

# LAGO DE TOTA

A la memoria del Profesor: Richard A . Vollenweider (1922 – 2007)  
Canada Centre for Inland Waters



Organización Panamericana de la Salud  
Organización Mundial de la Salud.

COL – 2302 Protección de los Recursos  
Hídricos de la Sabana de Bogotá.

Preparó: Biol. Javier A. Molina A . Sep. 2013  
Investigador Lago de Tota  
Colombia - Pontificia Universidad Javeriana  
Apoyo Fisicobiótico Ambiental





# PROFESOR VOLLENWEIDER

Richard Albert Vollenweider (June 22, 1922 in Zurich Switzerland – January 20, 2007 in Burlington Ontario, Canada) Limnólogo notable

Richard Vollenweider escribió varios trabajos académicos ampliamente citados sobre la gestión de eutrofización en lagos. Su trabajo pionero incluye un informe técnico de 1968, que relaciona los aportes de fósforo total de clorofila a concentraciones (una medida aproximada de la intensidad común floración de algas). Proporcionó las bases para predecir los efectos ambientales esperados en la profundidad Secchi y el bloom de algas en la reducción de fósforo, en vertimientos finales de las PTAR. Consultor importante en la restauración de varios lagos eutrofizados, como los Grandes Lagos de América del Norte. Fue galardonado con el Premio Ambiental Tyler (1986), el Naumann-Thiennemann por SIL (1987), el Global 500 Roll of Honor por el PNUMA (1988) y el Premio Internacional de Cervia como consejero en la eutrofización en el Mar Adriático (Italia).



# Expediciones Tota



- ❑ **Comisión Corográfica: Teniente coronel Agostino Codazzi y Manuel Ponce de León 1850 y 1859.**
- ❑ **Estudio geológico: Emil Groose. Primer mapa de contornos del Lago. Primer sistema de riego en tierras usando el agua del Lago . Sector del Boqueron de Cuítiva. 1928**
  
- ❑ **Inicio de la piscicultura 1939**
- ❑ **Primer estudio hidrológico realizado por la firma R.J. Tipton, contrato celebrado con la empresa Siderurgica Nacional de Paz de Río. 1952**
- ❑ **Construcción de la central hidroeléctrica de Cuítiva, Ley 84 de 1968.**
- ❑ **Primer estudio integral de la cuenca hidrológica del lago de Tota, 1971 - 1975- INDERENA.**
- ❑ **Estudio Integral Cuenca Lago de Tota. Hidroestudios, 1978. CAR.**
  
- ❑ **Informe Lago de Tota. Consultor Prof. Richard A. Vollenweider. Canadá Centre for Inland Waters. OPS/OMS/ COL-2302. CAR Bogotá. 1983.**
- ❑ **Incidencia de la precipitación, eutroficación y calidad bacteriológica en la composición planctónica del Lago de Tota. II Expedición Botánica, Himat, Colciencias – CAR. Ponentes: Molina ,J.A., Ruiz, J.E. 1984.**
- ❑ **Estudio Lago de Tota realizado por la Armada nacional de Colombia. 1998.**



# Histórico Asesores Lago de Tota

- ❖ Richard A Wollenweider – Canada Centre for Inland Waters . A . Limnología
- ✓ Walter Chad - Institute Museum Smithsonian – USA . A. Microcrustácea
- ✓ Janet W. Reid – Institute Museum Smithsonian – USA. A. Microcrustácea
- ✓ Manuel M. Fukushima U. Nal de Trujillo – Perú. A. Algas continentales
- ✓ Javier A. Molina A. Pontificia U. Javeriana – Colombia. A. Limnología
- ✓ José Iván Mojica C. Pontificia U. Javeriana – Colombia. A. Ictiología
- ✓ Gabriel E. Saavedra S. Pontificia U. Javeriana – Colombia. A. Zooplancton
- ✓ Santiago Duque Escobar. U. Nacional de Colombia. A. Fitoplancton
- ✓ José Efraín Ruiz S. U. de los Andes – Colombia. A. Físico químico
- ✓ Santiago Gaviria. U. de los Andes – Colombia. A. Microcrustácea
- ✓ Gabriel Guillot. U. Nacional de Colombia. A. Ictiofauna Lago de Tota
- ✓ Andrés Boltovskoy. Inst. de Limnología Raúl Ringuelet – Argentina
- ✓ Peter Coesel. Instituto Hugo de Vries. Austria. A. Desmidiáceae
- ✓ Felipe Andrés Velasco. Director Fundación Montecito - Colombia



# PROGRAMA Y CONTACTOS

**PATROCINIO: OPS - ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD**

**CONTACTOS: Noviembre de 1983 - Lago de Tota , Aquitania**

**Henryk Weitzenfeld, consultor de la OPS en Colombia**

**Diego Pardo Koppel, director de la CAR**

**Germán Ordoñez, jefe División Lago de Tota, CAR**

**Jorge Morales, jefe Estación Piscícola Lago de Tota, CAR**

**Edgar Caicedo, jefe de Ingeniería Ambiental, CAR**

**Javier A . Molina A. Coinvestigador Pontificia U. Javeriana**



# Localización física Cuenca Lago de Tota

La cuenca del Lago de Tota, se localiza en el departamento de Boyacá y hace parte geográficamente de los municipios de Aquitania, Tota y Cuítiva.

Latitud Norte: 5° 25' y 5° 39'

Longitud Este: 72° 54' y 73° 00'

Altura: 3.015 msnm

Superficie: 55 Km<sup>2</sup>

T°C mínima de 0.6 y máxima de 22.5° C

Media mensual: 9.9 °C y 11.7°C

Régimen de lluvias: bimonodal  
(Abril – Mayo) y (Octubre – Noviembre)

Precipitación: 2000 – 600 mm

Períodos secos: (Agosto, Diciembre a Febrero).



# Objetivos de la visita

- Revisar los distintos estudios e información disponible acerca de la calidad del agua del Lago de Tota y los problemas anexos.
- Evaluar en función de la información proporcionada, la relación causa – efecto y evaluar el estado de eutroficación del Lago de Tota.
- Proponer un programa de muestreo y análisis necesarios con el objetivo de comprender mejor las condiciones del Lago de Tota.
- Proponer un programa de control para reducir los problemas encontrados.



# PROBLEMAS

- ✓ Signos de eutroficación progresiva: la forma como crece y se distribuye la elodea (*Anacharis canadensis*) y (*Egeria densa*). Macrófitos formando grandes cinturones en la zona litoral y la zona sublitoral.
- ✓ Afectación sobre el espejo de agua: Serio problema para la pesca, transporte y el turismo.
- ✓ Requerimiento urgente: Estudiar y analizar la magnitud del problema, identificar sus causas y recomendar los medios para su solución.
- ✓ Multiplicidad de usos del agua del Lago: agricultura, industria, agua para consumo humano y producción de trucha en jaulones.
- ✓ Alta productividad del Lago: Tributarios enriquecidos con fertilizantes e irrigación por la expansión agrícola, incremento en la demanda de agua y desarrollo de actividades recreativas.



# Condiciones del Lago

- ❖ El Lago refleja las propiedades climáticas y geoquímicas básicas de su sistema de captación. Lago de origen glaciar – tectónico.
- ❖ Es un Lago oligotrófico. Baja variación de la temperatura alrededor de 15°C, alta transparencia Secchi entre 10 y 12 metros. Mezcla profunda de masas de agua favorecido por fuertes vientos, baja productividad de fitoplancton, pero una alta productividad de zooplancton ( *Boeckella gracilis* y *Metacyclops leptopus totaensis*).
- ❖ Desarrollo de macrófitas en las zonas de pendiente de litoral bajo. (Con posibilidad de cosechar para recuperar nutrientes).
- ❖ El desarrollo potencial de los macrófitos coincide con las áreas adyacentes donde se ha incrementado la agricultura extensiva, aunque esto solo no constituye pruebas para una relación causa efecto.



# Causas del problema de la Eutroficación

El problema de los macrófitos en el Lago es una manifestación inmediata de una eutroficación progresiva del Lago , es un serio problema en su zona litoral, en que podrá verse afectada la totalidad del espejo de agua del Lago.

**Panorama:** El uso de fertilizantes en las tierras bajas litorales al Lago se considera excesivo ( cp. Los cultivadores de cebolla aplica entre 28 y 30 toneladas de gallinaza por hectárea productiva/ ha). Por lo tanto la aplicación de fósforo y nitrógeno llega a 280 y 560 kilogramos respectivamente.

**Supuesto:** Tomando como el 1% del fósforo aplicado y el 5% de nitrógeno arrastrado , entonces el aporte de nutrientes se estimará en 1.000 ha de tierra cultivable llegará a unos 2.800 kg/año de fósforo y 28.000 kg de nitrógeno al Lago.

Con un promedio de aportes de agua de 0.4 m<sup>3</sup>/año la concentración respectiva de afluentes será 0.7 g P/m<sup>3</sup> y 7 g N/m<sup>3</sup> sin contar con otros afluentes.



# Causas del problema de la Eutroficación

Con este aporte de nutrientes por año es suficiente para hacer crecer un cinturón de macrófitos adyacentes a las tierras bajas cultivables en 2 años.

Así las estimaciones fueran correctas o no, lo que si es cierto, es que el control de los macrófitos a largo plazo solamente se logrará de un programa de control de las fuentes terrestres.

La información existente de la disponibilidad de nitrógeno en el Lago son inconsistentes. Todo parece indicar que fuera el nitrógeno el factor limitante en la vida del Lago. Tema que requiere investigación mas profunda, los estudios en otros lagos del mundo el factor limitante es el fósforo.

Existen muchas dudas del comportamiento limnológico del Lago en aguas abiertas. Los estudios realizados al Lago no son consistentes. Pero como unidad el Lago debe estar determinado en su comportamiento por el fósforo.



# Aparente baja productividad

Todo parece indicar que la cadena alimenticia trofodinámica es deficiente.

La concentración de Calanoidea, microcrustácea, consume rápidamente el fitoplancton, mientras que el zooplancton no son consumidos suficientemente por los peces. Por ello son tan abundantes y perceptibles al ojo humano.

La producción primaria por año será tan alta como 200 a 300 g C/m<sup>2</sup>/año. Lo que pondría al Lago de Tota en condición mesotrófica. Si este estimado fuera correcto coloca al Lago de Tota en una posición de gran sensibilidad ante cualquier intervención externa a su metabolismo natural.

No se conoce con exactitud información confiable sobre los aportes de fósforo al Lago. Esto hace sensible estimar cualquier cálculo la capacidad tolerable o sea la posibilidad de recibir aportes adicionales de fósforo.



# Aparente baja productividad

Vollenweider calcula que los aportes de fósforo es del orden de los 5.000 a 8.000 kg / año estimando la suma de tierras cultivables alrededor del Lago.

Además surge otro interrogante como es la interacción del fósforo con el hierro poco entendido para ecosistemas tropicales. Surge otra pregunta: está el sistema controlado o no por el fosforo y el nitrógeno? Este tema aun sigue sin respuesta.

Lo anterior no es una limitante que influya sobre las recomendaciones generales para reducir la carga de nutrientes que recibe el Lago, por ello es preciso ahondar en futuros estudios:

- a-. La carga máxima de nutrientes permisibles/año
- b. El futuro de la evolución trofodinámica del Lago como un todo.



# Aparente baja productividad

Papel de los macrófitos en el Lago.

Los cinturones de macrófitos pueden arrojar información de 5.000 kg de fósforo y 35.000 kg de nitrógeno, y pueden llegar tan altos como a los 10.000 y 70.000 kg respectivamente. Crecimiento exuberante.

Una gran fracción del cinturón aparentemente se ve sano, pero como hay influencia de los tributarios al Lago las macrofitas están cubiertas de hongos. Ello trae como consecuencia la rotura potencial de las macrófitas. Se disminuye el oxígeno disuelto ante el incremento del CO<sub>2</sub>.

Los macrófitos en la actualidad funcionan como filtros naturales. Pero, la cantidad de nutrientes y descargas de aguas servidas pone en peligro la capacidad de mantener un equilibrio de los macrofitos dentro del Lago.



# Control de los macrófitos

## Acciones:

1. Remoción parcial de los macrófitos en el Lago
2. Reducción de la carga de nutrientes al Lago

## Remoción:

- a. Remoción mecánica: Limitada a ciertas zonas y profundidades
- b. Control químico: Excluido por el peligro que representa al Lago

## Cosechar los macrófitos puede ser transformado en:

1. Compostaje
2. Alimento para cerdos y vacas.



# Reducción de nutrientes

## Etapas:

1. Interceptación de canales altamente enriquecidos en regiones bajas y redistribuir el agua para irrigación.
2. Grandes arroyos, manejo del suelo, reducción y control de fertilizantes.
3. Cambios en la estructura de los cultivos, paralelos y no perpendiculares a las pendientes.
4. Construir zanjas de infiltración. Objeto es reducir la velocidad y escurrimiento de suelos y nutrientes.
5. Revisar la carga contaminante de las quebradas El Tobal, La Mugre y Río Blanco, deberán ser colectadas y tratadas. PTAR.
6. Revisar la totalidad de los pozos sépticos y enseñar a la comunidad a tratarlos para evitar su colmatación y vertimientos contaminantes.
7. Construir un sistema de alcantarillado y tratar aguas con el fin de remover el fósforo y redistribuir el agua como riego controlado.



# Programas de investigación y Vigilancia

- a. Programa de estudio del terreno
- b. Medición del terreno y Programas de Vigilancia
- c. Programa de vigilancia en el Lago
- d. Estudio especial de macrófitas



# Programas de Investigación y vigilancia

## a. Programa de estudio del terreno:

- Fuentes de nutrientes en la cuenca, estimado de la carga potencial.
- Inventario del uso del suelo actualizado. Completado con información mediante censo sobre la calidad y cantidad de fertilizante usados en cada cuenca hidrográfica.
- Censo de producción animal (ganado, cerdos, ovejas, caballos, burros, aves entre otros). Censo de población , tanques sépticos, vertimientos directos a las fuentes de agua.
- Estimado aproximado de excrementos producidos y su disposición final. Sistemas de tratamiento de vertimientos de las nuevas áreas hoteleras.



## b. Mediciones y programas de vigilancia

- Evaluar las fuentes potenciales complementadas con un programa de cuantificación medibles de las descargas llegadas al Lago. Implica un programa de monitoreo , análisis e interpretación a la luz de la normatividad de la resolución 1594 de 1984 y la resolución 3930 que incluye la modelación de las corrientes receptoras, caudal, purificación, autopurificación y características de las corrientes hídricas de importancia que llegan al Lago. Frecuencia de los muestreos, cargas máximas y mínimas.
- Todos los afluentes y descargas menores deberán ser monitoreadas con parámetros de calidad de aguas físico químicos , biológicos y microbiológicos exigidos en los términos de referencia del Ministerio del Ambiente y la resolución 1594 de 1984.
- Las descargas de la ciudad de Aquitania deberán ser estudiadas en intervalos regulares de ciclos de 24 horas. Una vez que el patrón de descarga se haya establecido, la frecuencia y número de muestras puede ser reducido.



# Monitoreos

- a. Mensual: Temperatura, conductividad, pH, oxígeno disuelto, DBO, nitratos, nitritos, amonio, ortofosfatos, hierro, color, sedimentos, descripción megaescala, mesoescala y microescala.
- b. Frecuencia trimestral: Fósforo Total, Nitrógeno Total, hidrobiológico (plancton, perifiton y macroinvertebrados) y microbiológico (Coliformes Totales y Fecales).
- c. Frecuencia semestral: Trazas de metales : Cu, Zn, Al, Cd, Pb , Ni y Hg, mas pesticidas. La clase de pesticida a medir debe estar basados en la información obtenida con los resultados del programa A y datos previos.
- d. Dos veces por año: Los sedimentos del río deben ser analizados incluyendo las características del sedimento, fósforo total, nitrógeno total, trazas de metales y pesticidas.



# c. Programa de Vigilancia en el Lago

➤ 3 estaciones en el Lago principal.

➤ 2 estaciones en el Lago menor.

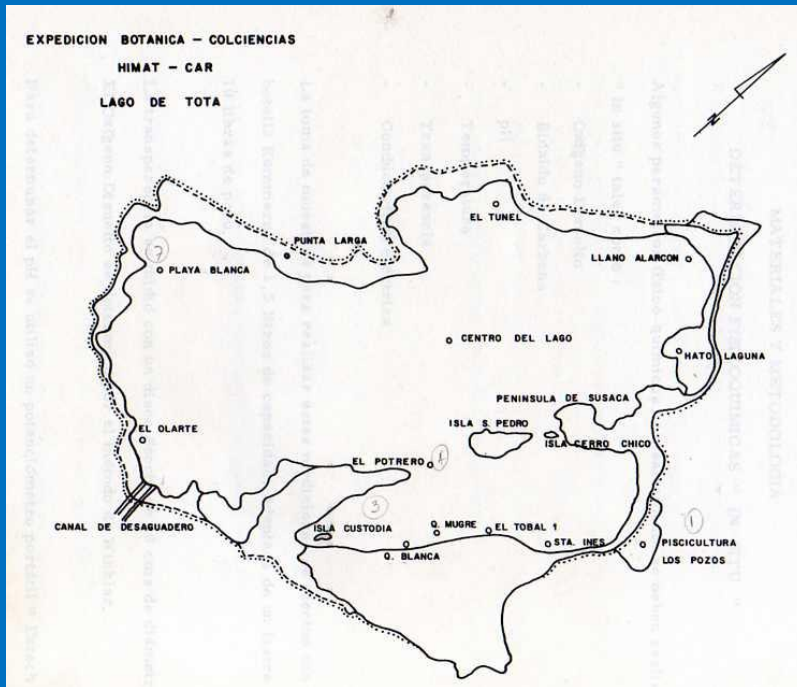
❖ Mensual: Temperatura, CE, pH, Secchi, OD, ortofosfatos, nitratos, amoníaco, Fe, Si, (Desmidiaceae), plancton, clorofilas.

☐ Trimestral: Fósforo total, Nitrógeno Total, Carbono en plancton, nitrógeno y fósforo.

▪ Semestral: Trazas de metales y pesticidas como lo planteado en el monitoreo de aguas.



# II Expedición Botánica - Colciencias HIMAT - CAR



Estaciones de monitoreo limnológico efectuado en el Lago de Tota 1984



# d. Estudio especial de macrófitos

Distribución (mapeo) y densidad (peso húmedo y peso seco).

Evaluación de los macrófitos y cosecha mediante remoción mecánica y control de carpa si se llegare a introducir.

Análisis de la composición química de los macrófitos. Frecuencia: 4 veces año.

Parámetros: Carbono, nitrógeno, fósforo, fibra, proteína, pesticidas y metales trazas con miras a su uso como alimento para animales.

Estudio de la estratificación de los macrófitos teniendo en cuenta los parámetros como: temperatura, OD, nitrógeno total, fósforo total. Otras observaciones deberán incluir la presencia de porifera



# Manejo comprensivo del Lago y la Cuenca para proteger la calidad del agua del Lago de Tota



# Eutroficación

Todo lo anteriormente dicho lo que busca es proteger al Lago de una eventual eutroficación debido al la tensión de cultivos extensivos y la actividad antrópica.

Existen otros factores de tensión que van en detrimento de la calidad del agua sino son controlados en el presente, y el futuro. Su uso principal es la reserva de agua potable para abastecer a mas de un millón de personas que hacen uso del recurso, en la industria y riego.

La eutroficación es la principal amenaza para mantener una calidad del agua deseable, pero también descargas de pesticidas y productos tóxicos, son amenazas que se deben tomar en cuenta seriamente.

La tensión al incremento de viviendas vacacionales y el turismo pone en peligro la calidad de las aguas ante el incremento de aguas servidas. Una amenaza potencial es promover el recurso para la producción industrial de trucha en jaulones.



# Consecuencias potenciales

Un desarrollo de producción de truchas en jaulones podrán mostrar los siguientes hechos:

- a. Un aumento en el contenido de fósforo del Lago cerca de 10 mg P/ m<sup>3</sup>, un aumento en el contenido de nitrógeno debido a las pérdidas por alimentación y excreción de los peces.
- b. Un aumento en la concentración de sustancias orgánicas y un aumento de la contaminación bacteriológica.
- c. Un incremento localizado de algas a causa de altas concentraciones de nutrientes, que podrían convertirse en una amenaza a la calidad del agua de todo el Lago. Incremento de la productividad primaria.
- d. Aumento global del consumo de oxígeno (DBO) en el orden de 0.5 gr O<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>/mes. Se traduce en una amenaza potencial de las reservas de oxígeno en el lago , conduce al desarrollo de amoniaco y H<sub>2</sub>S.
- e. La propuesta de desarrollo pesquero dentro del Lago debe ser rechazado.



# Contradicción

El desarrollo pesquero estaría en directa contradicción con la imposición que se hace a la agricultura de reducir cargas de nutrientes. No es posible imponer tal reducción a un sector social y al mismo tiempo, permitir a otro, incrementar la contaminación.

Uno de los aspectos más críticos en relación a los efectos de permitir el desarrollo pesquero se apoya en el hecho de que el deterioro del Lago de Tota sería relativamente lento. Los efectos son acumulativos e irreversibles, un lago contaminado no tiene reversa debido a que el problema se da con cierto atraso en el tiempo.

Para la década de los 80 una producción estimada en 80.000 truchas año no constituía una amenaza para el Lago. Se estima una densidad de 1 a 2 kg/ha. No altera la calidad del agua como ambiente oligotrófico. Pero una producción de 100 Tn/mes deteriora El Lago.



# Conclusiones

1. La creación de una base de información confiable, ampliación de la logística y ajustar una estructura administrativa .
2. La base de información a largo plazo debe servir al propósito de proveer continuamente información para la toma de decisiones y acciones.
3. Hay acciones que pueden ser tomadas inmediatamente, a corto y mediano plazo.
4. Iniciar inmediatamente un programa de remoción de biomasa de los macrófitos, evaluarla y asegurar una buena disposición (compostajes o alimento para animales).
5. Iniciar un estudio de factibilidad para introducir la carpa como medio biológico, para reducir la biomasa de macrófitos.
6. Poner en marcha el programa de investigación y vigilancia.
7. Contratar un equipo humano competente y suficiente conocimiento del Lago.
8. Autoridad administrativa. Director de investigación con un presupuesto de investigación suficiente para toma de decisiones, adquisiciones y apoyo logístico.



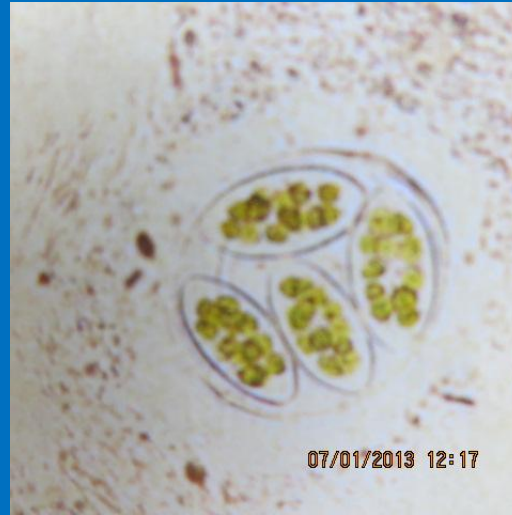
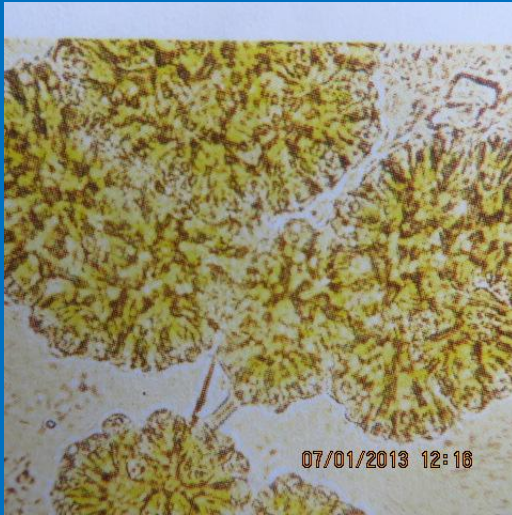
# Conclusiones...

9. Manejo de la cuenca, control de aguas servidas y agricultura. Reducir la carga de nutrientes, pesticidas y tóxicos vertidos directamente al Lago.
  
10. El desarrollo pesquero de truchas en jaulones no debe permitirse. Las consecuencias de un lago deteriorado y contaminado son irreversibles. En la década de los 80 la producción de trucha se estimaba en 24.000 a 30.000 kg/ año, para el 2013 no hay exactitud sobre el tema de producción; se estima en 100 toneladas mes. Según información entregada a la Aunap, Corpoboyacá, Minambiente. La información no es confiable, es necesario verificar la información de producción de trucha en jaulones /mes.
  
11. Se debe proteger las juncaceae que se encuentra en las orillas de amortiguación perimetral del Lago. Actúan como verdaderos filtros biológicos.



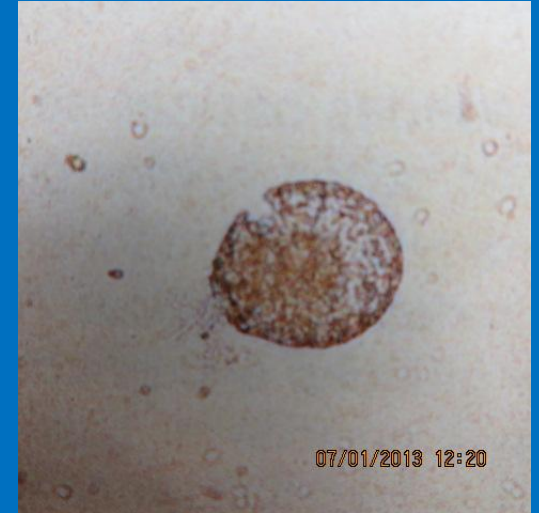
# Plancton Lago de Tota

Fotomicroscopía: Biol. Javier A . Molina A. U.J.



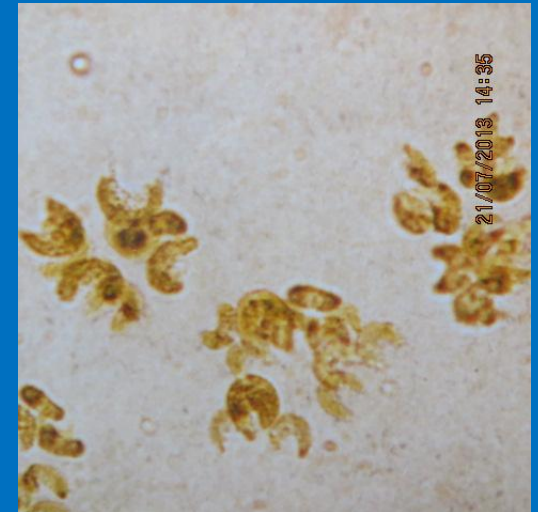
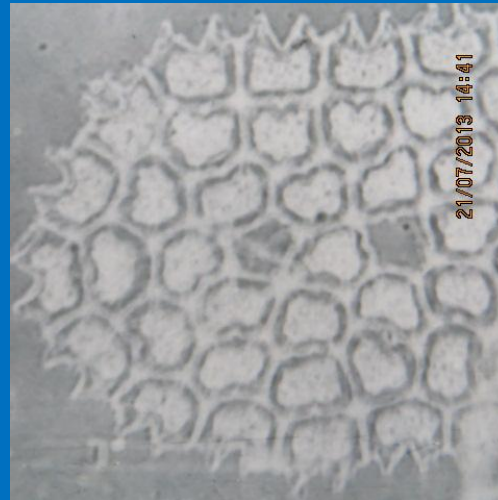
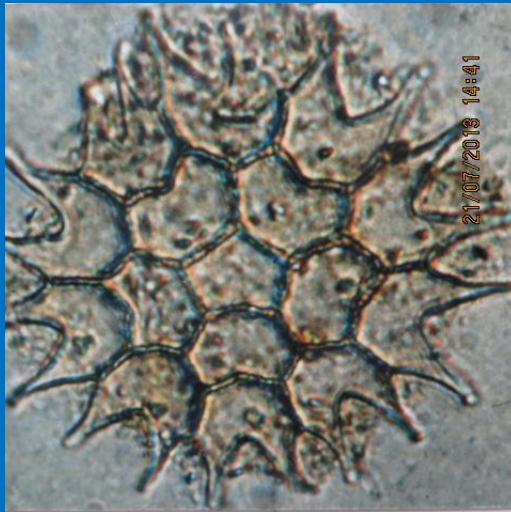
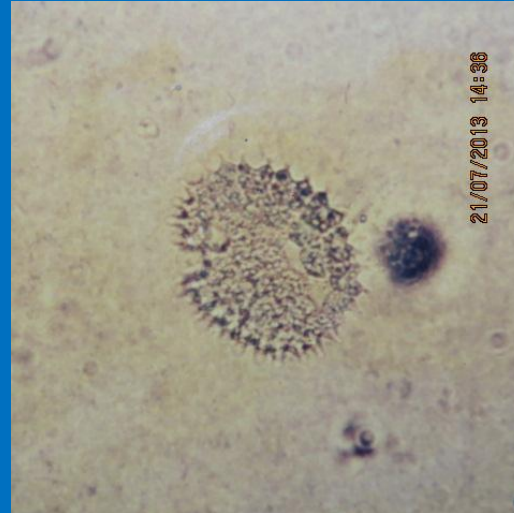
# Plancton Lago de Tota

Fotomicroscopía: Biol. Javier A . Molina A. U.J.



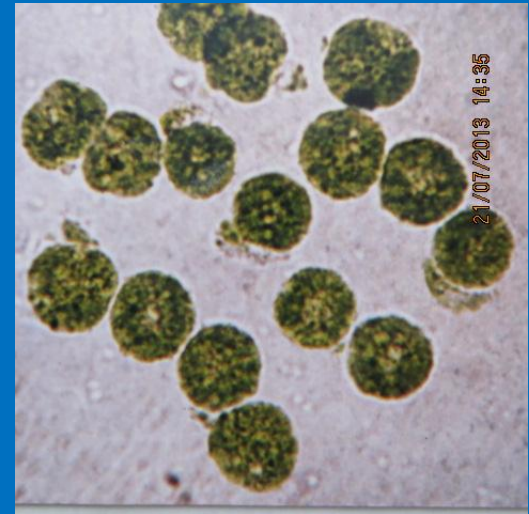
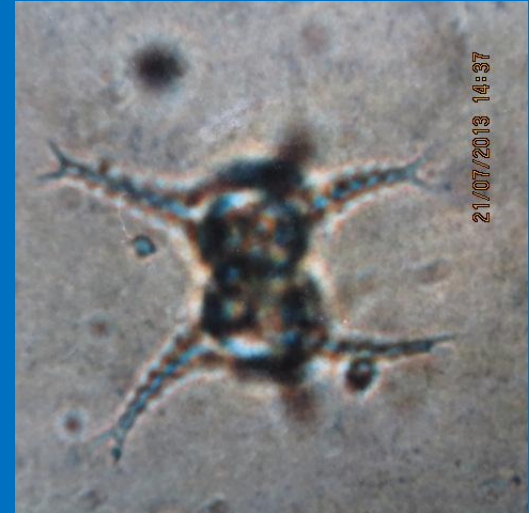
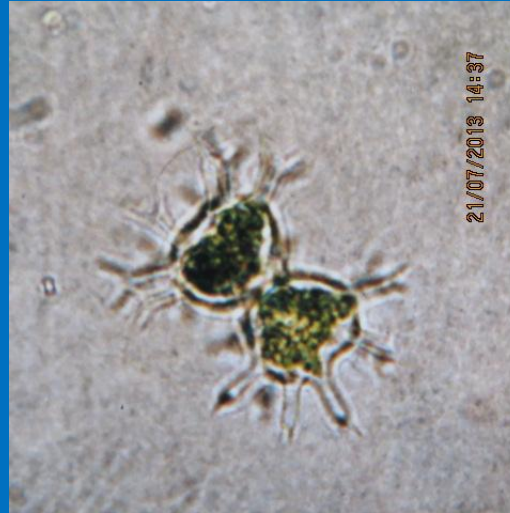
# Plancton Lago de Tota

Fotomicroscopía: Biol. Javier A . Molina A. U.J.



# Plancton Lago de Tota

Fotomicroscopía: Biol. Javier A. Molina A. U.J.





# Agradecimientos

Richard A . Vollenweider (1922 – 2007) qepd. Profesor y Limnólogo. Canada Centre for Inland Waters. Visita diagnóstico Lago de Tota a finales del mes de noviembre de 1983. Invitado por La CAR de Bogotá y en representación de La OPS. Producto de la visita: Informe Lago de Tota y entrega de sus memorias sobre Planeamiento Estratégico para Preservar la Calidad de las Aguas del Lago de Tota. 42 pp.

Instituto Museo de Historia Natural Smithsonian de Washington a los especialistas Walter Chad, Janet W. Reid y Manuel Fukushima especialistas en microcrustácea y limnología Universidad de San Marcos y Universidad Nacional de Trujillo – Perú.

José Efraín Ruiz. Especialista físico biótico. En su gestión y director de los laboratorios del Himat (1984). Investigación continuada sobre los aspectos físico químicos y biológicos del Lago de Tota .

A todos los biólogos, ecólogos y colegas de las universidades colombianas Javeriana, Nacional, Antioquia, Tadeo Lozano y Andes.