alta producción primaria, $2 \text{ g C m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ o sea $799 \text{ g C m}^{-2} \text{ año}^{-1}$ (Hooker, 2001), los nutrientes inorgánicos como orto-fosfato y nitratos siempre están presentes en el agua del lago en concentraciones por debajo del límite de detección, lo que ha sido observado en muchos lagos tropicales e indica que posiblemente están incorporados en otros componentes del ecosistema, normalmente en el fitoplancton (Payne, 1986).

La acción del viento sobre el lago mantiene turbulencia en la columna de agua y causa la constante resuspensión de las capas superficiales de los sedimentos (Scheffer, 1998). La figura 3 muestra el promedio de velocidad media mensual del viento en el lago en la estación meteorológica de San Carlos (1973-1998, INETER).

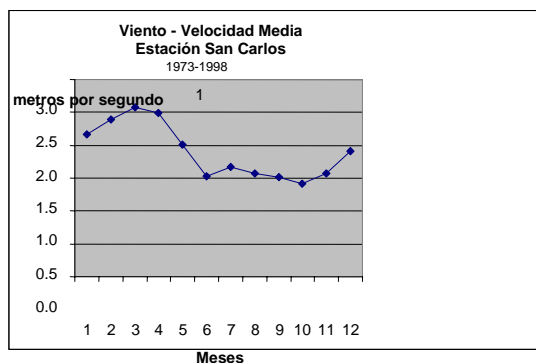


Figura 3. Velocidad Media Mensual del Viento de 1973 hasta 1998

Es posible que la relación entre la zona fótica y la profundidad de mezcla, juegue un papel preponderante en el lago, ya que la luz se convierte en el factor limitante de producción, tal como ha sido observado en otros lagos tropicales (Talling et al, 1973).

La presencia de los nutrientes en su forma orgánica en el agua del lago, está en dependencia del ciclo de precipitación o sea la estacionalidad que controla la entrada de nutrientes por escurrimiento, el régimen de caudal de los ríos tributarios y además el volumen de agua en el lago. La figura 4 muestra el promedio de precipitación mensual (1971-2000, INETER).

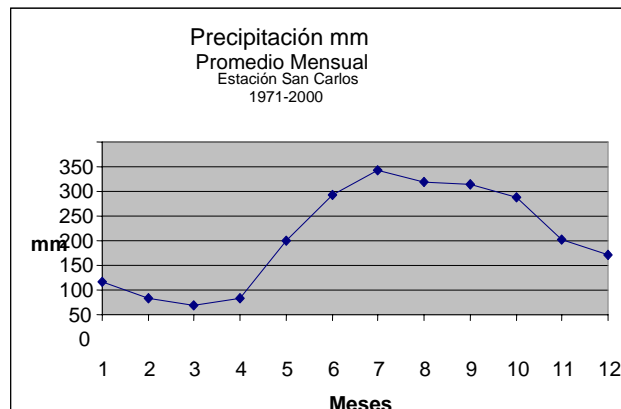


Figura 4. Promedio de Precipitación Mensual en la Estación San Carlos entre 1971 y 2000

Metodología

La evaluación del proceso de eutrofización está en parte basada en información del componente: “Estudio Básico de Calidad de Agua en la Cuenca del Río San Juan” del Proyecto “Formulación de un Plan Estratégico de Acción para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos y el Desarrollo Sostenible de la Cuenca del Río San Juan y su Zona Costera – PROCUENCA, San Juan”. El estudio “Caracterización Limnológica e Indicadores de Eutrofización del Lago Cocibolca” se llevó a cabo en 2002 y 2003. Debido a la falta de un monitoreo de rutina en el lago en este estudio se compararon los resultados obtenidos con información básica de carácter físico-química y biológica de 2 períodos de muestreo anteriores realizados por el CIRA/UNAN en el lago, específicamente en mayo 1994 al inicio de la época lluviosa y en 1997 en la época lluviosa. Se incluyeron, además, los resultados obtenidos en el estudio “Determinación Cuantitativa de la Carga de Fósforo y Nitrógeno Total de los Principales Tributarios del Lago” para mejor comprensión de la dinámica y variedad del sistema hidrológico del lago, lo que facilita el entendimiento sobre la interacción que existe entre las actividades que se realizan en la cuenca y las subcuencas principales del lago. La ubicación de los muestreos realizados en 2002 y 2003 se observa en la Figura 2, y los del 1994 y 1997 en la Figura 5.

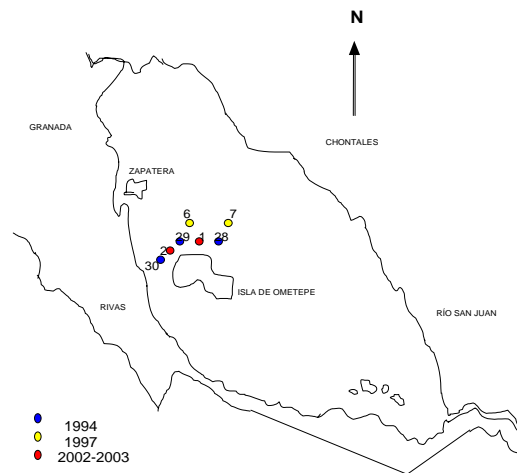


Figura 5. Ubicación de los Sitios de Muestreo en el Lago Cocibolca en Diferentes Años

Se analizó la información de la cuenca aplicando mapas geológicos, tipo de suelo, uso de suelo y precipitación del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARENA) y Ministerio de Agricultura y Forestal (MAG-FOR) de Nicaragua.

Caracterización Limnológica e Indicadores de Eutrofización del Lago Cocibolca

Se realizaron siete campañas de muestreo con una frecuencia mensual (Agosto-Noviembre 2002, Enero-Marzo 2003) en dos puntos alejados de la influencia costera y próximos al centro del Lago Cocibolca. Los puntos de muestreo seleccionados registran las siguientes coordenadas y profundidades:

Punto 1 (16 648777 E: 12 83941 N); Profundidad: 15 m

Punto 2 (16 638366 E: 12 80593 N); Profundidad: 13 m

Las muestras de agua fueron colectadas con una botella Van Dorn (2,5 l) entre las 10 h 00 - 13 h 00 y a las siguientes profundidades: Punto 1 (0 m, 5 m, 10 m y 15 m) y Punto 2 (0 m, 5 m, 10 m y 13 m). En cada una de las estaciones se tomaron muestras de agua para el análisis físico-químico (conductividad, pH, temperatura, oxígeno disuelto, nutrientes, sólidos totales disueltos, clorofila-a y microbiológico.)

La muestra de agua para la estimación de la densidad y biomasa peso-húmedo del fitoplancton se tomó a partir de una muestra integral de la columna de agua. La toma de muestras del zooplancton se hizo por triplicado y por estratos a partir del primer metro de profundidad, posteriormente cada 5 m. Se utilizó la cámara de Schindler (12 l) y una red de arrastre (55 µm de luz de malla), con la cual se realizó los arrastres desde el fondo hasta la superficie.

Las muestras del zoobentos se tomaron con ayuda de una draga Ponar (522 cm²). Se capturaron tres submuestras en cada sitio de muestreo y cada una de ellas fue colocada en bolsas plásticas de polietileno y preservadas con formalina a una concentración final del 4%.

Se midió "in situ" y en el perfil vertical de la columna de agua, los siguientes parámetros: pH, temperatura y conductividad. También se midió la transparencia del agua con el disco Secchi.

Los métodos analíticos utilizados están basados en el Standard Methods for the Examination of Water and WasteWater (1999). 20th ed. Washington: APHA

Comparación de Cuatro Períodos de Muestreo en un Tiempo de 9 Años

Basado en los registros de cuatro campañas de muestreo (Tabla 2) se pretende ilustrar los cambios que se han venido manifestando. Los puntos de muestreo considerados obedecen a la proximidad de los mismos.

Tabla 2. Época y Sitios de Muestreo del Lago Cocibolca

Mes/Año	Sitios de muestreo considerados ver Figuras 2 y 5
Mayo 1994 (inicio época lluviosa)	28, 29 y 30
Junio 1997 (época lluviosa)	6 y 7
Agosto-Noviembre 2002 (época lluviosa)	1 y 2
Enero-Marzo 2003 (época seca)	1 y 2

Determinación Cuantitativa de la Carga de Fósforo Total y Nitrógeno Total de los Principales Tributarios del Lago

Se seleccionaron siete (ver Figura 2) de un total de 25 ríos que drenan al Lago Cocibolca, debido a que se consideraron los de mayor aporte (Malacatoya, Mayales, Acoyapa, Oyate, Tepenaguasapa, Papaturro y Ochomogo), así como un punto en la Salida del Lago. Los muestreos se realizaron entre noviembre (2002) y julio (2003); para cada río se seleccionaron 5 a 7 períodos de muestreo (Flores Sanchez, 2005). Las muestras de agua se colectaron en los ríos a una distancia entre 300m y 500m antes de su desembocadura en el Lago, con una botella "Van Dorn" a un tercio (1/3) de la profundidad promedio del sitio y compuestas por tres alícuotas de la sección transversal. Personal técnico del Instituto Nacional de Estudios Territoriales (INETER) realizaron los aforos líquidos instantáneos en los sitios donde fue posible medirlos, utilizando el método de Medición de Velocidad en el Centroides del Flujo.

A excepción de los análisis de nitrógeno total Microkjeldahl (Ahlgren, L & Ahlgren, G., 1992) y de amonio (Rodier J., 1981), la metodología que se utilizó para el procesamiento analítico de los nitratos, nitritos y fosforo total se basan en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 20th. Washington: APHA, 1999.

Resultados

Indicadores Internos de la Eutrofización en el Lago Cocibolca

En un período de 9 años desde el 1994 hasta 2003 se ha encontrado manifestaciones de eutrofización en las comunidades biológicas acuáticas. La biomasa del fitoplancton es fundamental como indicador ya que puede interferir en el uso del agua por el ser humano.

Aumento en la Biomasa de Fitoplancton

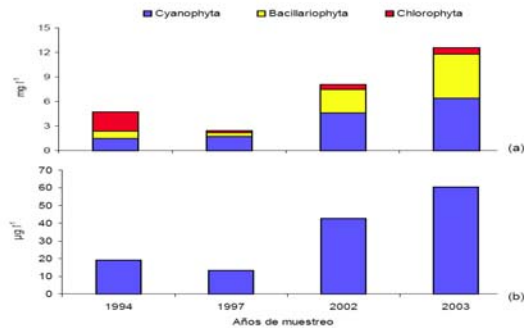


Figura 6. Desarrollo de Biomasa peso-húmedo de Fitoplancton (a) y clorofila-a (b)

Es evidente que el crecimiento de fitoplancton ha sido estimulado en el lago en los últimos 9 años como se expresa en la figura 6. La biomasa, determinada como clorofila-a y peso-húmedo de fitoplancton ha aumentado en un factor de aproximadamente 2 a 3.

Las comunidades biológicas han sufrido un proceso de simplificación estructural en la última década. Los cambios de la contribución de los grandes grupos taxonómicos del fitoplancton, zooplancton y zoobentos a la riqueza de especies se demuestra en la Figura 7.

Cambios en las Comunidades Biológicas en la Riqueza de Especies del Lago Cocibolca

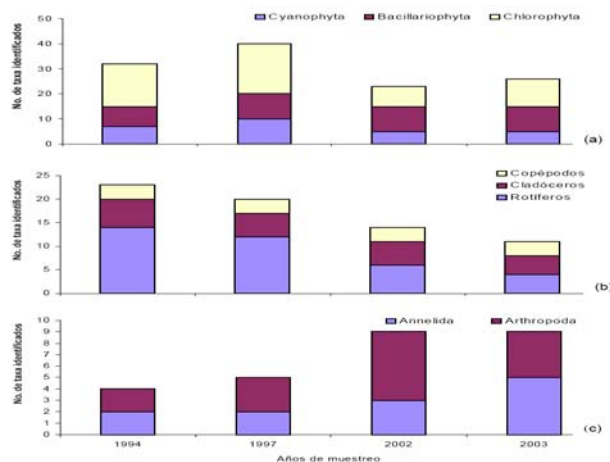


Figura 7. Simplificación Estructural de las Comunidades Biológicas

Chlorophyta y Cyanophyta han experimentado una disminución en taxas identificados mientras que las Bacillariophyta mantienen su aporte en la comunidad de fitoplancton (Fig. 7a).

La evolución en la riqueza de especies es mas evidente todavía en el zooplancton: los copépodos mantienen una contribución constante, los cladocéros un ligero descenso y los rotíferos registran una drástica reducción (Fig. 7b). No así los grupos de macrozoobentos donde los Phylum Annelida y Arthropoda experimentaron un incremento en el tiempo con la riqueza de especies (Fig. 7c).

Se ha notado además un aumento de especies indicadoras de eutroficación en el lago, especialmente en cuanto a la biomasa de Cyanophyta en 2002 y 2003 (ver Figura 6a). Se destaca la presencia dominante de dos especies, *Microcystis aeruginosa* y *Cylindrospermopsis raciborskii*.

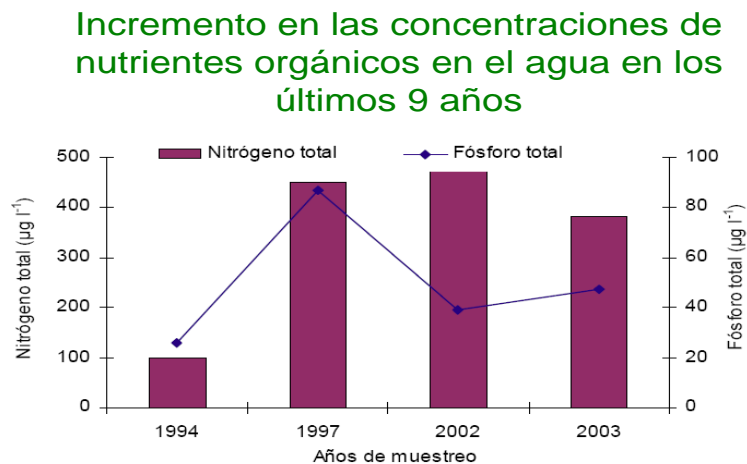


Figura 8. Nutrientes Orgánicos en el Agua del Lago Cocibolca

Es muy importante analizar paralelamente a los cambios en las comunidades, la presencia de los nutrientes orgánicos, ya que su aumento es específicamente responsable en el proceso de eutrofización. El desarrollo en las concentraciones de nutrientes orgánicos de fósforo total y nitrógeno total no muestra una tendencia de incremento contundente, aunque se observa un aumento en nitrógeno total de 1994 hasta 2003 en un factor de cuatro y, por fósforo total en

un factor de 2,5. La falta de información debido a la ausencia de oportunidades para organizar un monitoreo rutinario de la calidad del agua del Lago Cocibolca, dificulta seguir más en detalle el desarrollo de la presencia de nutrientes en los años anteriores y posteriores a 1994, para seguir el ciclo de estos nutrientes a través de medidas mensuales anuales.

La determinación del estado trófico también se basa idealmente en información de estudios de muchos años. Sin embargo, se aplicó la información disponible del estudio de 2002 y 2003 (anteriormente señalado) basándonos en los dos puntos en el centro del lago mediante la aplicación del "Índice del Estado Trófico de Carlson"(1977), que ha sido diseñado para lagos del hemisferio norte, ubicando al lago en un estado eutrófico de elevada productividad. Hooker et al, 2001 determinaron la misma categoría trófica. Aplicando la misma información con los criterios del Programa Regional, CEPIS/HPE/OPS (Salas y Martino, 2001), donde se concluye que para el año 2002-2003 se ubica el lago en un estado hipereutrófico (74%), según contenido de clorofila-a ($0,042\text{mg.l}^{-1}$) y, en un estado mesotrófico (64%), según contenido de fósforo total ($0,047\text{mg.l}^{-1}$) basándose en la distribución de probabilidades de categorías tróficas para lagos cálidos tropicales. Flores (2005), reportó un rango de $0,044\text{ mg.l}^{-1}$ a $0,066\text{ mg.l}^{-1}$ para la estación seca y $0,034\text{ mg.l}^{-1}$ a $0,049\text{ mg.l}^{-1}$ en la salida del Lago al Río San Juan para fósforo total respectivamente. El promedio de fósforo total ($0,047\text{ mg.l}^{-1}$) registrada en la salida del lago se clasifica como estado mesotrófico (Salas y Martino, 2001).

Fuentes que aportan al proceso de eutrofización del Lago Cocibolca de su Cuenca

Fuentes Difusas

Es conocido que los factores naturales como: las características geológicas, tipo de suelo y clima predominante de la cuenca, establecen un potencial regional que puede afectar la calidad del agua del lago; sin embargo, en la mayoría de los casos, las actividades antropogénicas en la cuenca, en especial los cambios en el uso del suelo pueden activar una aceleración de la eutrofización, o sea un aumento en la exportación de nutrientes desde la cuenca como fuente difusa (Ryding, 1989).

Geología de la Cuenca

La geología de la cuenca del Lago Cocibolca (ver Figura 9) muestra una distribución de dominancia de productos secundarios de meteorización de las rocas volcánicas en 53,6%, seguido por roca volcánica en 30,7% y 15,1% de sedimentario marino.

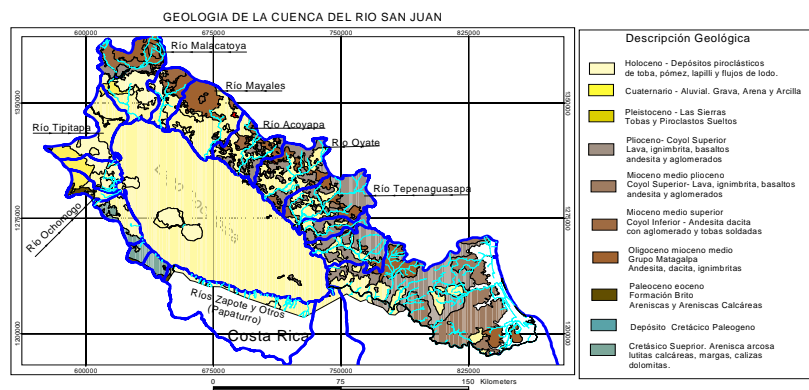


Figura 9. Geología de la Cuenca

Tipo de Suelo de la Cuenca

Existe una gran variedad de grupos taxonómicos del suelo en la cuenca (ver Figura 10). Los grupos Vertisoles y Molisoles predominan en la cuenca. En menor grado están presentes los Entisoles, Alfisoles, Inceptisoles y Histosoles. Los Vertisoles son suelos llamados “arcillas que se expanden” con la humedad y con bajo contenido de materia orgánica, al contrario los Molisoles son suelos fértiles con alto contenido en materia orgánica característicos de suelos dedicados para pasto. Se diferencian de otros suelos similares por su contenido de fósforo. Los Alfisoles e Inceptisoles se caracterizan por ser suelos afectados por procesos de erosión y, los Entisoles son los suelos que quedan después de la deforestación y los procesos erosivos que siguen.

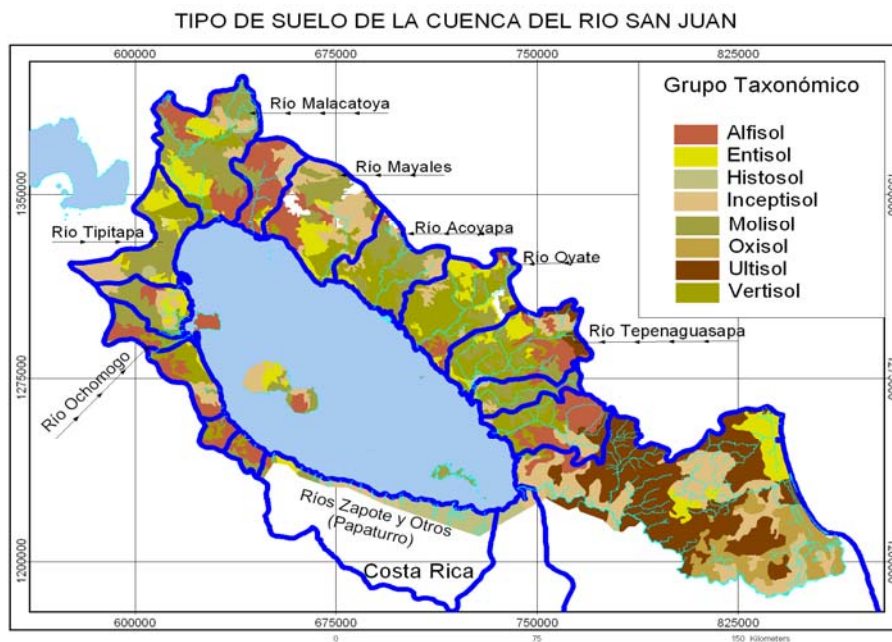


Figura 10. Tipos de Suelos de la Cuenca

Precipitación en la Cuenca

La cuenca está caracterizada por la dominancia de precipitación (ver Figura 11) en más de 1 200 mm al año. Sin embargo, existen zonas semiáridas como en la subcuenca del Río Malacatoya, Río Mayales y Río Ochozogo. Además se encuentran zonas de fuertes precipitaciones (1 800-2 000 mm anual) río arriba en los Tributarios Tepeguasapa y Oyate y en toda la zona del Río Papaturo. Es muy importante hacer notar que la cuenca posee un ciclo estacional tropical que juega un papel importante en la exportación de nutrientes desde la cuenca, por ser el período donde más materiales como productos de la erosión entran desde la cuenca del lago y, esto está especialmente marcado cuando entran las primeras lluvias del año. (Flores, 2005).

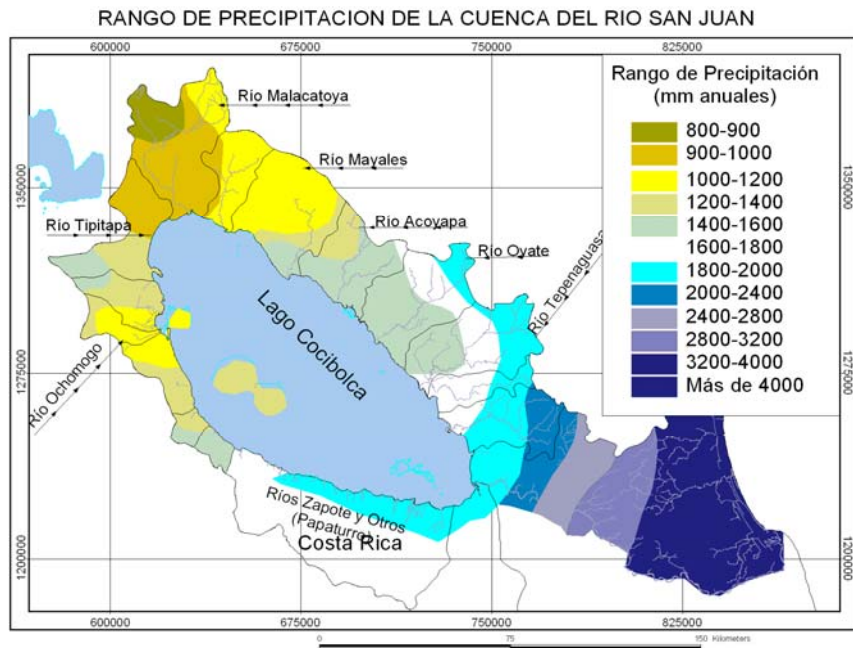


Figura 11. Precipitación en la Cuenca

Las concentraciones de nutrientes en el Lago Cocibolca también están en dependencia del nivel del lago, el cual responde al ciclo de precipitación y que afecta el volumen de agua en el lago (ver Figura 12, Niveles del Lago y Figura 4, Precipitación).

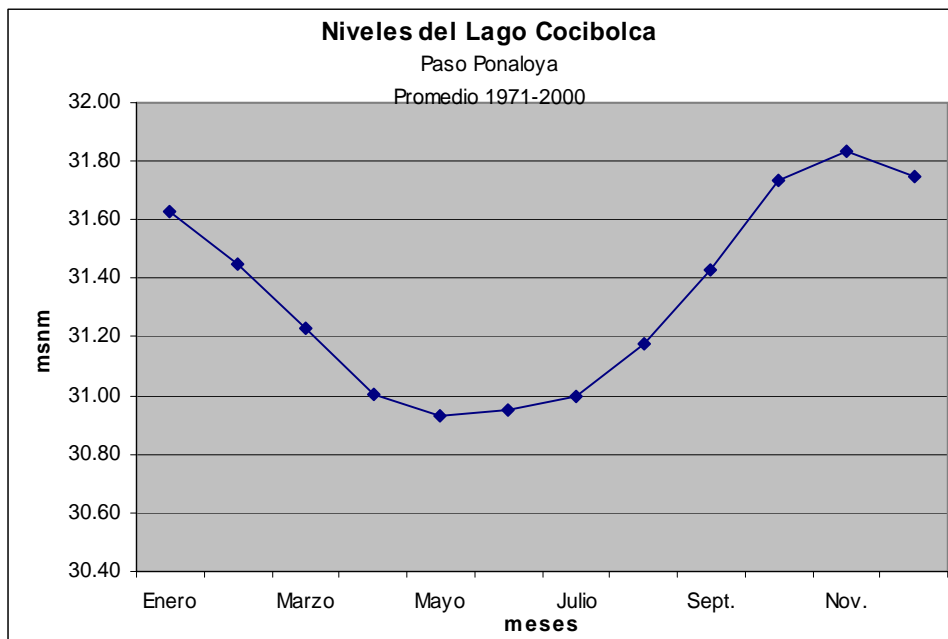


Figura 12. Niveles del Lago Cocibolca

Las actividades antropogénicas de la cuenca del Lago Cocibolca han sido determinadas por cambios drásticos en el uso del suelo en las últimas décadas. Es sencillo notar las grandes modificaciones al comparar los mapas de cobertura forestal de 1980 con el de 2000 en Nicaragua (ver Figura 13).

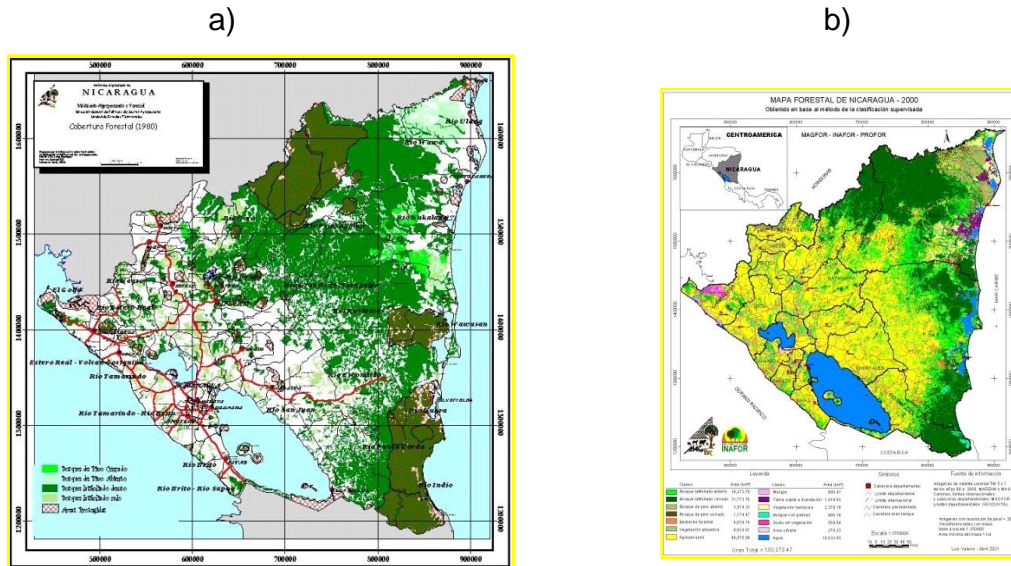


Figura 13. Cobertura Forestal a) 1980 y b) 2000

El uso del suelo en la cuenca, como se ilustra en la Figura 14, está dominado en su mayoría por pasto destinado a la ganadería, seguido por cultivos agrícolas más predominante en las subcuencas de la vertiente oeste.

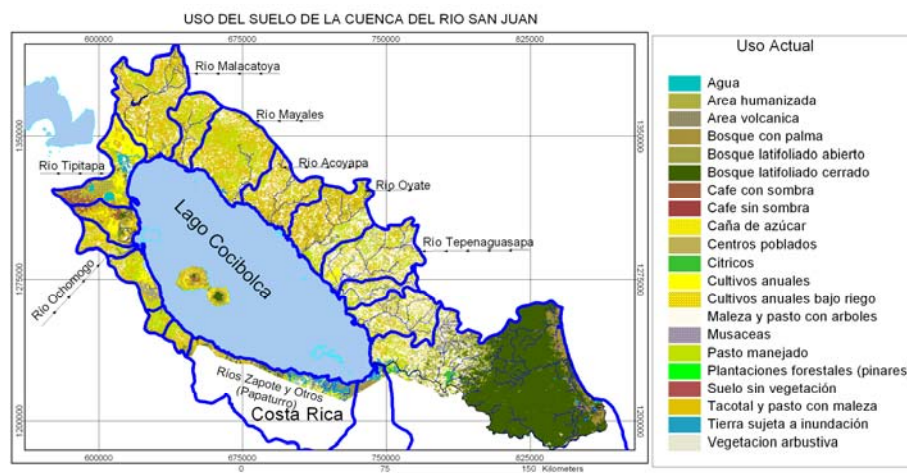


Figura 14. Uso del Suelo en la Cuenca

Es importante mencionar que existen 207 km² de humedales en la zona costera del Lago (ubicados en San Miguelito y el refugio de vida silvestre de los Guatuzos), que es casi el 1% del área de la cuenca.

Fuentes Puntuales

La información que se obtuvo de las mediciones de la carga instantánea de nutrientes en 6 tributarios del lago, específicamente la mediana de la carga instantánea de nutrientes (ver Tabla 3), demuestra que los tributarios Oyate y Tepenaguasapa de la vertiente Este son los mayores contribuyentes de nutrientes con respecto a cargas instantáneas observadas. Las cargas máximas instantáneas (ver Tabla 4) demuestran que el mayor aporte anual de nutrientes resulta ser en los primeros meses de la estación lluviosa (Junio y Julio).

Es importante mencionar que es necesario tener información de la carga total diaria y de un monitoreo mas sistemático, antes de llegar a conclusiones finales

Tabla 3. Cargas Máximas Instantáneas Observadas por Subcuencas

Vertiente	Tributarios	Longitud del Río (km)	Área de drenaje (km²)	Población	Cargas de Fósforo Total (ton .a⁻¹)	Cargas de Nitrógeno Total (ton .a⁻¹)
Este	Malacatoya	122	1528	133 993	9	29
	Mayales	80	1363	56 844	2	2
	Acoyapa	45	900	17 777	1	2
	Oyate	70	1220	16 893	41	123
	Tepenaguasapa	62	1214	11 589	110	345
Oeste	Ochomogo	25	270	28 802	2	4
Total					165	505

Tabla 4. Cargas Máximas Instantáneas de Nutrientes

Vertiente	Tributarios	Carga Máxima de Fósforo Total (ton.a ⁻¹)	Carga Máxima de Nitrógeno Total (ton.a ⁻¹)
Este	Malacatoya	29 Junio	350 Julio
	Mayales	42 Julio	677 Julio
	Acoyapa	148 Julio	344 Julio
	Oyate	92 Julio	1154 Julio
	Tepenaguasapa	603 Julio	6001 Julio
Oeste	Ochomogo	10 Junio	56 Julio

Existen 30 municipios (asentamientos urbanos y rurales) que descargan aguas residuales crudas o deficientemente tratadas. La densidad de la población es 46 habitantes / km². Los centros urbanos y municipios críticos en la cuenca del lago son: San Miquelito, San Jorge, Granada, Juigalpa y San Carlos.

Por ejemplo, el centro urbano más grande de la cuenca, Granada, tiene un sistema de arroyos que sirven como los primeros puntos de diseminación de desechos sólidos domiciliarios e industriales, además de desechos líquidos industriales y domésticos que luego llegan directamente al Lago. En un estudio particular del año 1995 (CIRA, 1996) de la zona costera hasta 900 m en el lago se encontró concentraciones de fósforo total hasta en un promedio de 0,123 mg.l⁻¹ en muestreos de verano.

Desde dos años existe otra fuente puntual importante de contaminación directamente en el lago en la costa de la Isla de Ometepe que es el cultivo de Tilapia en jaulas flotantes.

Discusión

Vollenweider et al 1974 consideran que los mejores indicadores de la condición trófica de un lago son: la biomasa del fitoplancton y su composición junto con la presencia de ciertas especies. Ha sido demostrado en una comparación de información de estudios del Lago Cocibolca desde el año 1994 que la biomasa total de fitoplancton específicamente Bacillariophyta y Cyanophyta ha

aumentado. Además, las Cyanophyta están dominadas por la abundancia de dos especies (*Microcystis aeruginosa* y *Cylindrospermopsis raciborskii*). La alta biomasa de Cyanophyta es debido a la contribución de la especie filamentosa, *Cylindrospermopsis raciborskii* en un 48%. Esta especie se establece como una población permanente en regiones tropicales y su ocurrencia en regiones templadas está limitada a los períodos cálidos. La dominancia de algas verde-azules filamentosa está asociada a condiciones eutróficas (Berger, 1975; Schindler, 1975; Sas, 1989). Su abundancia en los lagos es evidencia de la simplificación de la estructura comunitaria del fitoplancton y desde luego a la escaso pastoreo por parte del zooplancton herbívoro y se ha observado específicamente en lagos someros afectados por enriquecimiento de nutrientes (Scheffer, 1998). *Microcystis aeruginosa* no contribuye mucho a la biomasa peso-húmedo debido a su pequeño volumen celular pero se destacan en abundancia numérica (86,9%). Es importante recalcar que la presencia de estas dos especies de algas verde-azules podría causar problemas de salud pública a la población en su cuenca ya que son potencialmente tóxicas.

La simplificación estructural demostrada por una disminución en el tiempo del número de especies identificado en las comunidades del fitoplancton y zooplancton es una consecuencia del avance de la degradación ambiental del lago.

La clasificación del estado trófico del lago presenta limitación por la falta de información basada en un monitoreo mensual de la presencia de los nutrientes en el ciclo anual, ya que el volumen de agua cambia en dependencia a la estación climática (ver Figura 12, cambio en niveles del lago). Tampoco ha sido posible identificar con más claridad el nutriente limitante en el lago por falta de la misma falta de información.

Las condiciones naturales de la cuenca forman la base sobre la cual se desarrollan las actividades antropogénicas. La geología, los tipos taxonómicos del suelo y la precipitación cíclica en la cuenca (ver Figura 9, 10 y 11), todos apuntan a condiciones vulnerables que aceleran los procesos de erosión que luego causan sedimentación en los ríos tributarios y escurrimiento difuso desde la cuenca. Se ha observado en los Grandes Lagos de Estados Unidos y Canadá que el mayor escurrimiento superficial, los nutrientes y sedimentos asociados a

la carga de entrada a los Lagos se correlacionaron específicamente con suelos de tipo arcilloso (Ryding, 1989). El fosfato en forma de apatita se origina en la roca ígnea en un rango de 0,07 hasta 0,13 %; la roca volcánica tiene concentraciones intermedias y la roca sedimentaria las más altas (Goltermann, 1973). Se sabe que la cantidad de agua y nutrientes que entra al cuerpo de agua es más grande con mayor precipitación en el ciclo anual. Sin embargo, el transporte de sedimentos y los nutrientes asociados no siempre continúa aumentando indefinidamente con un aumento de lluvia en el año (Ryding, 1989). Se presenta un fenómeno similar en el Lago Cocibolca, ya que la máxima carga de nutrientes de los 6 tributarios se observa en los primeros meses de lluvia en junio y julio (ver Figura 4 y Tabla 4).

El uso de suelo afecta en mayor grado los procesos de erosión dejando los suelos expuestos a la acción de las lluvias. En el caso de la cuenca del Lago Cocibolca se ha observado cambios drásticos en la cobertura forestal (Figura 13) en Nicaragua y la transformación de la cuenca a zonas de pasto para ganadería (Figura 14). La información de las cargas instantáneas observadas por subcuenca (ver Tabla 3) presenta un buen ejemplo de como interactúan los factores naturales y las condiciones de uso del suelo con respecto a los aportes de nutrientes al lago. Los tributarios Tepenaguasapa (fósforo: 110 ton.a⁻¹ y nitrógeno: 345 ton.a⁻¹) y Oyate (fósforo 41 ton.a⁻¹ y nitrógeno 123 ton.a⁻¹) aportan las cargas de nutrientes mas grandes al Lago, equivalente a un 92% del total transportado por los 6 ríos estudiados. Además, la carga máxima de estos dos tributarios se observa en los primeros meses de lluvia, junio y julio (ver Tabla 4). Las dos subcuencas están ubicadas en zonas de alta precipitación río arriba entre 1 800-2 000 mm anual (ver Figura 11). El uso de suelo está dominado por pastos manejados especialmente en el caso de la subcuenca del Tepenaguasapa. Estos pastos se siembran, lo que significa que estos suelos están más expuestos a la erosión y, por lo tanto, contribuyen al aumento de nutrientes debido al escurrimiento difuso sobre el suelo, así como también debido a la presencia de ganado en el área. Se ha observado además un aumento en el despale masivo en las riberas del río Tepenaguasapa (CIRA y Fundación del Río, 2002).

El cultivo de Tilapia en jaulas flotantes ubicadas directamente en el Lago Cocibolca, es una fuente preocupante de aporte de nutrientes que depende desde luego de la densidad de estos peces. Un estudio realizado por (Enell, 1984) indica que por cada tonelada de peces producida hay un aporte de fósforo de 85-90 kg y 12 kg de nitrógeno. Hay planes de expansión de este cultivo que podría estimular el deterioro en el centro del lago.

La aceleración del proceso de eutrofización observada en este estudio coincide con resultados de Slate et al (2002) en que concluyen que la composición de diatomeas en un "core o núcleo" de sedimentos (tomado del lago Cocibolca en 1997) de 5 700 años indica un evento antiguo de eutrofización seguido por un aumento reciente del proceso. Un incremento en la susceptibilidad magnética en el perfil de sedimentos sugiere que la deforestación ha acompañado la aceleración reciente en la eutrofización.

Existen eventos preocupantes que indican un estado de deterioro del Lago Cocibolca, como son la masiva muerte de peces; el ultimo ocurrió en Septiembre de 2004 en la Isla de Ometepe. Estos eventos están propiciados por un comportamiento meteorológico, en particular por la ausencia de viento que causó el establecimiento de estratos anóxicos profundos en el lago en esta zona.

Conclusiones

El deterioro del Lago Cocibolca por la aceleración de un proceso de eutrofización ha sido principalmente causado por actividades en su cuenca, las cuales han propiciado un aumento en la sedimentación y en el aporte de nutrientes; esto ha puesto en peligro los planes para el aprovechamiento del lago como reserva natural de agua potable.

Es urgente establecer un plan estratégico de acción en la cuenca. Como conclusión de los estudios de investigación se ha identificado las siguientes metas principales que deben formar parte de este plan:

- Controlar la sedimentación antropogénica desde la Cuenca.
- Reducir la contaminación sanitaria y tóxica.
- Reducir el aporte de nutrientes hacia el lago.

- Hacer efectiva las prioridades de uso contenidas en la Ley de Aguas de Nicaragua.
- Establecer una planificación y ordenamiento en el uso del suelo en todas las subcuencas del lago.

Como instancia de investigación, el Centro para la Investigación de Recursos Acuáticos de Nicaragua (CIRA/UNAN), ha priorizado proyectos en las subcuencas del lago en coordinación con los municipios y organizaciones de la cuenca para producir mas información sobre los recursos hídricos en cada zona, concentrándose en la contaminación difusa y puntual. El objetivo es apoyar las autoridades para concretizar planes específicos en los municipios de la cuenca del lago Cocibolca, que permita mejorar el uso del suelo en la cuenca y dirigido a evitar la sedimentación y contaminación puntual en estos municipios.

Es importante aprovechar la nueva Ley de Aguas de Nicaragua para introducir medidas de protección del lago. Finalmente, es urgente establecer un monitoreo rutinario en el lago para poder establecer un plan de manejo y evitar la continuación de la eutroficación del Lago Cocibolca.

Reconocimientos

Se agradece especialmente al director del Centro para la Investigación de Recursos Acuáticos de Nicaragua, Salvador Montenegro Guillén, no solamente por promover la investigación en el Lago Cocibolca sino por su beligerancia en proteger este cuerpo de agua tan importante para el desarrollo de Nicaragua. Se quiere reconocer el gran apoyo en la elaboración de este documento a Jorge Pitty Tercero, Yelba Flores Meza y Thelma Salvatierra Suárez.

Referencias

- Ahlgren, I., C.Chacon, R.García, I.Mairena, K.Rivas & A.Zelaya, 1997. Sediment microbial activity in temperate and tropical lakes, a comparison between Swedish and Nicaraguan lakes. *Verh.Internat.Verein.Limnol.* 26: 429-434.
- APHA , 1999: American Public Health Association. Standard methods for the examination of water and wastewater: 20th ed. Washington.

- Berger, C., 1975. Occurrence of *Oscillatoria agardhii* Gom. in some shallow eutrophic lakes. Verh. Internat. Verein. Limnol. 19: 2689-2697.
- Campos, M., & Oscar Lucke, 1998. Oferta del Agua en Centroamérica. Agua y Clima Newsletter. Comité Regional de Recursos Hidráulicos. (www.aguayclima.com).
- Carlson, R.E. 1977. A trophic state index for lakes. Limnol. Oceanogr. 23: 361-369.
- CIRA. Informe Interno, 1994.
- CIRA, Informe Interno, 1997.
- CIRA y Fundación del Río. 2002. Diagnóstico Preliminar del Estado Actual de la subcuenca del Lago Cocibolca: Río Tepeguasapa.
- CIRA, Fondo Canadá-Nicaragua para el Manejo del Medio Ambiente & Alcaldía Municipal de Granada, 1996. Informe Final, Proyecto Generación de las Bases Científico-Técnicas y Sociales para la Formulación de un Plan de Saneamiento de Granada y su Área de Influencia.
- CIRA, Informe Final, 2004, "Estudios Básicos Monitoreo Hidrometeorológico y de la Calidad del Agua en la Cuenca del Río San Juan" del Proyecto "Formulación de un Plan Estratégico de Acción para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos y el Desarrollo Sostenible de la Cuenca del Río San Juan y su Zona Costera" del PROCUENCA-SANJUAN.
- Enell, M. 1984. Environmental impact of cage fish farming. Nordisk Fordbrugsforstares Forening (NJF) NJF Utredning Report No. 38.
- Flores, S. 2005, "Flujo de Macronutrientes (fósforo y nitrógeno) del Subsistema Hidrológico Lago Cocibolca: Estimación de Carga Superficial en Relación al Uso del Suelo". Tesis: Maestría en Gestión del Medio ambiente y Recursos Naturales. Nicaragua.
- Golterman, H.L. 1973. Natural phosphate sources in relation to phosphate budgets: A contribution to the understanding of eutrophication. Water Res. 7: 3-17.
- Hooker, E., N. Chow-Wong, K. Rivas, R. Erikson, I. Ahlgren & G. Ahlgren, 2001. Primary production and estimation of potential fish yield in Lake Cocibolca, Nicaragua. Verh. Internat. Verein. Limnol. 27: 3589-3594.
- Montenegro Guillén, S., 2003. Lake Cocibolca/Nicaragua. In Lakenet (ed.) World

Lake Basin Management Initiative.

North American Lake Management Society & Terrene Institute, 2001. Managing Lakes and Reservoirs. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.

Payne, A.I. 1986. The Ecology of Tropical Lakes and Rivers. John Wiley & Sons, Chichester.

Rodier, J. 1981. Análisis de las aguas. Ediciones Omega, S.A. Barcelona.

Ryding, S.-O. & W. Rast, 1989. Control of Eutrophication of Lakes and Reservoirs, Vol. I: Man and the Biosphere Series, The Parthenon Publishing Group, Paris.

Salas H. & P. Martino, 2001. Metodologías Simplificadas para la Evaluación de Eutroficación en Lagos Cálidos Tropicales. Programa Regional CEPIS/HPE/OPS. 60pp.

Sas, H. (ed.) 1989. Lake restoration by reduction of nutrient loading: expectations, experience, extrapolations. Academi Verlag Richarz, St. Augustin.

Scheffer, Martin, 1998. Ecology of Shallow Lakes, Chapman & Hall, London.

Schindler, D.W., 1975. Whole-lake eutrophication experiments with phosphorus nitrogen and carbon. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 19: 3221-3231.

Slate, J.E., E.F. Stoermer, G.R. Urquhart & T. Moore, 2002. Environmental Change in Lake Nicaragua for the Past 5700 Years: 8th International Paleolimnology Symposium, Kingston, Canada.

Talling, J.F., R.B. Wood, M.V. Prosser, & R.M. Baxter, 1973. The upper limit of photosynthetic productivity by phytoplankton; evidence from Ethiopian soda lakes. *Freshwat. Biol.*, 3: 57-76.

Tundisi, J.G., B.R. Forsberg, A.M. Devol, T.M. Zares, T.M. Tundisi, A. Dos Santos, J.S. Zibeiro, & E.R. Ardí, 1984. Mixing patterns in Amazon lakes. *Hidrobiología*, 108: 3-15.

Viner, A.B. & I.R. Smith, Geographical, historical and physical aspects of Lake George. *Proc. R. Soc. Lond.*, B184:235-270.

Vollenweider, R.A., M. Munawar & P. Stadelmann. 1974. A comparative review of phytoplankton and primary production in the Laurentian Great Lakes. *J. Fish. Res. Board Can.* 31: 739-762.

Eutrofização na América do Sul:

causas, consequências e tecnologias
para gerenciamento e controle

Eutrofización en Sudamérica:

*causas, consecuencias y tecnologías
para manejo y control*

Eutrophication in South America:

*causes, consequences and technologies
for management and control*



EDITORES

José Galizia Tundisi

Takako Matsumura Tundisi

Corina Sidagis Galli