



ORGANIZACION DE ESTADOS AMERICANOS.



USAC



FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS Y FARMACIA.

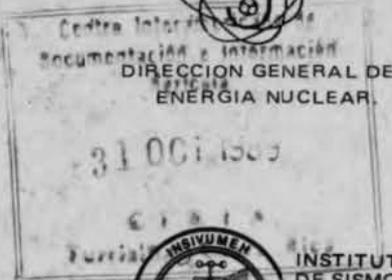


EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA DE LA CIUDAD DE GUATEMALA

EMPAGUA



MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS.



ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGIA ATOMICA.



INSTITUTO NAC. DE SISMOLOGIA, VULCANOLOGIA METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

SIMPOSIUM

ESTUDIOS RECIENTES SOBRE LA CONTAMINACION DEL LAGO DE AMATITLAN

Guatemala, Junio de 1987

CONTENIDO

Presentación

Introducción

Reconocimiento



Enfoque global del Lago de Amatitlán y su Cuenca. M. Basterrechea

Caracterización y Priorización de microcuencas en la subcuenca lacustre Amatitlán. W. R. Chavez y R. A. Sagastume.

Algunas consideraciones sobre el alcantarillado y la industria en la subcuenca del lago de Amatitlán. R. Morales y J. Orozco.

Diagnóstico preliminar de los usos de suelo y sus impactos ambientales en la subcuenca del lago de Amatitlán. A. González y O. Illescas.

Control Hidrometeorológico en la cuenca del lago de Amatitlán. C. Cobos.

Características Físicas y Químicas de lago de Amatitlán. M. Basterrechea y Y. Juarez.

Limnología del lago de Amatitlán. E. Beltrán, M. Basterrechea, Y. Juarez, L. Cerrato y S. Molina.

Causas de la Contaminación de 7 ríos tributarios de la subcuenca del lago de Amatitlán. M. Basterrechea, M. Molina, S. Molina y E. Beltrán.

Impacto de Descargas Intermitentes de las Aguas Residuales de Beneficio de Café. M. Basterrechea, D. Castañeda, S. Molina, E. Beltrán

PRESENTACION

El Comité del Lago de Amatitlán se complace en presentar esta publicación, como patrocinador del Simposio "Estúdios Recientes sobre la Contaminación del Lago de Amatitlán", simposio que fue posible llevar a cabo gracias a la colaboración del Instituto Guatemalteco Americano (IGA) y del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).

El Comité del Lago de Amatitlán, preocupado por la progresiva y acelerada eutroficación del Lago de Amatitlán, entre sus proyectos del presente año decidió promover la realización del primer simposio técnico sobre estudios realizados recientemente sobre la contaminación del lago. Para la realización de este Simposio se encomendó la coordinación al Ing. Octavio Córdón del Comité del Lago de Amatitlán y al Dr. Manuel Basterrechea del CATIE e importante colaborador del Comité del lago. En igual forma, se ha contado con la ayuda del Arq. Jorge Cabrera, Director de la Comisión Nacional del Medio Ambiente.

El Comité del Lago, integrado por personas que donan su tiempo y esfuerzo en beneficio de esta gran tarea cívica, ha estado trabajando desde hace varios años en crear consciencia del problema y alertar a los sectores gubernamental y privado que de no tomarse medidas inmediatas, el Lago de Amatitlán pronto estará irreversiblemente muerto como cuerpo de agua útil a la sociedad. Esta ardua tarea de crear consciencia se ha logrado parcialmente, ya que como idea y a instancias del Comité se creó la Autoridad del Lago, la Comisión Nacional del Medio Ambiente ha recogido este proyecto como prioritario, diversos Ministerios de Estado están iniciando proyectos para salvar el lago, los medios de comunicación están divulgando constantemente noticias sobre esta gran tragedia nacional, y ya es prácticamente "vox populi" que Amatitlán esta en serio peligro de morir. Este ha sido un primer objetivo del Comité del Lago, ya que si no hay consciencia del problema nunca se entrará a tomar las medidas para solucionarlo. El hecho que se haya podido celebrar este Simposio, y que se cuente con la presentación de tan importantes estudios y trabajos

-recientes, es otra manifestación del interés que se ha despertado

Aparte de lo anterior, el Comité ha estado trabajando en distintas áreas y actividades, entre las cuales pueden mencionarse las siguientes:

- Programas de asistencia técnica y financiera del exterior
- Reforestación y cuidado de los bosques de la cuenca
- Programas de Piscicultura
- Control de contaminantes provenientes de asentamientos humanos e industrias de la cuenca
- Control de introducción de nutrientes y otros elementos provenientes de las agroindustrias de la cuenca
- Aspectos legales relacionados con la eutroficación del lago

En nombre del Comité del Lago, deja constancia de nuestro sincero agradecimiento a todas las instituciones y personas que brindaron su apoyo y colaboración en la realización de tan importante evento.

Lic. Stephan Wittkowsky
Presidente Comité del Lago de
Amatitlán.

INTRODUCCION

Desde hace algunos años la contaminación del lago ha sido insistentemente mencionada por personas particulares e instituciones gubernamentales a través de los medios de comunicación. Desde 1968 se han venido realizando estudios esporádicos, pero que hasta ahora, no han sido utilizados para la determinación y aplicación de las medidas necesarias para resolver o mitigar este problema ambiental. Parcialmente, esto se ha debido a que algunos de estos estudios no han enfocado la contaminación del lago como un problema relacionado con el manejo inadecuado de los recursos de la cuenca, sino como situaciones aisladas del lago. Por lo tanto la necesidad de realizar trabajos integrados en la cuenca del lago (tanto en cobertura física de la misma, como en personal profesional y técnico), es imperativo, debido al poco tiempo disponible para resolver el problema, dado el nivel avanzado de contaminación del lago.

Recientemente, la prensa, nacional ha informado de la posibilidad de financiamiento y Asistencia Técnica Internacional para recuperar el lago de Amatitlán. El propósito de elaborar este documento es presentar los problemas del lago y de su cuenca bajo un enfoque global e integral, a través de los estudios que se están llevando a cabo y que servirán para la recuperación del mismo. Así mismo para que el Gobierno Central considere la asignación de fondos propios o pueda ser presentado a organismos internacionales de financiamiento y asistencia técnica con el fin de que estos puedan evaluar la situación que se encuentra el lago y su cuenca y financiar las acciones o estudios necesarias.

M. Basterrechea
Coordinador del Proyecto Regional
de Manejo de Cuencas, CATIE
Editor.

Reconocimiento:

A todas las personas que hicieron posible la realización de este estudio, a través de su constante apoyo y motivación a todo el grupo de trabajo, en especial a:

Raúl Aguilar
Dr. Juan José Sierra
José Carlos Pérez
Luis Fernando Girón
Rafael Girón Méndez
Vilma Peralta
Zoila Rodríguez
Eduardo Pineda
Antonio Plata
Jorge Cabrera
Ing. Miguel Angel Canga Arguelles
Luis Chacón
Edgar Celada
César Barrientos
Israel Hernández
Carlos Chiriboga
José Tundisi
Jorge y Margarita Cabrera

ENFOQUE GLOBAL DEL LAGO DE AMATITLAN
Y SU CUENCA

M. Basterrechea*

Resumen

Independiente de la situación geográfica, las causas y los problemas de la contaminación son fundamentalmente los mismos en todo el mundo. Dondequiera que se establecen, los hombres han apreciado el recurso más valioso de la naturaleza-el agua-y, en su celo por establecer y extender las comunidades, la agricultura y las industrias, han permitido que se contamine por la evacuación, de la manera más barata y conveniente, de las aguas residuales, desechos agrícolas e industriales en la corriente de agua más próxima. En el transcurso del tiempo esta práctica ha resultado nociva (ordinario para personas ajenas a las que la ejecutaron) debido a que pone en peligro la salud pública, perjudica la agricultura, ocasiona obligaciones onerosas a la industria y destruye la vida acuática.

Las autoridades gubernamentales, los agricultores, los industriales y el resto de la población, se han percatado de las inmensurables pérdidas que se han producido y han involucrado las leyes de los hombres para reparar las pérdidas ocasionadas por su violación, de las leyes de la naturaleza. Solo se ha conseguido reducir realmente la contaminación cuando el estado y la población han promulgado leyes en las que se consideran equilibradamente todos los intereses en presencia: cuando un grupo particular de intereses ha dominado la administración de la lucha contra la contaminación, las actividades correspondientes han resultado ineficaces.

El problema del lago de Amatitlán y de su cuenca ha sido un

* Coordinador del Proyecto Regional de Manejo de Cuencas
en Guatemala - PRMC/CATIE-

tema bastante discutido y de interés de un tiempo a la fecha, y se han realizado varios estudios preliminares de sus problemas, pero hasta ahora, no se han usado para la determinación y aplicación de las medidas necesarias definitivas que llevarán a la solución de este problema ambiental. La necesidad de realizar trabajos integrados, tanto en cuanto a cobertura como a personal profesional técnico en el lago de Amatitlán es imperativo, debido a la vigencia del saneamiento básico de la parte sur de la ciudad de Guatemala y porque a la fecha ninguna entidad se ocupa de estudiar completa y racionalmente este problema. El mejoramiento de las condiciones actuales del lago traerá consigo el saneamiento ambiental de la parte sur de la ciudad debido por ejemplo al tratamiento y disposición adecuada de los desechos sólidos y líquidos, regulación de los nuevos complejos habitacionales e industriales, control de la erosión y plan de reforestación de la cuenca, mejoramiento del ornato, manejo adecuado de la cuenca y otros. En otras palabras, la recuperación del lago de Amatitlán-que es un cuerpo de agua de uso multidisciplinario- para que este se siga usufructuando racional e indefinidamente, traerá consigo el mejoramiento de las condiciones de vida de los habitantes de la ciudad de Guatemala y su perifería.

En base a los resultados ha obtener del trabajo integrado, elegir y aplicar medidas apropiadas para lograr el mejoramiento del saneamiento básico de la cuenca y del lago. Además, efectuar un control permanente de la cuenca y del lago, que indique periódicamente la situación de los mismos, para conocer si las medidas adaptadas estan, aportando los beneficios deseados y en que proporción.

Debido al avanzado grado de contaminación del lago y su cuenca es imperativo tomar medidas drásticas de acuerdo a un orden de prioridad debido a la situación de escasez en el que esta ubicado el proyecto del mejoramiento del saneamiento básico de la cuenca y del lago; escasos recursos económicos asignados para resolver el problema, poco interés de las instituciones públicas y privadas, debido al desconocimiento del problema y sus consecuencias y poco tiempo disponible para resolver el

problema. Para que las medidas a corto, mediano y largo plazo para resolver los problemas se implementen y tengan un seguimiento es indispensable formar una unidad específica, dirigida por profesionales calificados y que cuenten con un presupuesto adecuado a los objetivos a realizar. Es indispensable que esta unidad tenga autoridad para que además coordine a todas las instituciones públicas y privadas relacionadas con el lago y su cuenca. Además, esta unidad gestionará los recursos económicos indispensables para resolver los problemas de acuerdo a la capacidad de pago del gobierno y los habitantes de la cuenca hidrográfica.

En resumen, para entrar a resolver la problemática del lago de Amatitlán y de su cuenca es indispensable que se conjuguen tres factores:

1. Profesional Calificado: Para que esté a cargo de la unidad creada para resolver el problema.
2. Autoridad: Para que dicha unidad plenamente facultada tome medidas y estas sean acatadas y,
3. Búsqueda de Fondos: Para implementar los proyectos de recuperación de acuerdo a un orden de prioridad.

Introducción

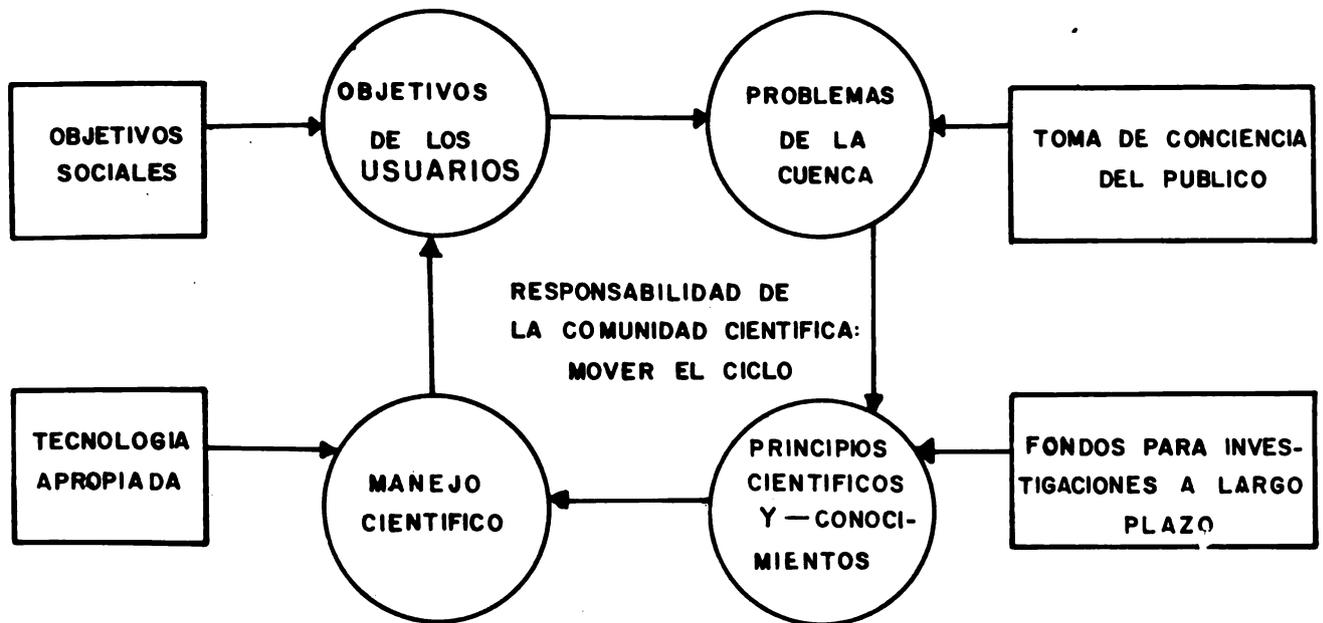
En su connotación más amplia, la investigación, con fines prácticos es parte del gran círculo de necesidades de la sociedad y sus perspectivas futuras. Dentro de este contexto, los trabajos de investigación para la recuperación de los lagos implican el establecimiento y seguimiento de los objetivos y de una estrategia apropiada. Sin embargo, cualquiera que sean los objetivos, están sujetos a modificaciones como se muestra en la Figura 1.

Los objetivos de la sociedad influyen el ecosistema y crean situaciones positivas y negativas en los recursos de las cuencas. Las situaciones negativas se vuelven problemas cuando el público toma conciencia de éstos y los denuncia. En algunos casos, los responsables solicitan la intervención de técnicos en

FIGURA: 1

BASES DE LA ESTRATEGIAS

RESPONSABILIDADES DE LA SOCIEDAD:
ENTRADA AL MANEJO AMBIENTAL



la materia para que ellos apliquen los principios científicos para resolver los problemas. Ellos solicitarán fondos (normalmente a largo plazo) para que utilizando los conocimientos y la tecnología apropiada disponibles recomienden las acciones para mitigar los problemas lo cual está íntimamente relacionado con cambios en los objetivos de los usuarios. Si la sociedad apueba estos cambios (o acepta pagarlos), se evaluarán nuevamente los impactos y se vuelve a establecer el círculo.

Para fines de este trabajo, los conceptos de preservación y conservación necesitan ser aclarados. La preservación es un objetivo ideal deseable, pero en nuestros días casi todos los ecosistemas han sido influenciados y/o explotados por el hombre. La conservación, interpretada correctamente, tiene como finalidad mantener el balance entre explotación y preservación, y que en cualquier circunstancia, garantice la duración del sistema que soporta la vida humana. Hay que recordar que el comportamiento y evolución de cada ecosistema no sólo depende de las funciones de fuerzas externas, sino también de otros factores menos aparentes como, por ejemplo, la capacidad de respuesta del propio ecosistema.

Considerando todos los posibles conceptos que juegan un papel en la investigación ambiental y limnológica, con aplicación potencial en la recuperación de lagos, dos categorías principales de conceptos de naturaleza diferentes pueden presentarse (a) conceptos jerárquicos semideductivos y (b) conceptos contingentes no deductivos. Algunos de los más importantes conceptos pertenecientes a cada categoría se listan en el Cuadro 1.

En la perspectiva jerárquica el lago y su cuenca se visualizan como una unidad y más precisamente como ecosistemas abiertos que intercambian materia y energía. El sistema lago-cuenca puede, además, descomponerse en subsistemas dependiendo de los objetivos de la investigación y disponibilidad de fondos. En la Figura 2 se muestra los tres niveles que determinan la productividad de los cuerpos de agua. Entre los tres niveles (cuenca-agua-limnología) existe funciones de

**Cuadro 1. Conceptos en las investigaciones limnológicas y
Manejo de Cuencas**

I. Conceptos Jerárquicos

- a) **Interacciones entre la cuenca y el lago (Fig.2)**
 - **Funciones de control físicas, hidrológicas y geoquímicas (entrada de energía, cargas de contaminantes)**
 - **Respuesta del lago**
- b) **Interacciones en el lago propiamente (Fig.3)**
 - **Tiempo de residencia**
 - **Intercambio entre el agua y los sedimentos**
 - **Relaciones en la cadena alimenticia**
 - **Conceptos cuantitativos**
 - **Condiciones estables**

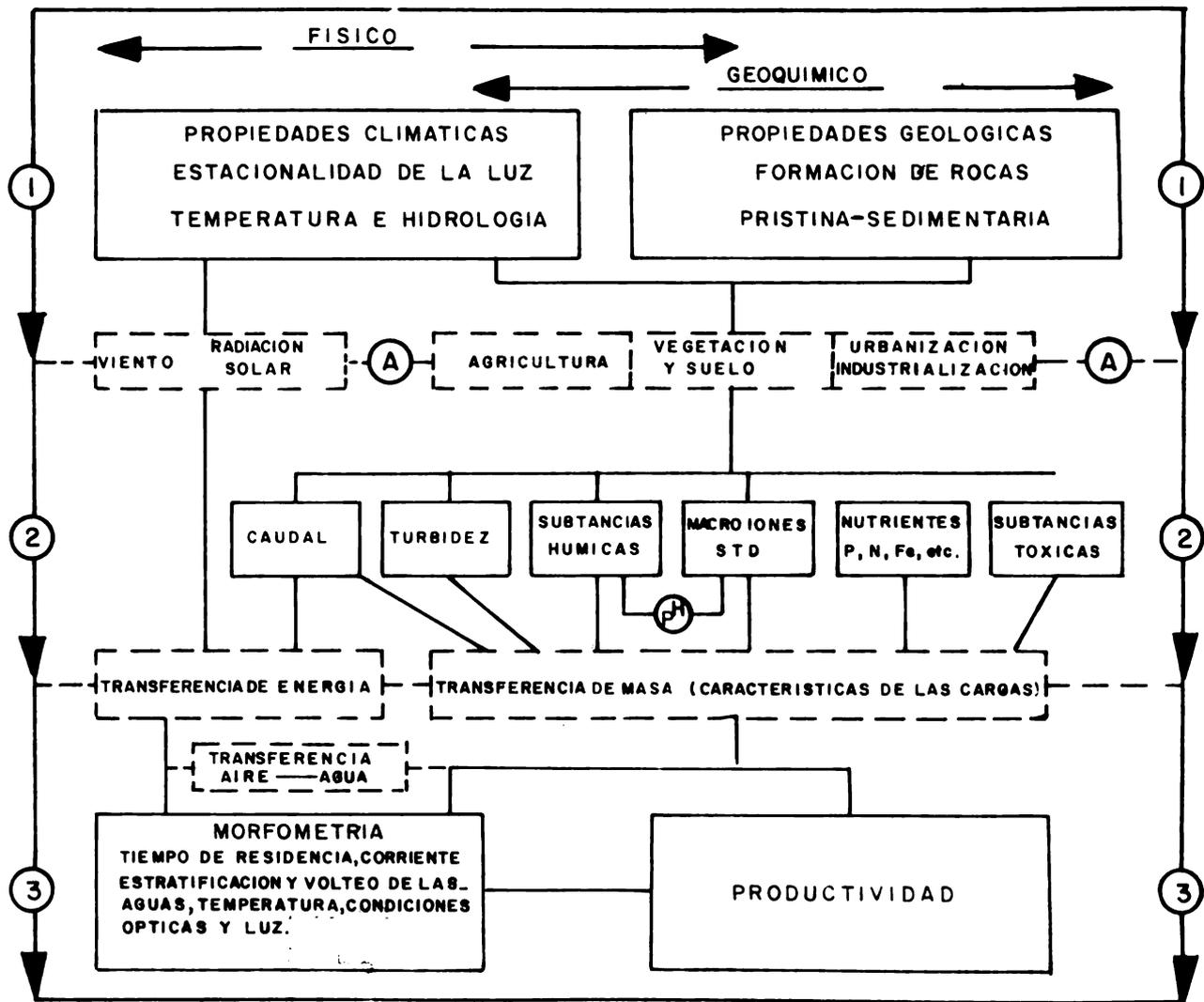
II. Conceptos Contingentes

- **Heterogeneidad en el espacio y tiempo**
- **Conceptos no cuantitativos, solo cualitativos**
- **Condiciones no estables**
- **Diversidad en la cadena alimenticia**

Fuente: Vollenweider, 1986.

FIGURA: 2

INTERACCIONES ENTRE LA CUENCA Y EL LAGO



- ① PROPIEDADES DE LA CUENCA
- ② PROPIEDADES DEL AGUA
- ③ PROPIEDADES LIMNOLOGICAS
- (A) ALTERACIONES ANTROPOGENICAS

transferencia que son posibles manipular intencionalmente o no. La más importante manipulación ha sido el cambio de cobertura vegetal (deforestación entre otros) que como consecuencia ha llevado a cambios sustanciales del régimen de caudales y propiedades químicas en cada nivel, y por lo tanto, ha cambiado sustancialmente la respuesta trófica de los lagos. Además, las manipulaciones en la cuenca tendrán diferente respuesta del lago dependiendo de la capacidad de respuesta del mismo que depende de las interacciones que ocurren y que se muestran en la Figura 3.

Las medidas y técnicas de control corrientemente usadas para recuperar y conservar los lagos de la eutrofización coinciden casi exactamente con el esquema de la perspectiva jerárquica (Cuadro 2). Este enfoque no es solamente justificable sino, además ofrece el único camino para resolver los problemas. Sin embargo, en una perspectiva más amplia este enfoque no es tan satisfactorio porque cualquier acción requiere de gran cantidad de recursos económicos los cuales son transmitidos a los habitantes de la cuenca. Esto es justificable en economía de abundancia pero encuentra muchos obstáculos en economías de escasez como la de Guatemala.

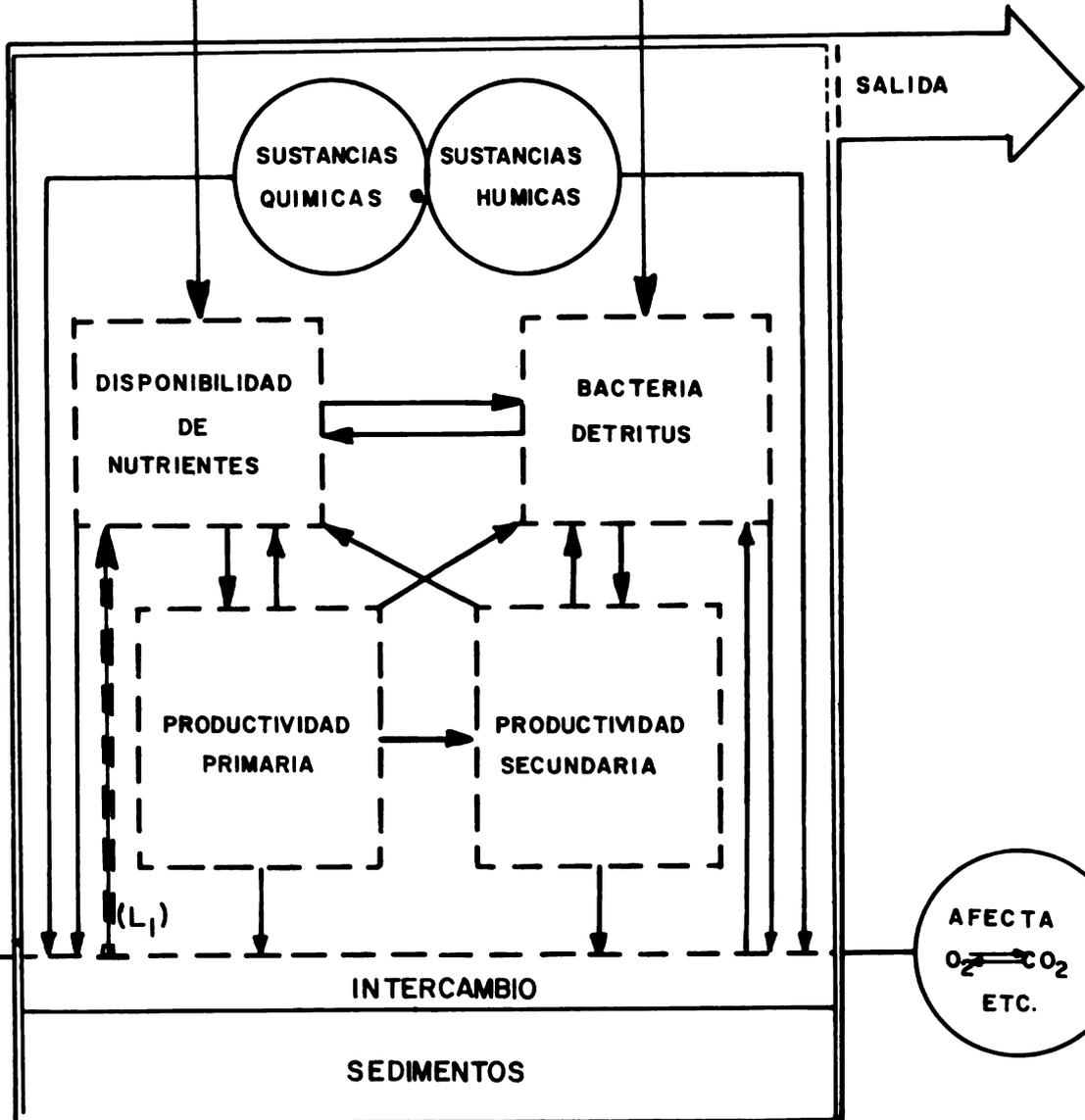
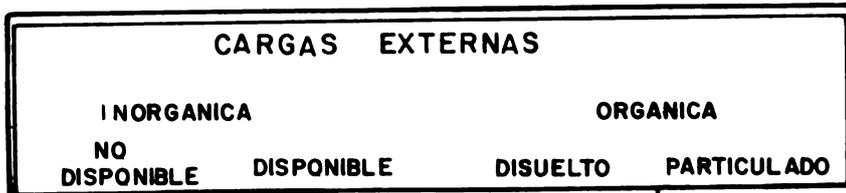
A través de esta breve conceptualización sobre la problemática de los lagos, es evidente la necesidad de un enfoque global que sirva de guía para la investigación per se y la investigación en relación a preguntas prácticas como la recuperación del lago de Amatitlán. Bajo este enfoque global es que se ha venido trabajando los problemas de los lagos y embalses de Guatemala desde 1984 a la fecha. Como ha sido expresado en los párrafos anteriores, y en la Figura 1, la disponibilidad de fondos ha limitado los trabajos a investigar algunos de los subsistemas de la cuenca y el Lago pero dentro del enfoque global e integral del que se ha escrito en esta primera parte.

El objetivo de este trabajo es definir los problemas del Lago de Amatitlán y su cuenca bajo el enfoque global para que sirva como un documento base para que todas las personas interesadas conozcan a fondo la realidad de los problemas y

INTERACCIONES EN EL LAGO

CAMINO
AUTOTROFICO

CAMINO
HETEROTROFICO



AFECTADO
POR
rH, pH
ETC.

AFECTA
O₂ ↔ CO₂
ETC.

Cuadro 2. Acciones que pueden realizarse para la recuperación de Lagos.

- I. Acciones realizadas fuera del lago (es decir en la cuenca)
 1. Forestación y cambio en el uso de la tierra de la cuenca
 2. Control de pesticidas y fertilizantes
 3. Tratamiento de las descargas domiciliarias e industriales
 4. Derivación de todas las descargas del lago
 5. Pequeñas presas y lagunas
 6. Tratamiento del agua superficial de los ríos
 7. Instrumentos para el control administrativo y legal

- II. Acciones realizadas en el lago
 1. Manipulaciones físicas
 - Estratificación y volteo de las aguas
 - Aeración del hipolimnio
 - Cambios del régimen de caudales; manejar las salidas de agua
 2. Manipulaciones químicas
 - Inactivación química, precipitación de nutrientes
 - Remoción, sellado u oxidación de los sedimentos
 3. Manipulación biológica
 - Remoción mecánica de algas, macrofitas y peces
 - Control químico (alguicidas, herbicidas y pesticidas)
 - Control biológico: manipulación de la cadena alimenticia; introducción de especies exóticas y selectividad en la muerte de peces.

Fuente: Vollenweider, 1986

también para ser presentado a los organismos internacionales de financiamiento.

El Lago de Amatitlán

El lago de Amatitlán es un ejemplo de un cuerpo de agua de usos múltiples. El lago está siendo adversamente influenciado por la expansión de la ciudad de Guatemala y su área de influencia, lo cual causa efectos indeseables tanto en el lago como en las personas que viven en sus alrededores (García 1981). Entre los factores que afectan el lago están: (a) Crecimiento de la población en la cuenca, (b) Localización de la mayoría de industrias de la República de Guatemala (c) El uso inadecuado del suelo en la cuenca (urbano, agricultura y otros usos menores), (d) Bajo nivel de educación y concientización ambiental, y (e) Casi ningún control administrativo y legal de los usos del agua, suelo y aire.

La información biofísica, socioeconómica y demográfica básica del Lago de Amatitlán y su cuenca se resume en el cuadro 3. en la Figura 4 se muestra la ubicación del lago de Amatitlán dentro del Departamento de Guatemala. La importancia de mejorar las condiciones actuales del Lago de Amatitlán y de su cuenca es que en la medida en que se mejoren dichas condiciones se mejorará la calidad de vida de los habitantes que se aproximan al medio millón (Figura 5). Es necesario también que cualquier acción que pueda proponerse para aliviar la problemática actual debe tomar en cuenta la escasez de recursos financieros existentes que obliga hacer un uso más eficiente de los mismos.

El Deterioro de la Cuenca y del Lago de Amatitlán.

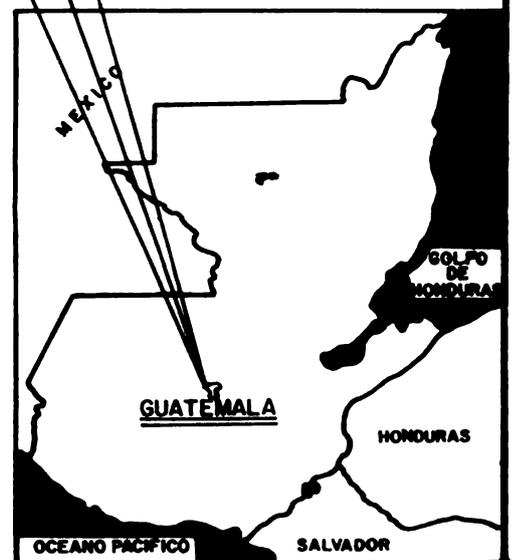
La ciudad de Guatemala, desde su fundación en 1776, cuando contaba con apenas 268 familias, ha venido duplicando el número de habitantes aproximadamente cada diez años. En la Figura 3 se muestra el proceso histórico de urbanización. Los censos nacionales IV de habitación y IX de población, realizados en 1981

CUADRO 3. Información Biofísica, Socioeconómica y Demográfica básica del Lago de Amatitlán y su Cuenca*.

Area de la Cuenca	368 km ²
Elevaciones de la Cuenca	1180-1600 msnm
Días de lluvia anual	90-120 días
Lluvia promedio anual	1214 mm
Evapotranspiración promedio anual	900 mm
Temperatura promedio anual	20 °C
Geología: Roca sedimentaria	ocupa el 86% del área de la cuenca
Agricultura:	Café, maíz, frijol, caña de azúcar, legumbres.
Agroindustrias:	Beneficios de café, ingenio de azúcar.
Pecuario:	Ganado mayor, menor y aves de corral.
Generación Eléctrica:	Regulación estacional del lago (31x10 ⁶ m ³) para la hidroeléctrica Jurum Marinalá de 61.2MW. Termoeléctrica La Laguna usa el agua del lago para enfriamiento de la planta de 30MW.
Agua Potable:	La ciudad de Guatemala y su área de influencia aprovecha en promedio un caudal superficial y subterráneo de 1.15 m/seg.
Disposición de desechos líquidos y sólidos:	En su mayoría son vertidos sin tratamiento al ambiente en cuenta los cauces de los ríos.
Población:	369,533 habitantes

*Mayor información se dará en el siguiente trabajo.

FIGURA 4



1890



1900



1920



1940



1950



1960



1970



1980



1 0 1 2 3 4 5 Km
Escala Grafica

reportaron que el total de la población urbana era de 855,736 personas en el Departamento de Guatemala. Como ha sido característico de las mayores ciudades del mundo, en la Capital de la República de Guatemala se centraliza el comercio, la industria y la banca. Consecuencia parcial de esto ha motivado una inmigración diaria a la ciudad de aproximadamente 500 personas. El proceso de urbanización trae consigo un cambio en el uso de la tierra, es así que la Ciudad de Guatemala y su área de influencia ha cambiado un área relativamente extensa de bosques por residencias habitacionales. En el Cuadro 4 se muestra el cambio de uso de la tierra (bosque y urbanización) de la ciudad de Guatemala y su área de influencia de 1954 a 1981.

Del Cuadro 4 podemos inferir que la pérdida anual de bosque entre 1954 y 1964 fue de 0.6%, equivalente a 122 ha/año y que entre 1964 y 1973 la pérdida anual fue de 1.6%, equivalente a 329 ha/año. Entre 1973 y 1981 la pérdida anual fue de 4.5% del área, equivalente a 811 ha/anuales de bosque eliminado. Si asumimos una tendencia de pérdida conservadora de un 9% en 1995, no se contará con ningún área de bosque considerable.

El crecimiento acelerado de la población (3.0% anual), de la ciudad de Guatemala y su área de influencia ha ejercido presión sobre los recursos naturales, lo cual ha contribuido enormemente a la pérdida también acelerada de la cubierta vegetal (alrededor del 9.0% anual). Si le agregamos la falta de implementación de un Plan de Desarrollo Metropolitano, podemos empezar a visualizar el por qué del deterioro ambiental de la Ciudad de Guatemala y su área de influencia. Las recomendaciones del Esquema Director de Ordenamiento Metropolitano -EDOM- realizado en 1971 y del perfil del Plan de Desarrollo Metropolitano -PLANDEMET- realizado en 1984 no han sido implementados. Este deterioro ha afectado al Lago de Amatitlán porque la zona sur de la Ciudad de Guatemala forma parte de la cuenca del Lago de Amatitlán. Cuenca es un área natural en la cual el agua que cae por precipitación se une para formar un curso de agua principal (Figura 6). Es decir, que a través del recurso agua las actividades de los habitantes de la parte sur de la Ciudad de Guatemala y su área de influencia Villa

CUADRO 4. Proceso de cambio de Uso de la Tierra, en Km2, en la Ciudad de Guatemala y su área de influencia.

	1954	1964	1973	1981
Bosque	222.4	210.2	180.6	115.7
Urbano y otros Usos	151.6	163.8	193.4	258.3

Fuente: Fhlor, 1982.

PERFILES TOPOGRAFICOS DE LA SUB-CUENCA DEL LAGO DE AMATITLAN

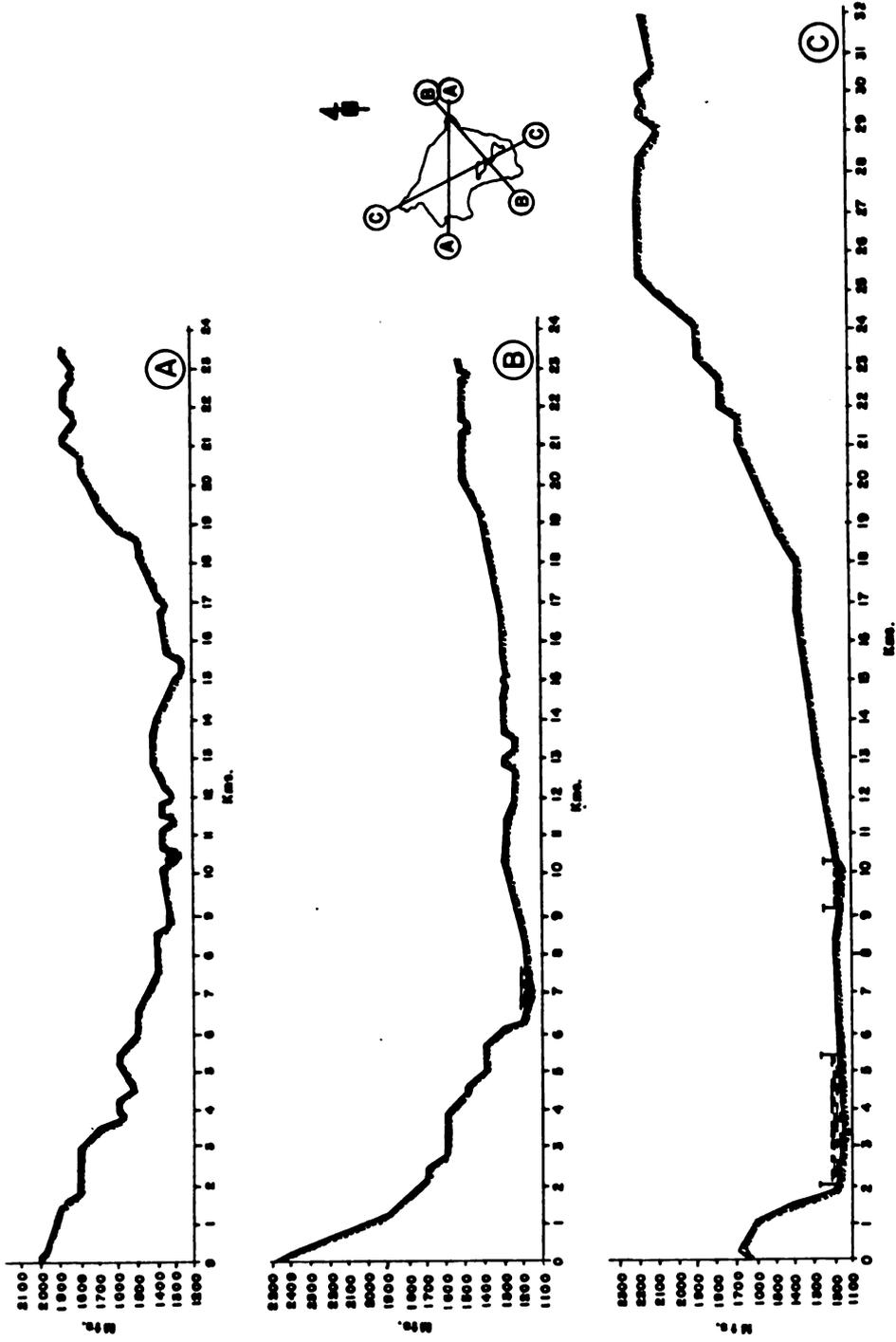


FIG. No. 6

Canales, San Miguel Petapa, Villa Nueva y parte de Mixco han ocasionado efectos negativos en la Cuenca del Lago de Amatitlán (Cuadro 5).

Balance Hídrico

La evolución de las causas de deterioro de los lagos y el éxito de los proyectos de recuperación y manejo de los mismos, está basado en la mejor estimación del balance de nutrientes y contaminantes. A pesar que el balance de agua es básico para calcular el de nutrientes poco esfuerzo ha sido puesto en medir las entradas y salidas de agua en los lagos (Winter, 1981).

Por lo tanto, estimar el balance hídrico de la cuenca y del lago es imprescindible para estimar la cantidad de contaminación que entran al lago. Por ejemplo, la entrada de agua subterránea al lago representa alrededor del 40 al 60 % del caudal total (Basterrechea, 1984). Muñoz (1986) reporta que, debido a los requerimientos de agua para consumo humano, se extraen alrededor de 1.15 m³/s de la cuenca del lago. INSIVUMEH (1978) reportó que en 1976-1977, aproximadamente 2.55m³/s fueron extraídos del Valle de la Ciudad de Guatemala, lo cual representó un descenso de la napa freática de 0.78 m ese año. La tendencia general de la napa freática es de un descenso continuo con aumentos esporádicos durante la época de lluvias pero no suficiente para elevar la napa a largo plazo. El balance hídrico del lago de Amatitlán puede representarse por la siguiente ecuación:

- (1) Disponibilidad de agua en el lago = (a) entrada de agua superficial al lago (río Villalobos) + (b) lluvia directa sobre el lago + (c) escorrentía directa de las áreas alrededor del lago + (d) entrada de agua subterránea al lago - (x) salida de agua superficial del lago (río Michatoya) - (y) evaporación - (z) salida de agua subterránea del lago.

El almacenamiento o disponibilidad de agua del lago (1) puede calcularse multiplicando la profundidad del lago (inferida de los niveles reportados en la estación El Morlón) por el área del lago a esa profundidad (obtenida del mapa batimétrico). Las

entradas de agua al lago se calculan: (a) el caudal superficial (Río Villalobos) se obtiene de la estación El Cementerio, (b) la precipitación se calcula del promedio de la lluvia reportada por las estaciones Las Delicias, Amatitlán, Mayan Golf, San Bernardo y La Laguna, localizadas alrededor del lago, (c) la escorrentía se estima multiplicando el coeficiente de escorrentía por su área respectiva y (d) el caudal subterráneo se calcula con la información generada de las perforaciones a lo largo de la parte norte del lago (INSIVUMEH realizó este trabajo entre 1974 y 1977).

Las salidas de agua del lago se estiman: (x) el caudal superficial (río Michatoya) se obtiene de la estación Las Compuertas, (y) la evaporación se calcula multiplicando el valor de evaporación en tanque de la estación Mil Flores por un factor de corrección y (z) el caudal subterráneo se estima con la información generada de las perforaciones a lo largo de la parte sur del lago. La consolidación de las estaciones mencionadas y la implementación de nuevas es una necesidad para los trabajos de recuperación del lago de Amatitlán. Es imprescindible que se le de el apoyo necesario al INSIVUMEH para que pueda reportar el balance hídrico de la cuenca del lago con la mayor confiabilidad posible. Actualmente la calidad de la información es pobre.

Cargas de Nutrientes

La carga de nutrientes y contaminantes al lago se calcula multiplicando el caudal de agua (superficial, subterráneo, escorrentías y lluvia) por la concentración de dichos contaminantes. Las concentraciones se obtienen por medio de análisis de campo y de laboratorio.

Eutroficación es el proceso de sobre producción de algas y macrofitas. Este proceso es consecuencia de un incremento acelerado en las entradas de nutrientes cuando es antropogénico; cuando es de origen natural es lento. Como resultado, el cálculo de las cargas de nutrientes sirve para estimar el grado de eutroficación. El concepto de cargas de nutrientes significa la

Cuadro 5. ACTIVIDADES DEL HOMBRE EN LAS CUENCAS HIDROGRAFICAS Y SUS EFECTOS SOBRE LOS RECURSOS NATURALES RENOVABLES

<u>ACTIVIDAD</u>	<u>EFECTOS (-)</u>
<u>Colonización:</u>	<u>Ruptura del equilibrio ecológico</u>
<u>Tala de bosques:</u>	<u>Erosión de los suelos, desertización, cambio del ciclo hidrológico y régimen de Caudales, contaminación de agua, pérdida o migración de la fauna nativa, sedimentación, desbordamiento e inundaciones de ríos y quebradas</u>
<u>Quemas:</u>	<u>Erosión de los suelos, pérdidas de nutrientes y microorganismos del suelo, contaminación del aire</u>
<u>Agricultura:</u>	<u>Contaminación del suelo, agua, aire, vegetales y animales por uso de agroquímicos, erosión acelerada de los suelos por malas prácticas de cultivos</u>
<u>Ganadería:</u>	<u>Erosión acelerada de los suelos por sobrepastoreo</u>
<u>Urbanismo:</u>	<u>Contaminación del agua por residuos orgánicos y químicos, producción de basuras y contaminación del aire por malos olores y automotores, contaminación por el ruido de automotores</u>
<u>Industria:</u>	<u>Contaminación del aire y agua por sustancias químicas y minerales, desaparición o migración de la fauna nativa local, desaparición de especies vegetales, merma de la pesca</u>
<u>Construcción de Embalses o represas</u>	<u>Sedimentación y colmatación, salinización de las aguas, disminución de la pesca aguas abajo, muerte o migración de muchas especies (vegetal-animal), pérdida de suelos agropecuariamente aprovechables, aumento de nutrientes y homogenización de las especies acuáticas vegetales.</u>
<u>Minería:</u>	<u>Contaminación del agua y suelo por el uso de sustancias químicas, erosión del suelo</u>
<u>Apertura de vías:</u>	<u>Desestabilización de taludes, erosión de los suelos, deslizamientos, derrumbes, sedimentación de lechos de ríos y quebradas.</u>

Fuente: PRMC/CATIE, 1987.

la intensidad del abastecimiento a un cuerpo de agua de cualquier elemento o compuesto químico necesario para el crecimiento de las plantas (Vollenweider y Kerekes, 1980). Las cargas de fósforo y nitrógeno son normalmente estimadas porque estos dos son normalmente los nutrientes limitantes para el crecimiento de las algas. Sin embargo, solo algunas concentraciones de nutrientes han sido reportados, para el lago de Amatitlán por lo tanto las cargas estimadas sólo son parciales. Además, la mayoría de muestras para determinar las concentraciones fueron colectadas durante la época de verano o después de las crecidas, es decir no distribuidas durante todo el año. Además, los resultados de los análisis muestras algunas incongruencias. Es imprescindible estimar las concentraciones de nutrientes durante la época de lluvias debido a que esta estación representa más del 80% del caudal total de entrada al lago. Por ejemplo, Viner, et al (1982) reportó que el río Orange, en Africa, transporta más del 90% de toda la carga de contaminantes durante la época de lluvias y que en Marruecos, al tomar muestras cada 3 a 4 horas durante las lluvias, se observo que el 98% de la carga total anual de fósforo y 74% de la de nitrógeno fue transportada en solo cuatro días. Las características morfométricas, climáticas e hidrológicas de la cuenca del lago de Amatitlán son probablemente tales que algunas pocas crecidas durante la época de lluvias transporta casi todo el fósforo al lago.

No existe información sobre la disponibilidad del fósforo de las diferentes fuentes. El efecto de las crecidas que transportan grandes cantidades de fósforo sobre el lago depende de la disponibilidad de este para el crecimiento biológico. Sonsogni et al (1982) reportó que el fósforo disuelto reactivo es alrededor del 25% del fósforo total. El 75% restante es sobre todo fósforo particulado. Es decir, que fósforo disponible para el crecimiento de las algas es siempre menor del 50% del fósforo total. Una muestra en septiembre 9 de 1983 el fósforo disuelto total fue del 9% del fósforo total y el ortofosfato fue de 6%.

Al entrar una crecida al lago, esta transporta gran cantidad de material. La tasa de sedimentación de las partículas que

depende del tamaño, forma y densidad de las mismas, hace que un porcentaje de estos se deposite en el fondo. Morataya (1975) reportó que sólo un 10% de los sedimentos en suspensión durante una crecida tiene un tamaño menor de 63µm. Basterrechea (1984) infirió que un porcentaje muy alto (> 90%) de los sedimentos en suspensión se depositan en el fondo inmediatamente (< 1 día). piedra pomez y desechos sólidos (sobre todo plásticos) se pueden observar flotando en la parte oriental del lago después de una crecida. A pesar de la mala apariencia de los desechos sólidos flotando estos no representan entradas de nutrientes considerables al lago.

Finalmente, las cargas de nutrientes provenientes de la lluvia, agua subterránea, escorrentía y tanques sépticos, pozos de absorción no pueden evaluarse porque no existe información. En general estas cargas, a excepción de la escorrentía, no presentan mayor grado de contaminación.

Resumiendo la información cualitativa descrita en los párrafos anteriores se puede indicar que: (1) la cuenca presenta un problema de contaminación por fuentes puntuales y no puntuales, (2) las cargas durante la época de invierno son mayores que las de la época de verano (80% de la carga total) (3) no todas las fuentes puntuales durante la época seca llegan al lago, ya que estas son derivadas para riego, (4) las cargas dependen enormemente del régimen hidrológico y del clima.

En la cuenca del Lago de Amatitlán, la carga total de nutrientes está formada por la carga de verano compuesta de fuentes puntuales (descargadas domésticas e industriales) y por la carga de invierno compuesta de fuentes puntuales y no puntuales (escorrentía). Las dos cargas pueden estimarse conociendo los caudales y las concentraciones de por lo menos un año. Las descargas de las fuentes puntuales pueden calcularse del flujo base y de las concentraciones de la época seca. Además, estas concentraciones pueden extrapolarse de manera a encontrar las fuentes puntuales durante la época de lluvias. Entonces, el residuo de la carga durante la época de lluvias corresponde a la carga de las fuentes no puntuales.

La cuenca del Lago de Amatitlán está sujeta a toda clase de usos inadecuados; el agua superficial y subterránea es sobre explotada, residuos domiciliarios e industriales son descargados a tributarios o indirectamente al agua subterránea, nuevas urbanizaciones dejan el suelo sin cobertura vegetal en la época de lluvias, no hay control sobre el uso y aplicación de biocidas, etc.

Bibliografía

- Basterrechea, H. (1984) Comparative Limnology and the Eutrophication of a warm lake: Lake Amatitlán, Guatemala. Ph.D. Dissertation University of Iowa.
- Flohr, O.A. (1981). Análisis sobre la Deforestación de la Ciudad de Guatemala y su Area de Influencia. Período 1954-1981. Tesis Agronomía. Facultad de Agronomía. Universidad de San Carlos, Guatemala.
- García, L.E (1981). The beautiful lake and the ugly river. Paper presented at a symposium held at Laval University, Quebec in 1980.
- INSIVUMEH (1978). Estudio de aguas subterráneas en el Valle de la Ciudad de Guatemala. Informe Final. INSIVUMEH, Ciudad de Guatemala, Guatemala.
- Morataya, J.C. (1975). Estudio sobre el transporte de sedimentos en la cuenca del río Villalobos. Tesis Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos, Guatemala.
- Muñoz, C. (1986). El Lago de Amatitlán. Un recurso de agua. Trabajo presentado al Congreso de AIDIS del 16 al 21 de noviembre 1986.
- PRMC/CATIE (1987). Seminario Taller. Fundamentos del Manejo de Cuencas. Proyecto Regional de Manejo de Cuencas. p. 164.
- Sonzogni, W.C., Chapra, S.C., Armstrong, D.E. and Logal, T.J. (1982). Bioavailability of phosphorus inputs to lakes. J. Environ. Qual. 11:555-563.

- Viner A.B., Breen C., Golterman H.L. and Thornton, J.A. (1982).
Nutrient Budgets. Chapter 11. P. 137-148.
- Vollenweider, R.A. and Kerekes, J. (1980). The Loading Concept
as Basis for Controlling Eutrophication Philosophy and
Preliminary results of the OECD programa on Eutrophication.
Progress in Water Techonology.
- Vollenweider, R.A. (1986) Scientific. Concepts and
Methodologies Pertinent to Lake Research and Lake
Restoration. p. 26.
- Winter, T.C. (1981). Uncertainties in Estimating the Water
Balance of Lakes. Water Resources Bulletin. 17 (1):82-115.

CARACTERIZACION Y PRIORIZACION DE MICROCUENCAS
EN LA SUBCUENCA LACUSTRE AMATITLAN

W. R. Chávez*

R. A. Sagastume*

M. Basterrechea**

El deterioro que sufre el Lago de Amatitlán, es el resultado del inadecuado manejo que se le ha dado a los Recursos Naturales de su Cuenca, así como al crecimiento desordenado de la Ciudad Capitalina. Por lo tanto la formulación, planificación y ejecución de Proyectos que tiendan a la Recuperación, Manejo y Protección de los Recursos Naturales de la Cuenca es de alta prioridad. Para la planificación de estos proyectos es necesario contar con información básica que permita determinar las áreas prioritarias de recuperación y manejo de manera que los Recursos empleados sean utilizados eficientemente.

En el presente documento se analizan diversos parámetros que permiten caracterizar las Microcuencas prioritarias de conservación de los Recursos Suelo y Agua, a fin de que los esfuerzos que se realicen para protegerlas se canalicen en forma eficiente hacia aquellas áreas que más lo necesiten. Por lo tanto, el objetivo es evaluar los parámetros biofísicos de la subcuenca del Lago de Amatitlán para identificar las microcuencas prioritarias y proponer alternativas de manejo de estas.

Caracterización Biofísica

Localización y Extensión

La subcuenca del Lago de Amatitlán, forma parte de la Cuenca del Río María Linda, la cual se encuentra en la vertiente del Pacífico (Figura No.1). Geográficamente, se localizan entre los paralelos 14° 23' 25" y 14° 40' 25" de latitud Norte y los meridianos 90° 27' 15" y 90° 41' 08" longitud Oeste.

* Funcionarios del Departamento de Cuencas Hidrográficas del Instituto Nacional Forestal-INAFOR-.

** Coordinador del Proyecto Regional de Cuencas en Guatemala
PRMC/CATIE

**LOCALIZACIÓN DE LA
SUB-CUENCA DEL LAGO DE AMATITLÁN**

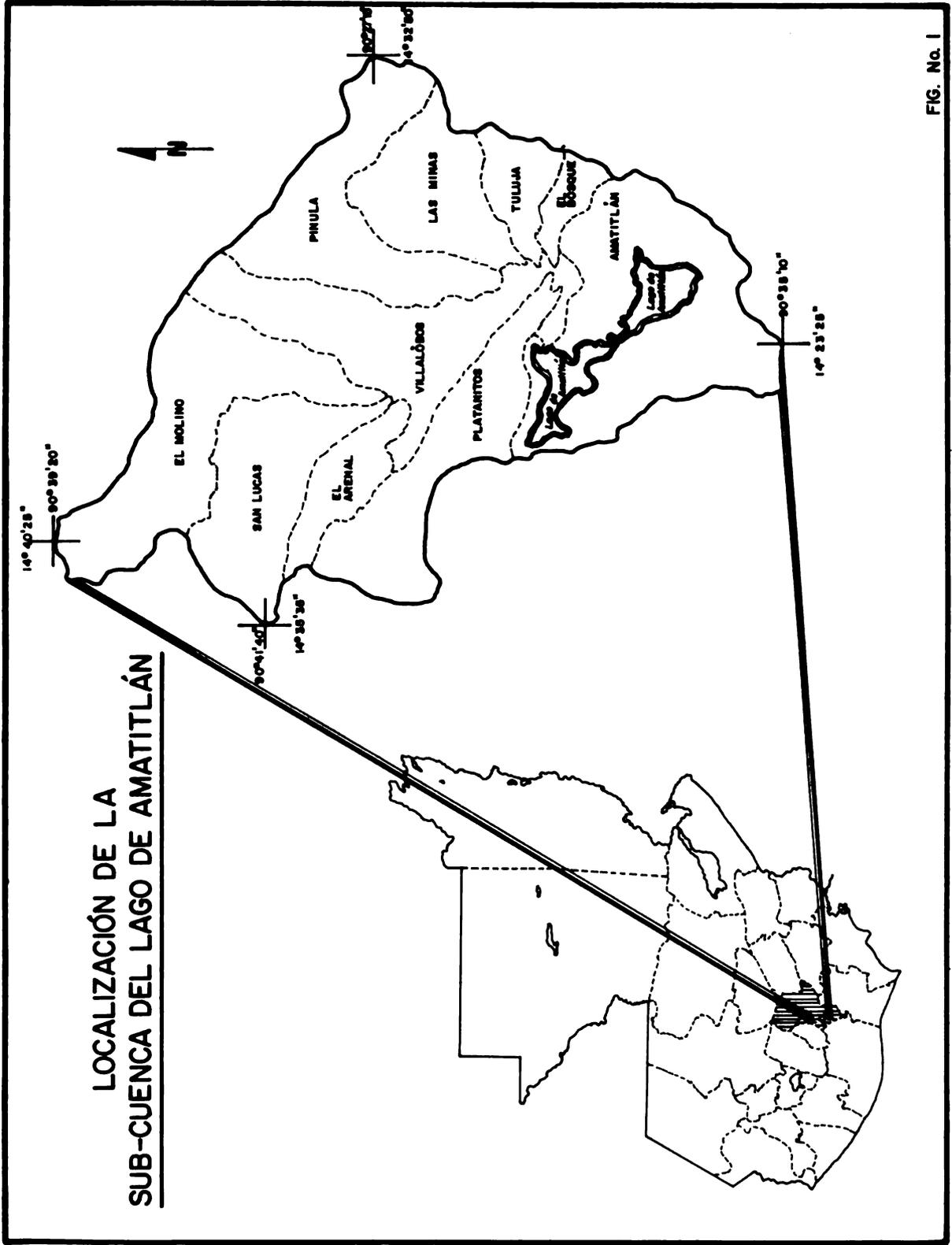


FIG. No. I

Cuenta con una extensión de 39,500 hectáreas, de las cuales el 3.79% (1,500 Ha.) corresponden a la masa de agua del Lago de Amatitlán, los restantes 38,000 hectáreas, se encuentran divididas parcialmente entre los Municipios de Amatitlán, Guatemala, Villa Nueva, Villa Canales, Mixco, Santa Catarina Pinula, San Miguel Petapa, San Lucas Sacatepequez, Santa Lucía Milpas Altas, y Magdalena Milpas Altas. En el Cuadro No.1 se presenta la extensión que ocupa cada Municipio en la Subcuenca

Cuadro No. 1. Extensión y % del Area que ocupan los Municipios Asentados, en la Subcuenca del Lago de Amatitlán, Excluyendo el Lago.

Municipio	Area (H)	% Area
Guatemala	16.851.00	44.35
Amatitlán	297.00	0.78
Villa Canales	2,019.00	5.31
Villa Nueva	5,118.00	13.47
Mixco	9,778.00	25.73
San Miguel Petapa	1,367.00	3.60
Santa Catarina, Pinula	1,791.00	4.71
San Lucas	449.00	1.18
Sacatepequez		
Magdalena Milpas Altas	42.00	0.11
Santa Lucía Milpas Altas	210.00	0.55
Santiago Sacatepequez	78.00	0.21
	38.000.00	100.00

Las Microcuencas Amatitlán, Las Minas y Platanitos abarcan la mayor extensión del área de la Subcuenca con el 16.80, 14.36 y 13.17% respectivamente, siendo la Microcuenca El Bosque la que ocupa la menor extensión con 1.73% del área total.

Como se observa en el Cuadro No.1, el Municipio de Guatemala abarca la mayor parte del área con el 44.35%, siguiéndole el Municipio de Mixco el 25.73% del área, siendo el Municipio de Magdalena Milpas Altas el que menos área abarca dentro de la Subcuenca (0.11%). Para el estudio de los Recursos Naturales Renovables dentro de la Subcuenca, está se dividió en Microcuenca; en la Figura No. 1 se presenta la ubicación de las Microcuencas dentro de la Subcuenca del Lago de Amatitlán.

Morfometría

Dimensión de las Microcuencas

En el cuadro No. 2 se presenta el área, perímetro, longitud máxima y ancho máximo respectivo, de las Microcuencas.

Cuadro No. 2 Área, Longitud Máxima, Ancho Máximo y Perímetro de las Microcuencas en la Subcuenca Lago de Amatitlán.

Microcuenca	Area (Has)	%Area	Longitud Max. Km.	Ancho Max. Km.	Perímetro Kms.
Platanitos	5,003	13.17	16.00	6.10	43.50
Amatitlán	6,384	16.80	23.35	11.43	44.62
El Bosque	656	1.73	5.05	2.30	13.75
Tuluja	1,130	2.98	6.75	3.90	17.00
Las Minas	5,458	14.36	9.90	6.50	28.00
Pinula	4,563	12.00	38.65	3.95	45.00
Villalobos	4,002	10.53	21.80	6.75	58.00
Molino	4,810	12.66	19.10	4.00	44.50
San Lucas	4,355	11.46	11.35	5.00	34.12
Arenal	1,639	4.31	10.50	3.00	24.37
	38.000	100.00			

La Microcuenca Pinula posee la mayor longitud (38.65kms.) siguiéndole en orden las Microcuencas Amatitlán (23.35 Kms) y Villalobos(21.80 Kms.); la Microcuenca Amatitlán tiene el mayor ancho (11.43 kms.) siguiéndole las Microcuencas Villalobos

(6.75 Kms.) y las Minas (6.50 Kms) siendo nuevamente la Microcuenca El Bosque la que se caracteriza por poseer el menor largo y ancho de las Microcuencas, (5.05 y 2.30 Kms.) respectivamente; en relación al perímetro la Microcuenca Villalobos posee el mayor perímetro (58 Kms), siguiéndoles las Microcuencas Pinula y Molino con 45 y 44.5Kms respectivamente. Mientras que la microcuenca El Bosque posee el perímetro más pequeño (13.75 Kms).

Pendiente del Cauce

En la figura 2 se muestra el perfil (elevación en msnm/ distancia en Kms) del recorrido de los cauces principales de cada una de las microcuencas y en el cuadro 3 se resumen estas características.

Cuadro No. 3 Pendiente Mayor, Media y Menor, Altura msnm del Nacimiento y Altura de confluencia de los cauces de las Microcuencas que conforman la Subcuenca del Lago de Amatitlán.

Subcuenca	Pend.Mayor (%)	Pend. Media (%)	Pend. Menor (%)	Altura Mayor msnm	Altura Menor msnm
Pinula	6.33	1.88	1.11	1700	1220
Villalobos	3.46	1.56	1.00	1480	1220
Molino	12.00	3.49	2.00	2800	1300
San Lucas	12.67	6.29	6.00	2200	1300
Arenal	12.00	6.40	3.33	1800	1300
Las Minas	20.00	2.62	1.43	1800	1220
Tuluja	15.38	6.43	4.17	1780	1220
Amatitlán*	-----	----	----	----	----
Platanitos	14.25	2.35	1.16	1200	1300
El Bosque	9.66	7.04	4.72	1600	1220

* El presente cuadro no incluye datos de la Microcuenca Amatitlán por no poseer un cauce definido.

El cauce de las Microcuencas Tuluja y Arenal poseen la pendiente media más alta 6.43 y 6.40% respectivamente lo que

PERFIL DE LOS CAUCES DE LAS MICROCUENCAS DEL LAGO DE AMATITLÁN

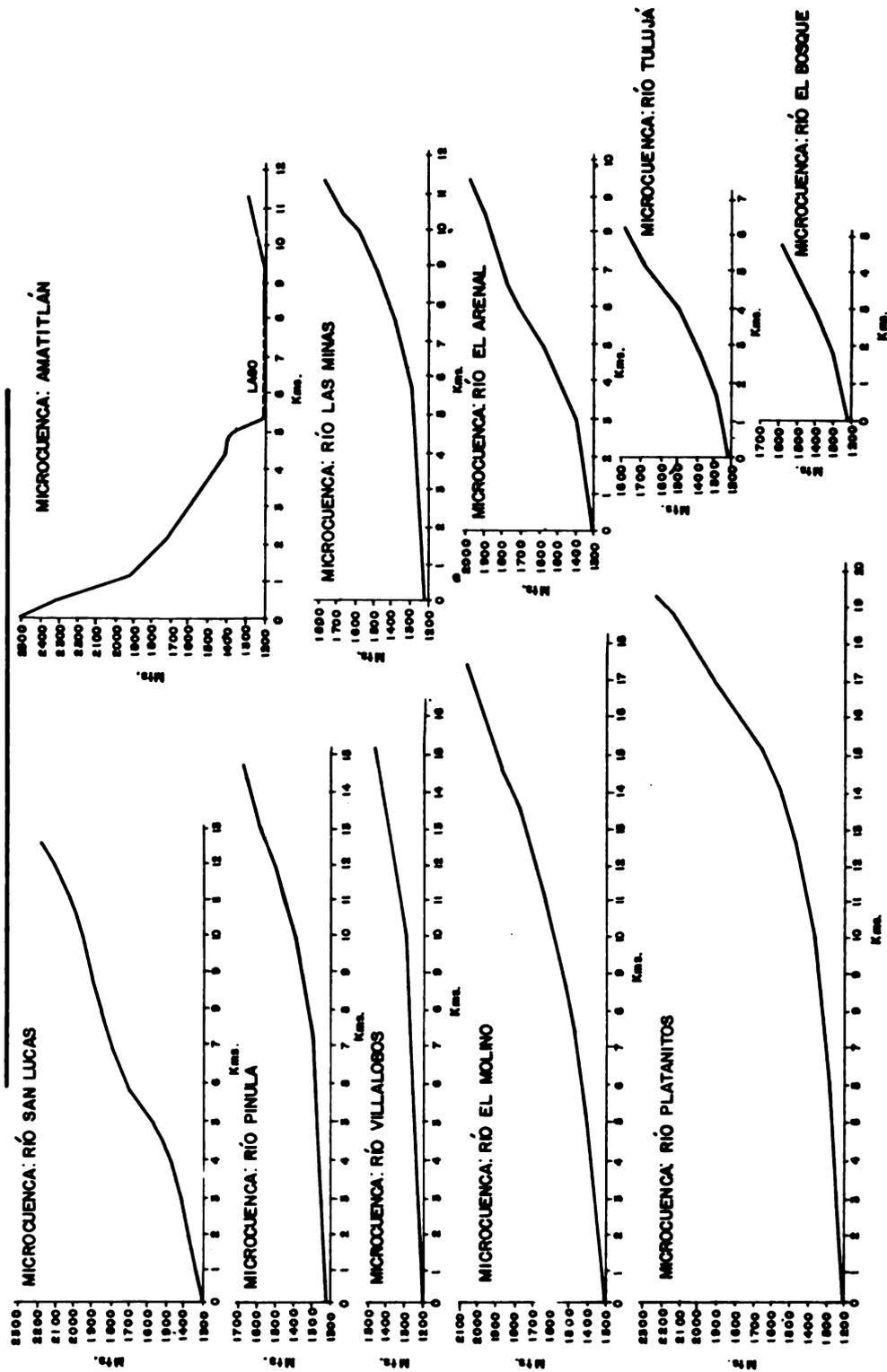


FIG. N.º 2

implica que la velocidad del flujo en estas sea mayor, lo que equivale a decir que estas microcuencas tendrían la posibilidad de transportar con más velocidad los sedimentos que arrastran hacia su desembocadura en este caso el Río Villalobos.

Factor de Forma

Es un factor que da algunas indicaciones de las crecidas, ya que una cuenca con factor bajo es menos propensa a tener lluvias intensas sobre toda la superficie. En las cuencas que tienden a ser más redondas, la probabilidad de tener lluvias intensas es mayor, que en aquellas que tienden a ser alargadas. En el cuadro No. 4 se presentan los resultados de este parámetro en cada una de las microcuencas que conforman la Subcuenca del Lago de Amatitlán.

Cuadro No. 4 Factor de forma de las Microcuencas de la Subcuenca del Lago de Amatitlán.

Microcuenca	Factor de Forma	Clasificación
Pinula	0.1170	bajo
Villalobos	0.1080	bajo
Molino	0.1298	bajo
San Lucas	0.2145	Medianamente alto
Arenal	0.1418	bajo
Las Minas	0.3790	Medianamente alto
Tuluja	0.0785	Muy Bajo
Amatitlán*	-----	-----
Platanitos	0.1190	bajo
El Bosque	0.2169	Medianamente bajo

* El presente cuadro no incluye datos de la Microcuenca Amatitlán por no poseer un cauce definido.

En la Microcuenca Tuluja el factor de forma (0.078) se considera muy bajo, lo que indica que no puede tener lluvias intensas en su superficie. Las Microcuencas Piñula, Villalobos, Arenal y Platanitos, tienen factores de forma bajos (0.1170,0.1080,0.1418,0.1190 respectivamente), lo cual implicaría que son menos propensos a tener lluvias intensas sobre toda su superficie, por el contrario las Microcuencas San Lucas, Las Minas y el Bosque poseen un factor de forma medianamente alto (0.2145,0.3790y 0.2169 respectivamente), lo que supone que en estas Microcuencas la posibilidad de tener lluvias intensas en su superficie es mayor, siendo esta probabilidad más grande en la Microcuenca Las Minas.

Coefficiente de Compacidad (Kc.)

El coeficiente de compacidad relaciona el perímetro de la Microcuenca con el área de la misma, cuando este tiende a la unidad aumenta el peligro de crecidas, ya que la distancia relativa de los puntos más alejados de la Microcuenca con respecto a uno central, son menores lo que indica que al ocurrir una alta precipitación los drenajes tenderían a unirse en un corto lapso. En el cuadro No.5. se presentan los valores obtenidos en cada una de las microcuencas estudiadas.

Cuadro No. 5 Coeficiente de compacidad de las Microcuencas que conforman la Subcuenca del Lago de Amatitlán

Microcuenca	Coefficiente
Pinula	1.8742
Villalobos	2.5823
Molino	1.8100
San Lucas	1.4587
Arenal	1.6984
Las Minas	1.0691
Tuluja	1.4266
Amatitlán	1.5755
Platanitos	1.7379
El Bosque	1.5144

La Microcuenca Villalobos tiene un coeficiente de compacidad de 2.5863, el que determina que el ocurrir una elevada precipitación (intensa y duradera), el tiempo de concentración sea alto, disminuyendo de esta manera el peligro de crecidas. Las Microcuencas Pinula, Platanitos y Arenal tienen (1.8742, 1.7379 y 1.6984 respectivamente), la misma característica que la Microcuenca del Villalobos, aún cuando el tiempo de concentración va disminuyendo, aumentando el peligro de crecidas en forma inversamente proporcional. De las Microcuencas que tienen un coeficiente de compacidad tendiendo a la unidad se considera que son más propensas a sufrir crecidas, la microcuenca Las Minas con un coeficiente de compacidad de 1.069, Tuluja (1.4266), San Lucas (1.4587), el Bosque (1.5144) y Amatitlán (1.5755) estarían en esta categoría.

Indice de Alargamiento e Indice de Homogeneidad:

Estos índices definen el grado de alargamiento y lo cuadrado de una cuenca, ya que una cuenca alargada tiende a ser menos susceptible a crecidas que una redonda. En el cuadro No. 6 se presentan los valores obtenidos en estos perímetros en las Microcuencas de la Subcuenca del Lago de Amatitlán. Las Microcuencas tienden a ser más alargadas y rectangulares que cuadradas, a excepción de las Microcuencas Las Minas y Tuluja, las cuales tienden a ser más cuadradas.

Cuadro No. 6 Índice de alargamiento obtenido en las Microcuencas que contienen la Subcuenca del Lago de Amatitlán.

<u>Microcuenca</u>	<u>Indice de Alargamiento</u>	<u>Indice de Homogeneidad</u>
Pinula	9.785	0.2989
Villalobos	3.156	0.2720
Molino	2.52	0.6900
San Lucas	2.27	0.7674
Arenal	3.50	0.5203
Las Minas	1.523	0.8482
Tuluja	1.7318	0.4292
Amatitlán	2.043	0.2392
Platanitos	2.623	0.5126
El Bosque	2.20	0.5148

Elevaciones

Altitud Media:

La altitud media de una cuenca es la altura más representativa dentro de la misma, por las características altitudinales de la Subcuenca, la altitud media varía entre las microcuencas como se puede apreciar en el cuadro No. 7

Cuadro No. 7 Altitud Media de las Microcuencas que conforman la Subcuenca del Lago de Amatitlán.

Microcuenca	Altitud Media MSNM	Altitud Mayor MSNM	Altitud Menor MSNM	Diferencia
Pinula	1131	1500	1300	200
Villalobos	1388	1500	1200	300
Molino	1777	2200	1400	800
San Lucas	1798	2200	1400	800
Arenal	1644	2100	1300	800
Las Minas	1549	1900	1300	600
Tuluja	1588	1800	1300	500
Amatitlán	1128	2400	1200	1200
Platanitos	1528	2300	1400	900
El Bosque	1525	1700	1300	400

La Microcuenca San Lucas posee la mayor altitud media (1798 msnm); siguiéndole en orden la Microcuenca Molino (1777msnm), y el Arenal (1644 msnm), siendo la Microcuenca Pinula la que posee la menor altitud media (1131msnm). En relación a la diferencia de altura, se puede notar que en la Microcuenca Amatitlán está es de 1200 Mts. en 23.35 kms. lo cual influye en el sistema de drenaje el tipo de precipitación y el arrastre de sedimentos. Las microcuencas Pinula, Molino, San Lucas, y Arenal tiene una diferencia de nivel en 800 mts. siendo la Microcuenca Arenal la más propensa al arrastre de sedimentos.

Curva Hipsométrica

La curva Hipsométrica muestra el área de la cuenca con respecto a su elevación, además se puede utilizar como guía para determinar la edad o estado de un Río, así como el grado de erosión geológico.

En relación a la forma de la curva, si ésta tiende a ser representativo de una función exponencial se considera que se encuentra en un estado muy maduro, si la curva tiende a ser representativa de una función cuadrática, se considera que se encuentra en estado joven, y si la curva tiende a ser una transición entre las dos anteriores se considera que se encuentra en estado maduro.

En la figura No. 3 se aprecia las curvas hipsométricas de cada una de las Microcuencas del presente estudio, se observa que la Microcuenca Pinula, Villalobos, Platanitos y El Molino se pueden clasificar como maduras y las Microcuencas Arenal, San Lucas, Las Minas, El Bosque y Tuluja se enmarcan dentro de la categoría de cuencas jóvenes.

Pendiente Media

La pendiente media de las Microcuencas puede ser apreciada en el cuadro número 8.

Cuadro No. 8 Pendiente Media de las Microcuencas que conforman la Subcuenca del Lago de Amatitlán.

Microcuenca	Pendiente Media %
Pinula	12.93
Villalobos	0.077
Molino	16.32
San Lucas	16.51
Arenal	17.36
Las Minas	20.24
Tuluja	22.79
Amatitlán	16.09
Platanitos	12.57
El Bosque	17.61
Sub Cuenca Amatitlán	12.55

CURVAS HIPSOMÉTRICAS

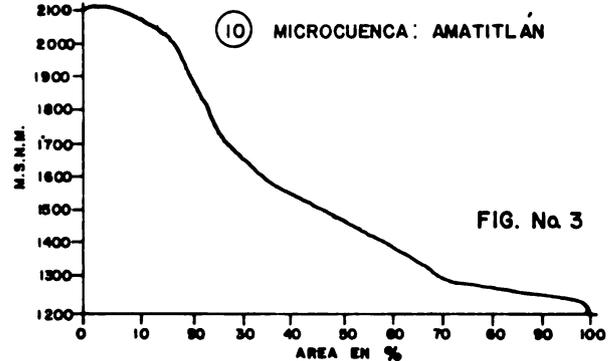
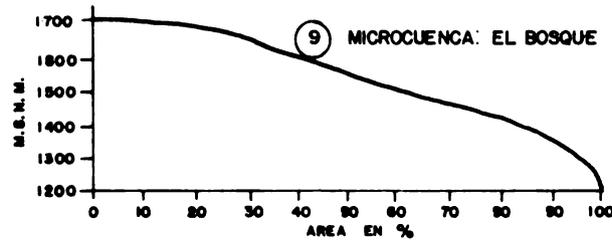
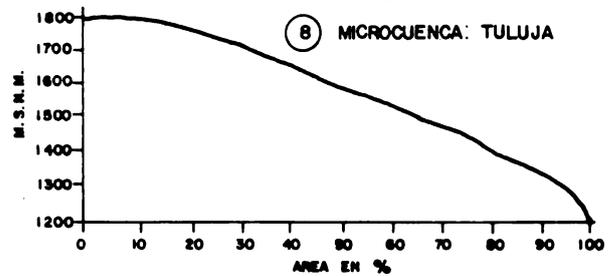
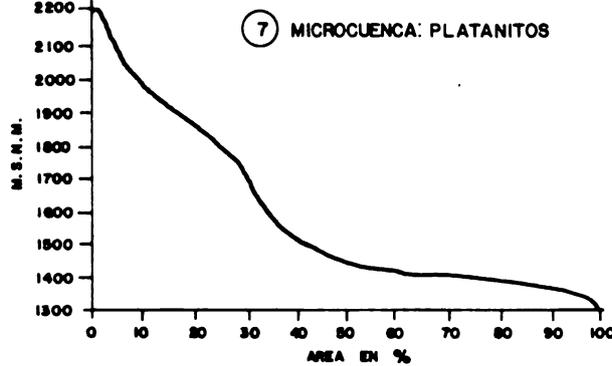
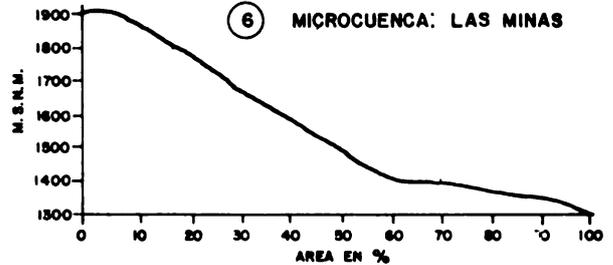
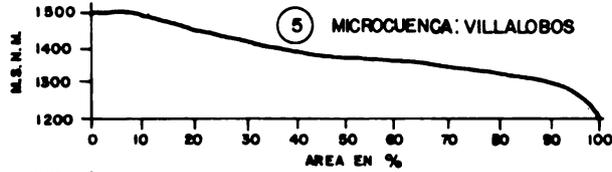
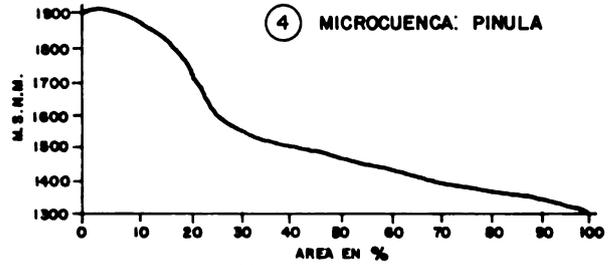
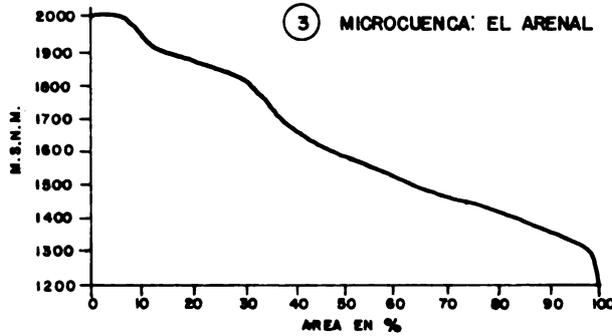
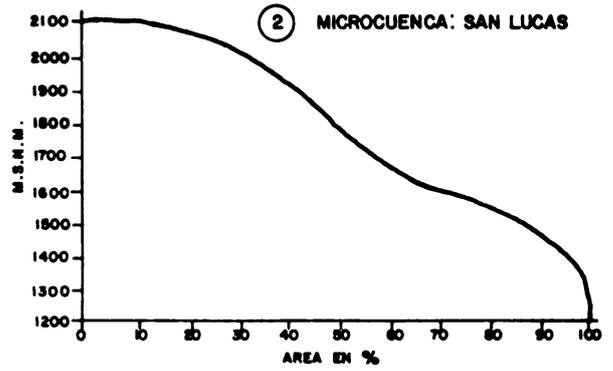
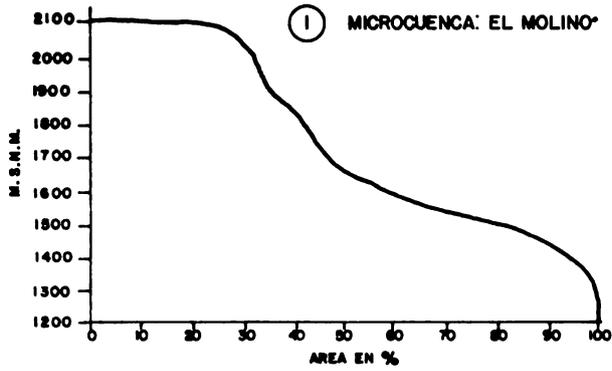


FIG. No 3

La microcuenca Tuluja posee una pendiente media de 22.79%, este es la pendiente más representativa de la microcuenca, lo que determina terrenos que necesitan prácticas mecánicas de conservación de suelos, cuando son utilizados para producción de cultivos anuales. En orden descendiente le siguen la Microcuenca Las Minas la cual posee una pendiente media de 20.24% que al igual que la Microcuenca Tuluja posee terrenos que al ser utilizados para la producción agrícola principalmente cultivos limpios, deben ser manejados con práctica mecánica de conservación de suelos.

En las Microcuencas El Bosque, Arenal, San Lucas, Molino, y Amatitlán la pendiente media varía del 17.61 a 16.09%, lo que da el indicativo de que los terrenos poseen características topográficas similares. La producción agrícola que se desarrolla en estos terrenos deben efectuarse con prácticas de conservación de suelos pero no tan rigurosas como en las Microcuencas descritas anteriormente.

La pendiente media en las Microcuencas Platanitos, y Pinula es de 12.57 y 12.93% respectivamente, estos valores determinan terrenos medianamente ondulados, lo que indica que al ser utilizados en la producción de cultivos anuales estos deben diseñarse como prácticas menores de conservación de suelos. La Microcuenca Villalobos presenta un valor de pendiente de 0.077 % lo que determina que la mayoría de los terrenos poseen la pendiente adecuada para la producción de cultivos anuales sin mayores restricciones.

Morfometría de la Red de Drenaje

Clases de Microcuencas

El destino que tomen las aguas del cauce determina la clase de la microcuenca, de esta manera las Microcuencas El Molino, San Lucas, Arenal, Pinula, Las Minas, Tuluja, Platanitos y El Bosque, se clasifican como arreicas en la época de estiaje, ya que sus aguas se pierden en el camino por evaporación, e infiltración, no así en invierno donde todos las Microcuencas se clasifican como

internas, ya que sus aguas desembocan en otra corriente de agua más grande y caudalosa.

Sistema de Drenaje

En la figura No. 4 se aprecia el sistema de drenaje en cada una de las Microcuencas, así las Microcuencas Pinula, Villalobos, Molino, San Lucas, Platanitos presentan el drenaje en forma centrípeta, la cual es una variante del avenamiento radial. Las Microcuencas Tuluja y las Minas presentan su red de avenamiento en forma subdendrítica. Este tipo de avenamiento se desarrolla en áreas en las que la pendiente y el control estructural son distintas al de las áreas de los cursos tributarios. El área avenada por los cursos tributarios está cubierta probablemente por unos sedimentos relativamente resistentes y del mismo tamaño, esto se ajusta a la geología de ambas Microcuencas.

La Microcuenca el Arenal presenta el drenaje en forma pinada, indica claramente una pendiente uniforme, la textura fina (muchos cursos por unidad de superficie), indica suelo impermeable. Esta forma casi siempre se encuentra en áreas cubiertas de loess como ocurre en ésta Microcuenca. La Microcuenca El Bosque presenta drenaje en forma asimétrica, está se forma a veces cuando un cauce fluvial atraviesa capas sedimentarias. La Microcuenca Amatitlán, tiene una red de avenamiento en forma radial centrípeta, la cual es más acentuada en la depresión denominada El Durazno. Esta forma se desarrolla cuando el agua fluye hacia el interior y baja hacia una depresión donde se almacena y se infiltra.

Densidad de Drenaje

La densidad de drenaje es un elemento que compone la textura del avenamiento, la cual se refiere al número y espacio relativo de los cursos de agua por unidad de área de la cuenca de avenamiento; el otro elemento que compone la textura del avenamiento es la frecuencia de cursos, el cual se refiere al número total de cursos existentes en la Cuenca, en relación al área de la misma. Con los resultados de estos parámetros puede

MAPA DE PATRON DE DRENAJE
SUB-CUENCA DEL LAGO DE AMATITLAN

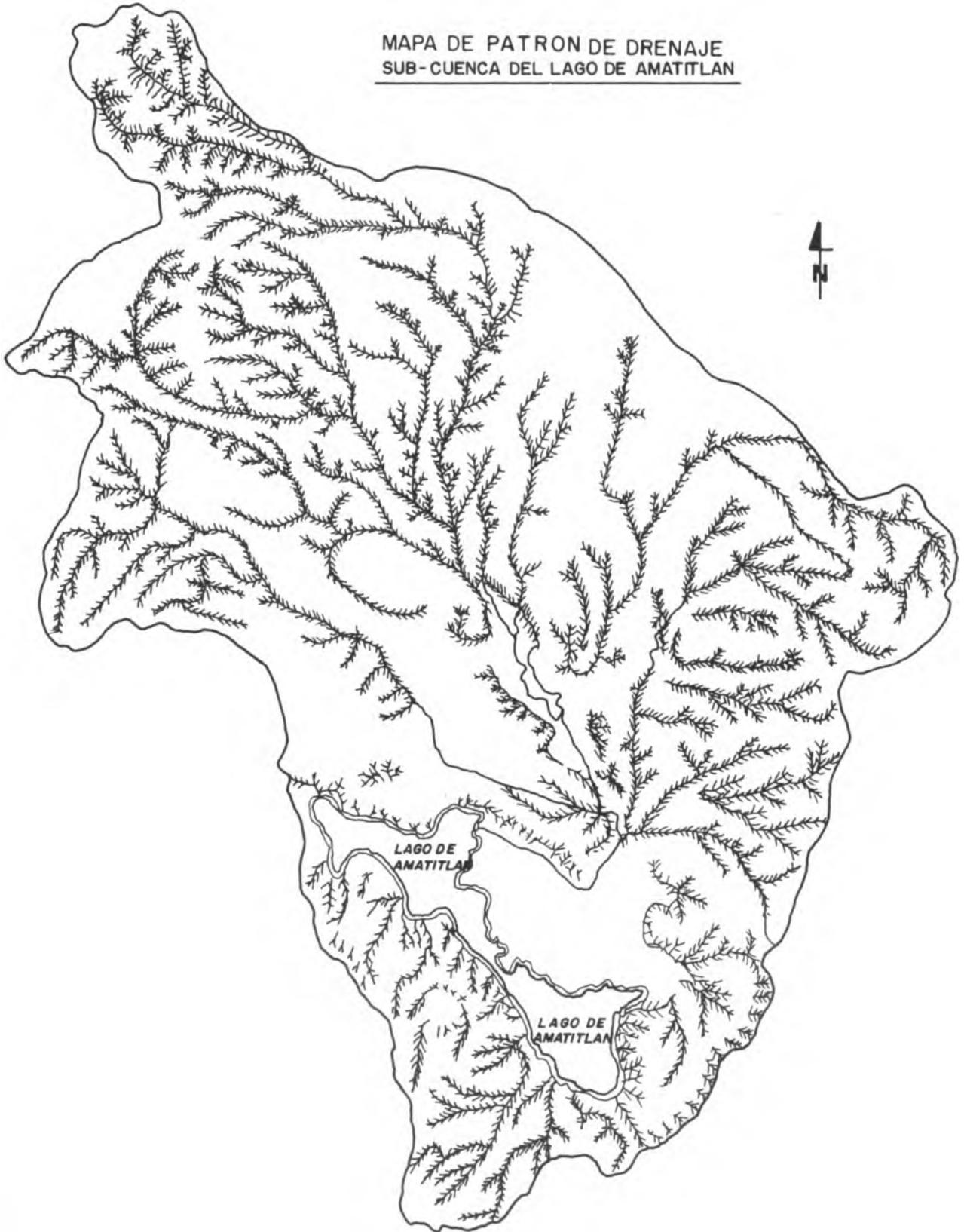


FIG. No. 4

calcularse los números relativos de percolación o infiltración del agua, en el interior del suelo. En el cuadro No. 9 se presentan los resultados obtenidos en las Microcuencas de la Subcuenca del Lago de Amatitlán.

Cuadro No. 9. Densidad de Drenaje, Frecuencia de Cursos y Capacidad de Infiltración de las Microcuencas de la Subcuenca del Lago de Amatitlán.

Microcuenca	Densidad Drenaje Km./Km ²	Frecuencia Cursos Número/Km ²	Capacidad Infiltración
Pinula	2.00	0.087	0.17 5-
Villalobos	1.60	0.074	0.12 7-
Molino	2.98	0.131	0.39 4-
San Lucas	2.53	0.125	0.32 5-
Arenal	4.44	0.118	0.52 2-
Las Minas	2.63	0.064	0.17 5-
Tuluja	5.70	0.132	0.75 1-
Amatitlán	1.90	0.017	0.13 6-
Platanitos	2.08	0.060	0.18 7-
Bosque	4.61	0.100	0.46 3-

La Microcuenca Tuluja presenta la Mayor densidad de drenaje, y mayor capacidad de infiltración, aún cuando su capacidad de infiltración es alta, el drenaje esta influenciado por la pendiente, lo que determina que al saturarse los suelos, el agua tienda a evacuarse rápida y eficientemente provocando graves riesgos de erosión y transporte de sedimentos, si el área no cuenta con una cobertura vegetal adecuada. La Microcuenca el Bosque y Arenal presentan una alta densidad de drenaje y su capacidad de infiltración es alta, lo cual determina que los suelos se saturen en un largo período de tiempo. Debido a su alta densidad de drenaje el agua es rápida y eficientemente evacuada, sin embargo, si los terrenos no cuentan con una cobertura vegetal puede provocarse serios daños erosivos con la consecuente desaparición del recurso suelo

Las Microcuencas El Molino, Las Minas, San Lucas y Platanitos, presentan relativamente baja densidad de drenaje y baja capacidad de infiltración lo cual determina que el agua es lentamente evacuada, lo que puede provocar un proceso de erosión laminar, el cual afecta a largo plazo la desaparición y productividad del suelo. Finalmente las Microcuencas Pinula, Amatitlán, y Villalobos presentan baja densidad de drenaje y baja capacidad de infiltración, lo que puede provocar graves problemas de erosión laminar en su terreno, con riesgos a pasar a grados más altos de erosión.

Suelo

Geología

En la Microcuenca Pinula se encuentran presentes seis capas geológicas, pero el mayor porcentaje de su área se encuentra constituido por sedimentos eólicos, flujos de ceniza y sedimentos fluviales. Igualmente en la Microcuenca El Molino, donde ésta capa ocupa el 51.97% de su área. En la Microcuenca Villalobos el mayor porcentaje de su área se encuentra constituido por sedimentos eólicos, flujo de ceniza, sedimentos fluviales y lacustres.

La Microcuenca San Lucas posee el 70% de su área constituido por sedimentos eólicos fundamentalmente ceniza, igual característica presentan las Microcuencas Platanitos, Arenal y El Bosque; mientras que en las Microcuencas Las Minas y Tuluja la mayor proporción de sus áreas está constituida por tobas soldadas con sedimentos, en la Microcuenca Amatitlán el mayor porcentaje de su área está ocupado por aluvión. En el cuadro No. 10 se presenta la distribución de las distintas capas geológicas superficiales que se encuentran dentro de las Microcuencas estudiadas. La distribución de las capas geológicas puede apreciarse en la Figura No. 5.

Génesis

Los suelos de las Microcuencas han sido desarrolladas sobre ceniza volcánicas a elevaciones medias a excepción de la parte

MAPA GEOLOGICO
SUB-CUENCA DEL LAGO DE AMATITLAN



FIG. No. 5

FUENTE: ESTUDIO INTEGRAL DE AGUAS SUBTERRANEAS EN EL VALLE DE GUATEMALA.

Los suelos desarrollados sobre cenizá volcánica a elevaciones altas son de color café, pseudo alpinos, de textura franca a franco arcillosa para los suelos superficiales siendo ligeramente ácidos y de un espesor que varía de veinticinco a cincuenta centímetros. Los subsuelos son de textura franco arcillosa, ligeramente ácidos, color café rojizo, que llegan hasta un metro de profundidad y más.

Fisioqraffía

Típicamente una cuenca se divide en tres partes: Altas, media y baja, la topografía es quebrada en la parte alta, ondulada y llana en la parte media y baja respectivamente. La subcuenca Amatitlán no presenta esta característica, ya que su parte alta es escarpada presentando mesetas planas. La parte media es escarpada a ondulada presentando cimas planas y la parte baja es ondulada a plana. En la Figura No. 6 se observa la dirección de tres perfiles elaborados para determinar las características fisiográficas de la Subcuenca. El perfil A-A se encuentra localizado sobre el paralelo No. 14° 33' 12.6" de la Granja El Trebbol hasta la Granja San Rafael, se aprecia la parte alta escarpada, presentando terrazas naturales, la parte media y baja presenta grandes ondulaciones como también terrenos llanos.

El perfil B-B se localiza desde Cerro Grande hasta Santa Catarina Pinula, en él se puede apreciar lo escarpado del terreno hasta el Lago de Amatitlán, de ahí presenta ondulaciones hasta terminar en planicie. El perfil C-C se realizó desde Santa Elena Barillas, hasta el Oeste de la Aldea Buena Vista, se aprecia lo escarpado del terreno hasta el Lago de Amatitlán, luego continua por terrenos llanos levemente inclinados los cuales aumentan su inclinación en forma brusca, formando terrenos escarpados con terrazas naturales y pronunciadas mesetas.

Pendiente

Las pendientes fueron clasificadas en 8 rangos para facilitar la elaboración del mapa de pendientes; en el cuadro No. 11 se presenta la distribución de los rangos de pendientes

Cuadro No. 10 Distribución de las Capas Geológicas Superficiales en las Microcuencas que conforman la Subcuenca del Lago de Amatitlán.

Microcuenca	Capa Geológica							
	% Area							
	Qa1	Q1	Qpf	QP	Qp1	T1	Tp	K1
Pinula	7.54	--	41.85	26.05	15.17	3.33	6.05	----
Villalobos	9.08	--	27.26	2.70	43.25	4.09	----	----
El Molino	----	--	51.97	32.66	2.18	2.49	10.68	----
San Lucas	0.09	--	28.27	70.00	4.31	5.51	0.83	----
Arenal	0.73	--	8.60	62.42	20.93	7.32	-----	----
Las Minas	10.95	--	15.87	23.49	16.09	8.28	25.32	----
Tuluja	1.06	--	-----	35.84	3.54	13.80	45.75	----
Amatitlán	22.47	19.38	-----	21.21	0.76	15.47	1.22	0.40
Platanitos	1.26	--	-----	47.43	45.63	5.67	-----	----
El Bosque	3.04	--	-----	65.85	-----	----	31.10	----

Qa1	Aluvión
Q1	Lava basáltica, Pacífica y Riodacítica
Qp	Sedimentos eólicos fundamentalmente cenizas
Qpf	Sedimentos eólicos, flujos de ceniza, sedimentos fluviales.
Qp1	Sedimentos eólicos, flujos de ceniza, sedimentos fluviales y lacustres.
T1	Lava basáltica endisítico y riolitica
Tp	Toba soldada con sedimentos
Ki	Intrusivos graníticos-Gronodioritocos.

alta de las Microcuencas El Arenal, San Lucas y El Molino, las cuales se han desarrollado sobre cenizas volcánicas pero a elevaciones altas. Los suelos desarrollados sobre ceniza volcánica a elevaciones medias son poco profundas, de textura franca y franca arcillosa hasta los 30 cms. Los subsuelos son de textura franco arcillosa de café claro o café amarillento, ligeramente ácidos, que promedian hasta un metro de profundidad.

en cada una de las Microcuencas evaluadas.

Cuadro No. 11 Rango de Pendientes y Porcentajes de cada una de las Microcuencas que conforman la Subcuenca del Lago de Amatitlán.

Microcuenca	Rango de Pendiente en %								
	% del Area	0-8	8.16	16-20	20-32	32-40	40-50	50-60	60
Pinula	65.90	8.22	2.01	1.10	3.03	5.54	14.20	--	
Villalobos	78.78	2.06	3.32	0.18	9.91	3.37	2.49	--	
El Molino	43.15	12.54	1.58	0.88	1.07	10.53	29.06	1.2	
San Lucas	38.69	11.95	4.48	6.02	4.22	4.04	30.11	0.5	
Arenal	28.43	5.37	10.74	5.19	4.09	2.32	43.86	---	
Las Minas	36.69	1.70	5.07	10.02	2.10	13.19	29.64	1.6	
Tuluja	1.05	10.58	3.62	9.82	10.58	3.05	61.30	---	
Amatitlán	33.22	10.17	3.84	10.24	2.78	8.86	17.68	13.2	
Platanitos	54.43	3.82	10.17	3.91	2.96	5.76	13.33	2.6	
El Bosque	5.29	34.53	-----	6.38	5.75	6.84	25.97	15.2	

En la Microcuenca Pinula se encuentran delimitados siete rangos de pendiente, los terrenos con pendientes de 0-8% se encuentran a lo largo y ancho de la microcuenca, representan el 65.90% del área total en la misma. Las áreas donde la inclinación varia de 8-16% se localizan en mayor proporción al Este de la Microcuenca, aún cuando también se pueden observar en el centro de la misma. En la parte Sur de la Microcuenca se agrupan los terrenos con una inclinación de 16-32% mientras que aquellos que posee un % de pendiente de 32-40% se pueden localizar al Este de la Microcuenca; al Centro y Este de la Microcuenca se agrupan aquellos terrenos que tienen un declive de 40-50% mientras que los terrenos con pendientes de 50-60% se encuentran formando las laderas del cuace. La ubicación de los rangos de pendientes en la Microcuenca pueden apreciarse en la figura No. 7.

La Microcuenca Villalobos presenta bastante homogeneidad en

PERFILES TOPOGRAFICOS DE LA SUB-CUENCA DEL LAGO DE AMATITLAN

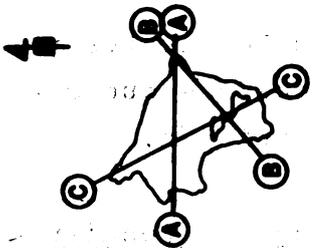
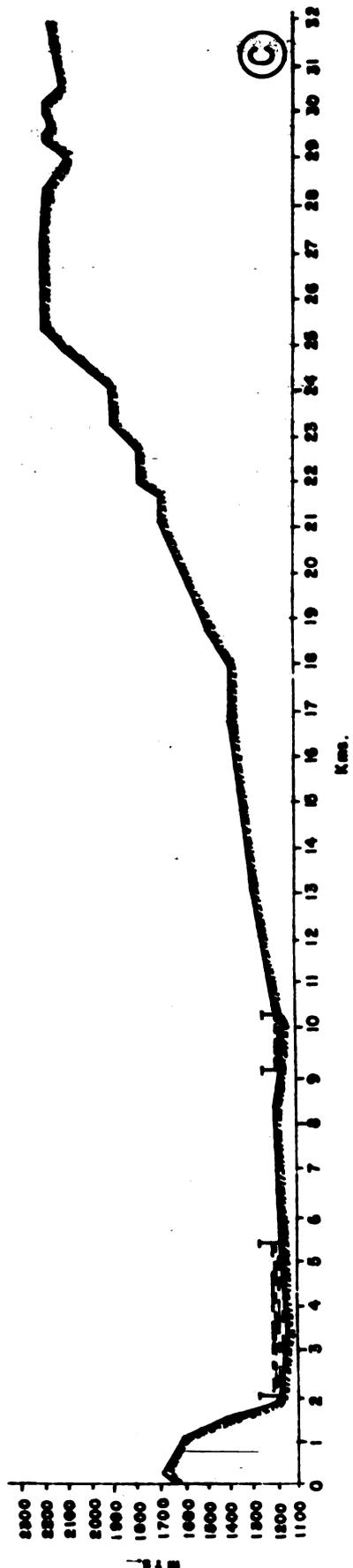
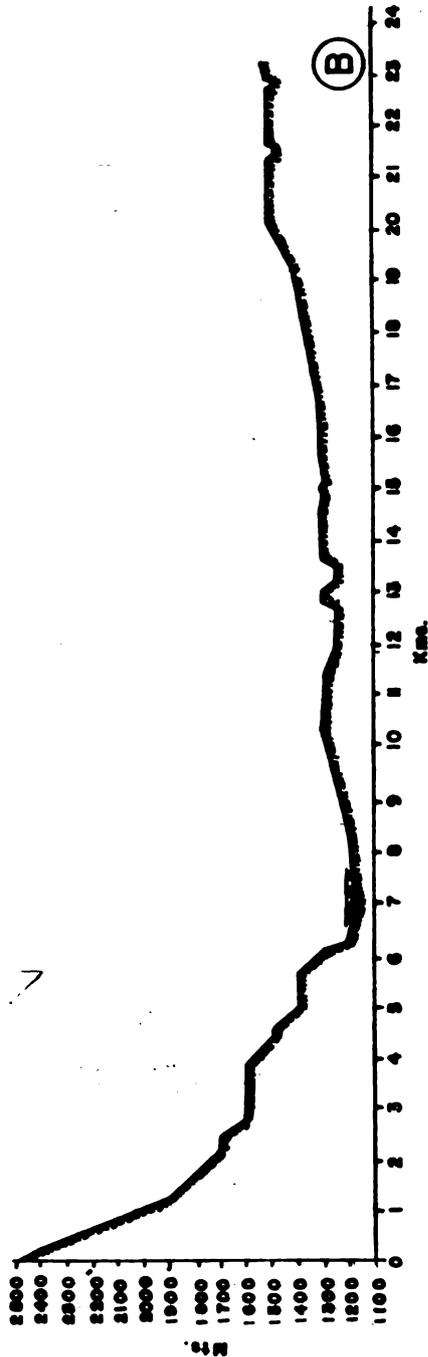
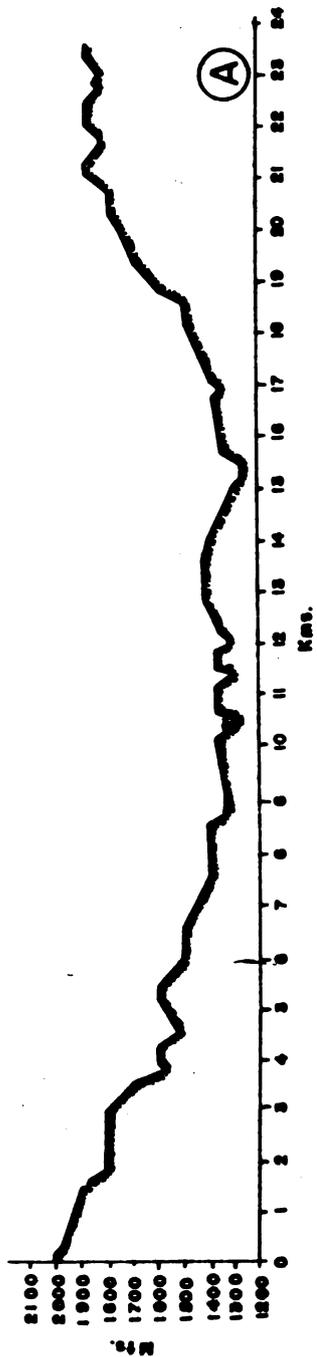


FIG. No. 6

**MAPA DE ANALISIS DE PENDIENTES
SUB-CUENCA DEL LAGO DE AMATITLAN**



REFERENCIAS

A	0 - 8 %
B	8 - 18 %
C	18 - 20 %
D	20 - 32 %
E	32 - 40 %
F	40 - 50 %
G	50 - 60 %
H	> - 60 %
□	MASA DE AGUA

FIG. No. 7

la mayoría de su superficie ya que el 78.74% de la misma tiene una inclinación de 0-8%, en el restante 21.26% de su área se pueden encontrar terrenos con un porcentaje de pendiente que varía desde 8-16% en una limitada extensión al Sureste de la Microcuenca, sin embargo, las laderas del cauce presentan pendientes del orden de más del 50%.

La Microcuenca El Molino, en la parte alta presenta, terrenos que tienen declives de 0-8% hasta áreas con pendientes de más de 60%, mientras que la parte media y baja la ocupan terrenos con declives de 0-8%, sin embargo, las laderas del cauce poseen una inclinación de 50-60%.

En la Microcuenca San Lucas, al igual que en las anteriores, presentan en las laderas de sus cauces terrenos con pendientes de 50-60%, mientras que las áreas con pendientes de 0-8% se pueden localizar al Este y Oeste de la Microcuenca, además, existen terrenos con pendientes intermedios entre los rangos mencionados, los cuales se localizan al centro de la Microcuenca.

El Arenal es la Microcuenca donde el 46.1% de su área se encuentran en terrenos con pendientes que van de 40-60%, los cuales forman las laderas del cauce, el 44.74% de su área se encuentra ocupada por terrenos que poseen pendientes que van de 0-20% en estos los que tienen una inclinación de 0-8% son los que aportan mayor área y se pueden localizar al Centro y Oeste de la Microcuenca.

La Microcuenca Las Minas presenta al Sur y al Este terrenos, con un declive de 40 a 60% lo que representa el 43.46% de su área total, sin embargo, el 36.69% de la superficie total de la Microcuenca posee declives que van de 0-8% y se encuentran concentrados al Oeste de la misma.

En la Microcuenca Tuluja, el 64.35% de su extensión posee áreas con pendientes de 40-60% las cuales se encuentran en la parte central de la Microcuenca, mientras que el resto del área se encuentra distribuída en los rangos de pendientes evaluados.

En la Microcuenca Amatitlán, los terrenos que presentan un declive de 0-8% constituyen el 33.22% del área total a la Microcuenca, estos se encuentran localizados en su mayor parte

al Norte y Este de la Microcuenca. Al sur de la Microcuenca se localizan terrenos con pendientes más pronunciadas, donde se encuentran áreas con pendientes que van de 8 hasta más de 60%. Al Noroeste de la Microcuenca se localizan terrenos que poseen pendientes mayores de 60%.

En la Microcuenca Platanitos el 54.43% de su territorio se encuentra ocupado por terrenos que poseen una pendiente que varía de 0-8%, dichos terrenos se encuentran concentrados en la parte media y baja de la microcuenca. La parte alta de la Microcuenca está constituida por declives heterogéneos, pero predominan aquellos que presentan una pendiente de 50-60%.

En la Microcuenca El Bosque predominan los terrenos con pendientes de 8-16% los cuales se localizan al Este y Oeste de la misma, sin embargo, el cambio de declive es bastante abrupto, ya que después de los terrenos con el rango mencionado se localizan terrenos con pendientes de 50-60% hasta más de 60%.

Susceptibilidad a la Erosión

El fenómeno de la erosión es producto de la interrelación de las características de los suelos, mal uso de la tierra, tipo de vegetación, pendientes y precipitación pluviométrica. El estudio realizado en las Microcuencas que conforman la Subcuenca del Lago de Amatitlán para determinar la susceptibilidad a la erosión se basó en la variable pendiente y drenaje, por constituir estos los factores predominantes en el proceso erosivo.

En el cuadro No. 12 se presenta el área susceptible a erosionarse en las Microcuencas estudiadas y en la Figura No. 8 se muestra el mapa de Análisis de Erosión. La Microcuenca Villalobos posee la mayor proporción a su área (65.42%) con una susceptibilidad a la erosión laminar, siguiéndole las Microcuencas Pinula (58.80%) las Minas (52.88%), y el Molino (46.02%) y Platanitos (44.11%) lo cual indica que en estas Microcuencas el proceso erosivo puede ser leve; sin embargo, hay que hacer notar que las Microcuencas Villalobos y Pinula sus áreas se encuentran ocupadas por la infraestructura de la Ciudad Capital. En relación a la otra forma de erosión, más destructiva

MAPA DE ANALISIS DE EROSION
SUB-CUENCA DEL LAGO DE AMATITLAN



FIG. No. 8

Cuadro No.12 Porcentaje de Areas con Susceptibilidad a la Erosión en las Microcuencas que conforman la Subcuenca del Lago de Amatitlán

Microcuenca	Laminar	Laminar-Surcos	Surcos-Carcavas
Pínula	58.80	3.16	30.05
Villalobos	65.42	1.80	32.78
El Molino	46.02	5.91	48.07
San Lucas	38.55	9.37	32.08
Arenal	11.65	33.92	54.43
Las Minas	52.88	12.68	34.44
Tuluja	6.19	25.84	67.97
Amatitlán	26.59	16.29	58.10
Platanitos	44.11	13.19	42.70
El Bosque	21.95	37.80	40.25

que la laminar, o sea la susceptibilidad en forma laminar-surcos, las Microcuencas Arenal tiene en relación a las otras Microcuencas la mayor cantidad de área susceptible a este tipo de erosión, siguiéndole las Microcuencas El Bosque, Tuluja, y Amatitlán.

La susceptibilidad de la erosión en forma de surco-carcavas es la más peligrosa de las tres formas analizadas, ya que es una forma de erosión altamente degradativa y tiene la característica de ser progresiva de forma lineal. Dentro de las Microcuencas evaluadas, la Microcuenca El Arenal posee el 54.43% de su área bajo esta forma de erosión, siguiéndole la Microcuenca San Lucas, con el 52.03% y la Microcuenca El Molino con el 48.07%.

Uso Actual de la Tierra

El uso que se proporciona a la tierra es uno de los factores que influye en el deterioro de los Recursos Naturales de una cuenca, ya que la utilización de tierras para la agricultura anual o ganadería en zonas que no se adaptan a estos procesos probara la degradación y en último de los casos la pérdida

irreparable del recurso suelo y consecuentemente el desbalance en la dinámica de los ecosistemas.

En la subcuenca del Lago de Amatitlán se estableció el uso que le proporcionara al recurso suelo, con ayuda de fotografía aérea escala 1:30,000 y comprobación de campo. Como se aprecia en el cuadro No.13 en las Microcuencas Pinula y Villalobos la mayor proporción de sus áreas se encuentra ocupada por infraestructura de servicios (viviendas, fábricas, unidades recreacionales, etc.) siguiéndoles las Microcuencas El Molino, San Lucas y Platanitos, la ubicación de este estrato puede ser apreciado en la Figura No. 9. En uso de la tierra con fines agrícolas, se divide en 2 estratos, agricultura anual con la subdivisión de tierras con hortalizas y agricultura perenne; siendo la Microcuenca Platanitos donde existe la mayor concentración de tierras a la agricultura anual (38.12% en relación a su superficie total), siguiéndole las Microcuencas Arenal y Amatitlán con 34.12% y 22.42%, de sus respectivas superficies, en la Microcuenca El Bosque, este estrato representa únicamente el 2.59% de su área total.

En relación al cultivo de hortalizas, este se efectúa únicamente en tres Microcuencas, Villalobos, Pinula y Platanitos. El estrato de áreas con cultivos perennes es el más significativo en la Microcuenca El Bosque, ya que el 82.93% de su superficie se encuentra ocupada por cultivos perennes (principalmente café) siguiéndole la Microcuenca Amatitlán donde el 31.85% de su superficie se encuentra ocupada por este estrato. De todas las Microcuencas estudiadas, únicamente en la Microcuenca San Lucas, no existe ningún área ocupada por cultivos perennes.

En estrato ocupado por gramíneos y guamil ocupa el 22.84% del área total de la Subcuenca siendo en las Microcuencas Tuluja, y el Arenal donde se encuentra en mayor proporción, ya que el 37.88 y 32.70% de sus respectivas áreas se encuentran ocupadas por este estrato; mientras que en la Microcuenca El Bosque este estrato ocupa únicamente el 2.9% de su área.

Las áreas cubiertas por bosque ocupan el 21.64% del área total de la Subcuenca del Lago de Amatitlán, siendo

DIAGNOSTICO PRELIMINAR DE LOS USOS DEL SUELO Y SUS IMPACTOS
AMBIENTALES EN LA SUBCUENCA DEL LAGO DE AMATITLAN

A. González*

O. Illescas*

Introducción

Guatemala por su posición geográfica, características geológicas, topográficas y climáticas, presenta una compleja variedad de recursos naturales.

Al analizar las variadas formas de utilización de los recursos naturales en Guatemala, es evidente que muchas de ellas se convierten en causantes del deterioro de los mismos, efectos que algunas veces puede ser temporal, pero en muchas ocasiones puede provocar la pérdida irremediable de los recursos naturales, cerrando así las opciones a una mejor calidad de vida de las futuras generaciones.

Las formas inadecuadas de utilización de los recursos naturales, se caracterizan por el uso inapropiado del suelo, de acuerdo a su vocación, aplicación de técnicas de cultivo que afectan el medio, avance de la frontera agrícola y ganadera, presión de población, contaminación industrial y urbana, etc.

En la subcuenca del Lago de Amatitlán esta situación se presenta en forma característica, donde el rápido crecimiento de las ciudades, el desarrollo de la industria y las actividades agrícolas características, están provocando impactos ambientales negativos que afectan a este cuerpo de agua y las poblaciones adyacentes. Estos impactos se reflejan en efectos como pérdida de fertilidad de los suelos por erosión, cambios en el régimen hidrológico, sedimentación y contaminación del lago por la acumulación de productos residuales de actividades agrícolas e industriales, así como por el suelo erosionado.

* Funcionarios del Instituto Geográfico Militar -IGM-.

El área urbana de la subcuenca del Lago de Amatitlán parte sur de la ciudad capital, área de influencia y poblados circunvecinos asienta a una población de más de medio millón de habitantes. La construcción de drenajes, hasta hace poco tiempo considerada como medida efectiva de salud pública, se ha convertido en medio de conducción de cantidades siempre crecientes de aguas servidas, que facilitan la transmisión de enfermedades de origen hídrico a los consumidores aguas abajo de los lugares de deposición, dañan lugares recreativos y en general interfieren con algún uso beneficioso que pueda darse a esas aguas.

Aún cuando la ocupación del suelo por parte de la industria no es tan extenso como el encontrado en el uso urbano y agrícola, es una actividad sumamente importante por el impacto ambiental que provoca en los recursos naturales los desechos por ella servidos. En la zona se encuentran tenerías, fábricas textiles, productos de hule, productos químicos, derivados de petróleo, etc.

La situación es sumamente grave, pues aproximadamente el 60% de la industria nacional se encuentra en la cuenca, y las aguas industriales se vierten sin ningún tratamiento sobre los ríos, reportándose ya algunos efectos como: presencia de fosfato en el Lago, debido al uso continuo de ortofosfatos de sodio para la fabricación de detergentes, presencia de nitratos por procesos industriales, etc.

El empleo de pesticidas y fertilizantes orgánicas (abonos naturales; desechos de ganado vacuno, aves, etc., abonos artificiales: principalmente a base de cloro, nitrógeno y fosfato), provocan problemas que se agravan cuando se aplican inadecuadamente, tal como: acortando intervalos de aplicación, mezclando productos no recomendados, etc. La afluencia de nitratos y fosfatos procedentes de los suelos abonados, llegan al lago por el agua de escorrentía o de riego. También los plaguicidas usados en los cultivos son muy persistentes, y tardan años en degradarse aunque su residualidad no corresponde a los mismos períodos de control.

Este estudio pretende caracterizar los usos del suelo y la situación de los recursos naturales en la subcuenca del Lago de Amatitlán. Lo cual permitirá conocer los impactos ambientales de las actividades agrícolas generadas en el área, para formular, como estudio de caso, acciones correctivas que promuevan el uso sostenido de los recursos. El objetivo de este trabajo es dar a conocer los impactos ambientales provocados por el uso urbano, industrial y agropecuario en la subcuenca del Lago de Amatitlán. Además, realizar un diagnóstico específico de las diferentes categorías de uso de la tierra contempladas en la subcuenca, determinar y analizar las diferentes categorías de intensidad de uso de la tierra y analizar la aplicabilidad de la legislación ambiental existente en los diferentes usos del suelo.

Metodología

La Metodología de trabajo para los dos usos predominantes del suelo (agropecuario y urbano e industrial), en la subcuenca del Lago de Amatitlán se dividió en tres fases: (a) Preliminar de gabinete, (b) de campo y (c) final de gabinete. La fase preliminar de gabinete consistió en establecer el cubrimiento fotográfico del área de estudio, fotointerpretación, de las áreas agropecuarias y urbano-industrial y traslado de esta información a un mapa base. En la fase de campo se comprobó la identificación realizada en la fase preliminar de gabinete. Para el uso agropecuario se realizó un muestreo por medio de boletas de campo para conocer entre otras cosas la tecnología agropecuaria utilizada. Además, se realizaron entrevistas a funcionarios locales de instituciones públicas y privadas y observaciones personales.

En el caso del sector urbano e industrial se ubicaron en el mapa base las fuentes de interés utilizando otras fotos de referencia (p.e principales proyectos habitacionales, plantas de tratamiento de aguas negras y potables, principales industrias). En la fase final de gabinete se procesó la información obtenida y se trasladó al mapa base para el análisis y discusión de los resultados.

Los materiales que se emplearon en esta etapa del estudio fueron: imágenes de satélite LANDSAT, escala 1:250,000, fotografías infrarrojas a color y escala 1:60,000, fotografías pancromática convencional a escala 1:50,000, fotografías que, contienen información catastral a diferentes escalas, mapas cartográficos a escala 1:250,000 y 1:50,000, mapas temáticos (geología, hidrografía, etc.) a diferentes escalas, boletines de información climatológica y equipo usual de fotointerpretación y dibujo.

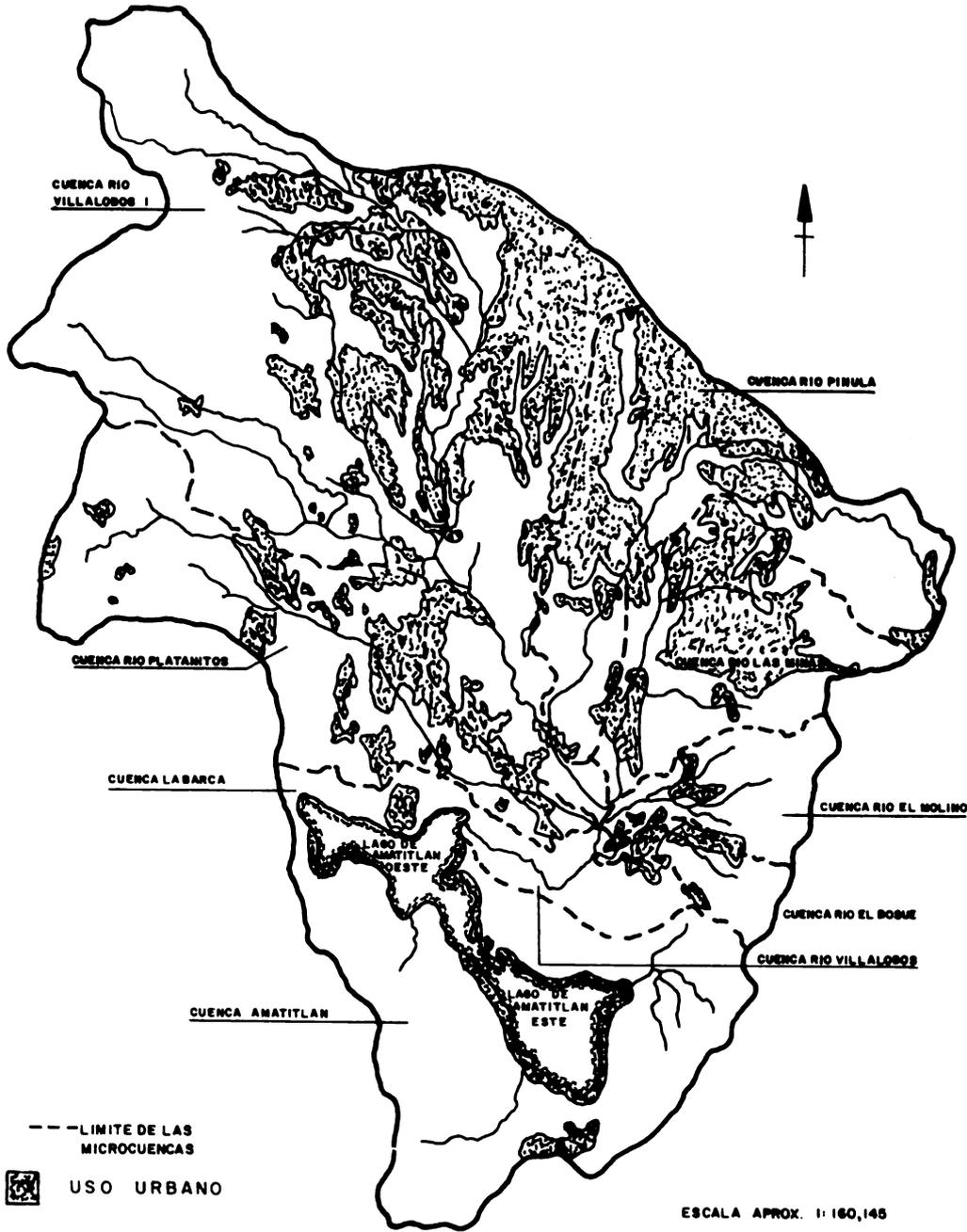
Resultados Preliminares

Los municipios comprendidos dentro de la subcuenca del Lago de Amatitlán son: Guatemala, Amatitlán, Magdalena Milpas Altas, Mixco, Santa Catarina Pinula, San Lucas Sacatepéquez, Santa Lucía Milpas Altas, Santiago Sacatepéquez, San Miguel Petapa, Villa Canales, Villa Nueva (Fig. 1). Algunos de los municipios mencionados, no tienen todo el área urbana, dentro de la subcuenca del Lago. Los habitantes de estos municipios reciben diferentes servicios, entre los que podemos mencionar: transporte, agua potable, drenaje, electricidad, etc. Estos servicios son prestados en variedad de condiciones por lo que su funcionalidad también varía, encontrando que en éstas poblaciones, el crecimiento urbano se incrementa a un ritmo mayor que el de los servicios. Los habitantes se dedican a diversas ocupaciones: agrícolas, industriales y servicios prestados en las comunidades. El uso industrial del área, al igual que el uso urbano, ha sido influida por diversos factores como: organización político administrativo, facilidades de comunicación, mercado, etc. La industria en el área no es tan extensa como el uso urbano y agrícola, radicando su importancia en los compuestos químicos que drenan en sus aguas residuales. Algunas de industrias contempla en sus instalaciones, plantas para la purificación de sus aguas servidas.

Se efectuó una agrupación de clases de uso potencial del suelo, y presentó la siguiente distribución en la cuenca que se muestra en el cuadro No. 1.

FIGURA: 1

USO URBANO DE LA SUBCUENCA DEL LAGO DE AMATITLAN GUATEMALA



Cuadro No. 1 Uso potencial del Suelo en la Subcuenca del Lago de Amatitlán.

Clases	Km2	% del Area
Clase I-II	52	15
Clase III-IV	52	15
Clase V-VI	36	10
Clase VII-VIII	209	60

(Ver figura 2)

En el área de estudio se encuentran gran variedad de cultivos. Estos en muchas ocasiones están ubicados en terrenos con características topográficas no recomendadas para esa finalidad. La tecnología empleada es variada; determinada entre otros factores por: el propio cultivo, la capacidad económica de los agricultores, mercado, nivel cultural, tiempo disponible, etc.

La labor agrícola para autoconsumo en la zona, es la que se desarrolla bajo condiciones tecnológicas mínimas y son en la mayoría de los casos, las que se encuentran en áreas no recomendables para labores agrícolas.

Los cultivos que tienen mayor rentabilidad, aplican técnicas agronómicas adecuadas para obtener esos resultados. Esta tecnología comprende aplicación de productos químicos que se encuentran en el mercado para controlar plagas, enfermedades, malas hierbas, etc.

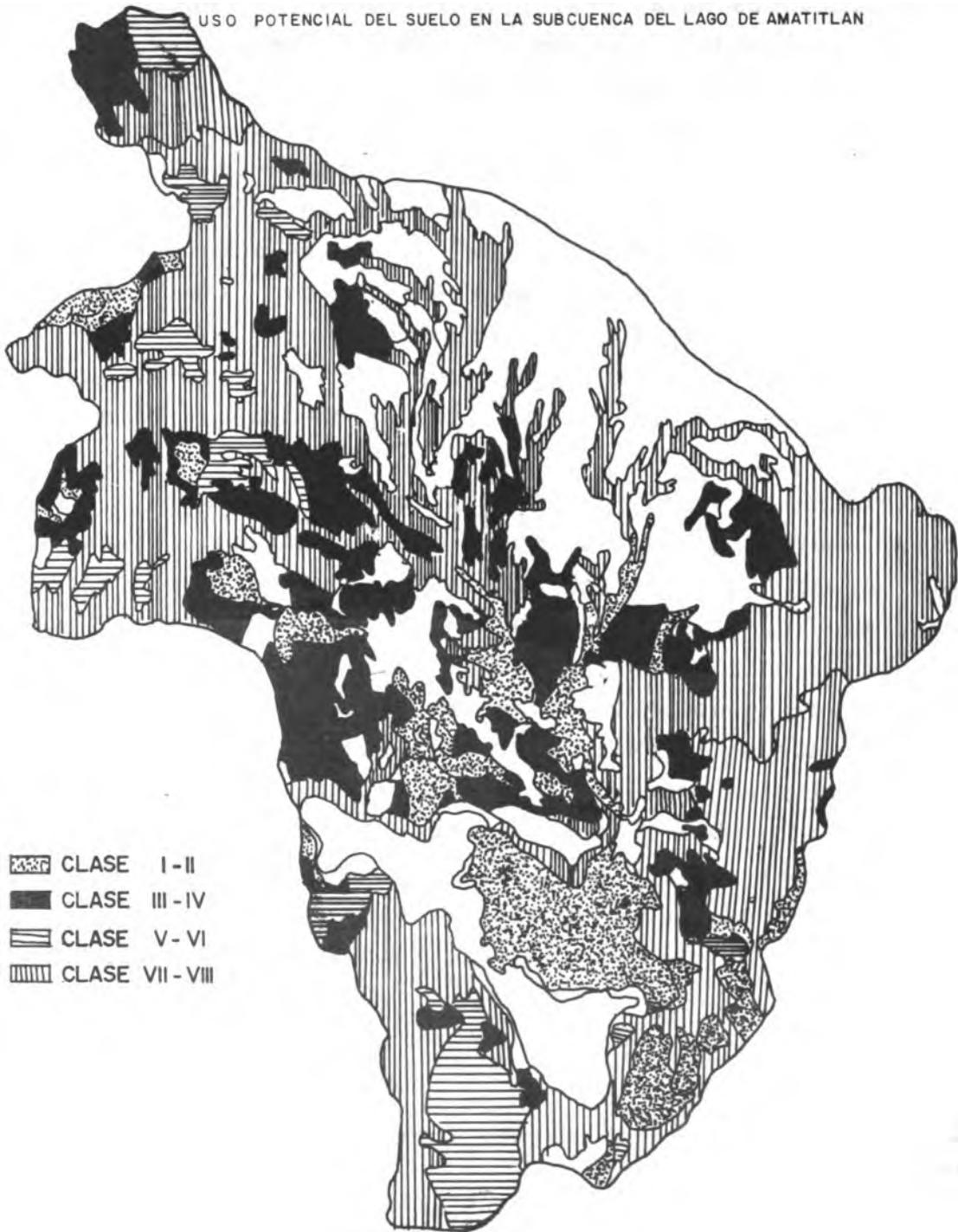
En el área comprendida por los municipios de Santa Lucía Milpas Altas, Magdalena Milpas Altas, Santiago Sacatepéquez y San Lucas Sacatepéquez, existen compañías que comercializan al exterior sus productos agrícolas. Las exigencias de estos productos, implica un nivel tecnológico alto.

Caso similar al anterior se da en los cultivos de exportación que se encuentran en las cercanías de Bárcenas en Villa Nueva.

En los municipios de Amatitlán, Villa Canales, Santa Catarina Pinula, se encuentran cultivos de exportación como: café caña de azúcar, en estos cultivos se aplican altos niveles

FIGURA 2

USO POTENCIAL DEL SUELO EN LA SUBCUENCA DEL LAGO DE AMATITLAN



tecnológicos que permitan obtener niveles de productos rentables.

Instituciones estatales, principalmente, se encuentran en el área desarrollando programas como: tecnología agrícola, reforestación, conservación de suelos, capacitación a auxiliares de extensión, educación en el hogar, etc. Estos programas tienen como ventajas: instruir a los habitantes de las diferentes comunidades, en el mejor uso de sus recursos; proveer cubierta vegetal boscosa en áreas donde se hace necesaria, etc. Sin embargo, estos programas son desarrollados con limitaciones, que impiden obtener resultados positivos relevantes para el área.

Los usos del suelo agrícola urbana e industrial, enmarcados en la subcuenca del Lago de Amatitlán, presentan los siguientes problemas.

La expansión urbana en el área de estudio se está dando a un ritmo mayor que el de los servicios urbanos (drenaje, agua potable, etc). Esto provoca que tales servicios sean prestados deficientemente, o no lo sean del todo en algunas de las comunidades. En algunas industrias que cuentan con plantas de tratamiento de aguas servidas se han reportado situaciones en las que estos dispositivos no han tenido capacidad para tratar toda el agua utilizada en los procesos. Aún cuando esto ocurre raramente, los contaminantes pueden llegar a las corrientes que drenan hacia el Lago de Amatitlán. El resto de industrias descargan sus aguas servidas sin ningún tipo de tratamiento. El uso de la tierra presenta los siguientes porcentajes en el área.

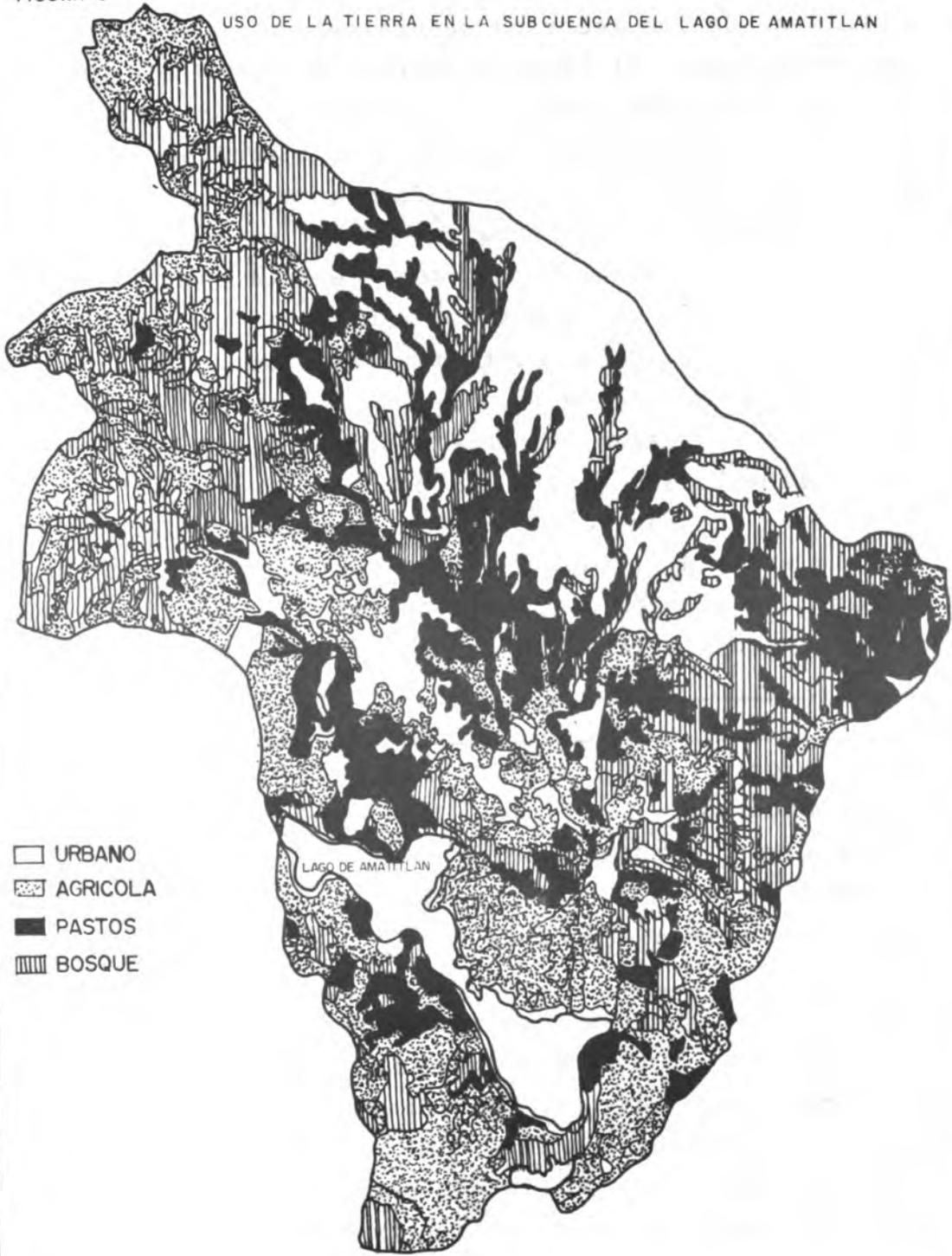
Cuadro 2. Uso de la tierra en la subcuenca del Lago de Amatitlán

TIPO	KM2	% DEL AREA
Urbano	84	24
Agrícola	140	40
Pastos	59	17
Bosque	66	19

(Ver Figura 3).

FIGURA: 3

USO DE LA TIERRA EN LA SUBCUENCA DEL LAGO DE AMATITLAN



La utilización de terrenos con características topográficas inadecuadas y sin tecnología agrícola apropiada, está provocando el deterioro de los recursos naturales que se encuentran dentro del área estudiada. El nivel cultural de los agricultores, la poca disponibilidad de tiempo y la búsqueda de niveles económicos rentables más que la conservación de los recursos, son factores que impiden se preste la atención debida a estos, provocando su deterioro paulatino. Los programas desarrollados por diferentes instituciones en el área, no son representativos.

Algunas zonas ya manifiestan pérdida de fertilidad en los suelos por erosión. Para contrarrestar esto, los agricultores recurren al descanso de los mismos durante períodos que van de 1-3 años. En otros casos, donde el problema es más grave, los terrenos solamente son utilizados para pastos naturales.

Esto se ve agravado por la alta susceptibilidad de los suelos a la erosión, (Figura 4). Los tipos de susceptibilidad de los suelos a la erosión se presentan así:

Cuadro 3. Susceptibilidad de los Suelos a la Erosión

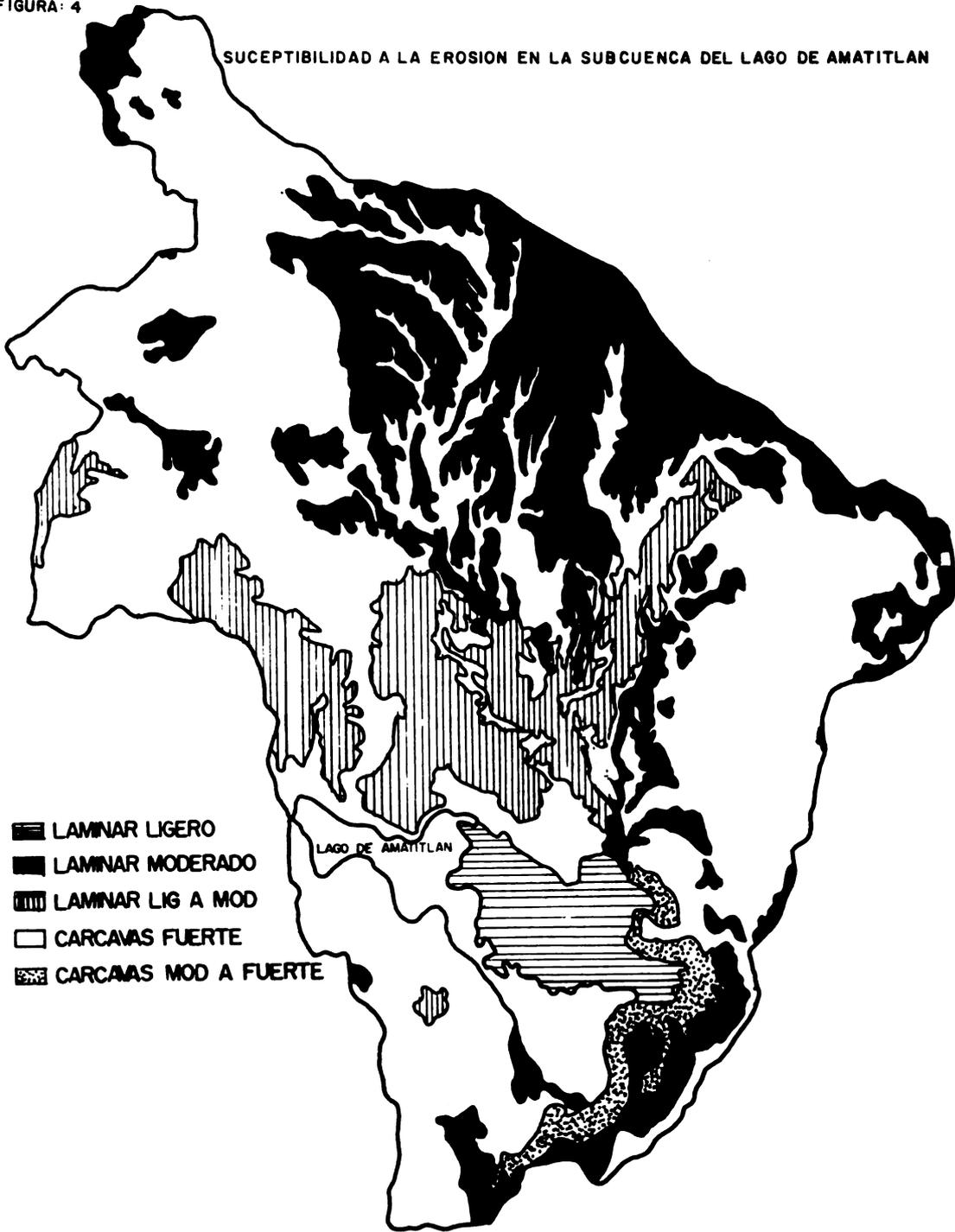
TIPOS	KM2	% DEL AREA
1. Laminar ligero	14	4
2. Laminar moderado	84	24
3. Laminar ligero o moderado	49	14
4. Cárcavas fuertes	192	55
5. Cárcavas moderadas a fuertes	10	3

Las zonas en donde hay cubierta boscosa y la dedicada a pastos, por ser cubiertas perennes, permiten conservar los suelos; sin embargo, hay una manifiesta habilitación de estos terrenos para uso urbano y agrícola.

Los bosques son utilizados para obtener leña. Además los incendios de carácter forestal son frecuentes en el área.

FIGURA: 4

SUCEPTIBILIDAD A LA EROSION EN LA SUBCUENCA DEL LAGO DE AMATITLAN



Conclusiones y Recomendaciones

Las conclusiones preliminares del estudio son:

1. Los servicios urbanos se incrementan a un ritmo menor que el crecimiento urbano de las poblaciones.
2. Algunas industrias descargan sus aguas servidas en el drenaje superficial de las corrientes que desembocan en el Lago.
3. Hay cultivos ubicados en áreas con características topográficas inadecuadas para este uso de suelo.
4. Existe disminución de cubierta boscosa.
5. Hay habilitación de nuevas tierras para usos urbano, industrial y agrícola.
6. Las leyes ambientales existentes no se cumplen

Este estudio recomienda:

1. Desarrollar, estudios detallados en la cuenca, con el concurso de las diferentes instituciones (salud pública, obras públicas, sector público agrícola, etc).
2. Conformar una comisión que permita la integración de estudios detallados y dictar en base a ellos las medidas correctivas en la cuenca.
3. Las medidas correctivas deben ser consideradas a nivel de la subcuenca del Lago.
4. Las leyes ambientales existentes deben ser cumplidas.

CONTROL HIDROMETEOROLOGICO EN LA CUENCA DEL LAGO DE AMATITLAN

C. Cobos*

La cuenca del Lago de Amatitlán es una subcuenca del río María Linda. La red de estaciones hidrometeorológicas que actualmente existen fueron instaladas para obtener datos para el estudio de Aguas Subterráneas del Valle de la Ciudad Capital, que fue realizado por el -INSIVUMEH- y el PNUD, para aprovechamiento hidroeléctrico del río Michatoya usando el lago de Amatitlán como un embalse natural.

Las estaciones hidrológicas de control existentes son:

06.02.03H Compuertas Michatoya
06.02.01H El Morlón
06.16.02H El Cementerio
06.02.02H Calderas

Las dos primeras pertenecen al Instituto Nacional de Electrificación -INDE- y el objetivo principal es el control del embalse natural que es el lago.

El Cementerio pertenece al -INSIVUMEH- y tiene un registro limnigráfico aunque bastante irregular. Desde hace dos años se ha llevado nuevamente su control regular. Otras estaciones de control pequeñas (vertederos) se han localizado por períodos cortos en algunos otros puntos de la cuenca. Sin embargo se considera que estas tres estaciones son básicas para el control del lago y sólo deberán mejorarse o implementarse.

Quizá fuese conveniente instalar otra escala en la zona oriental del lago para ver los efectos en las fluctuaciones de nivel por la contracción de lago en el relleno.

* Funcionario del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología

Las estaciones metereológicas que controla el -INSIVUMEH- y que funcionan actualmente son:

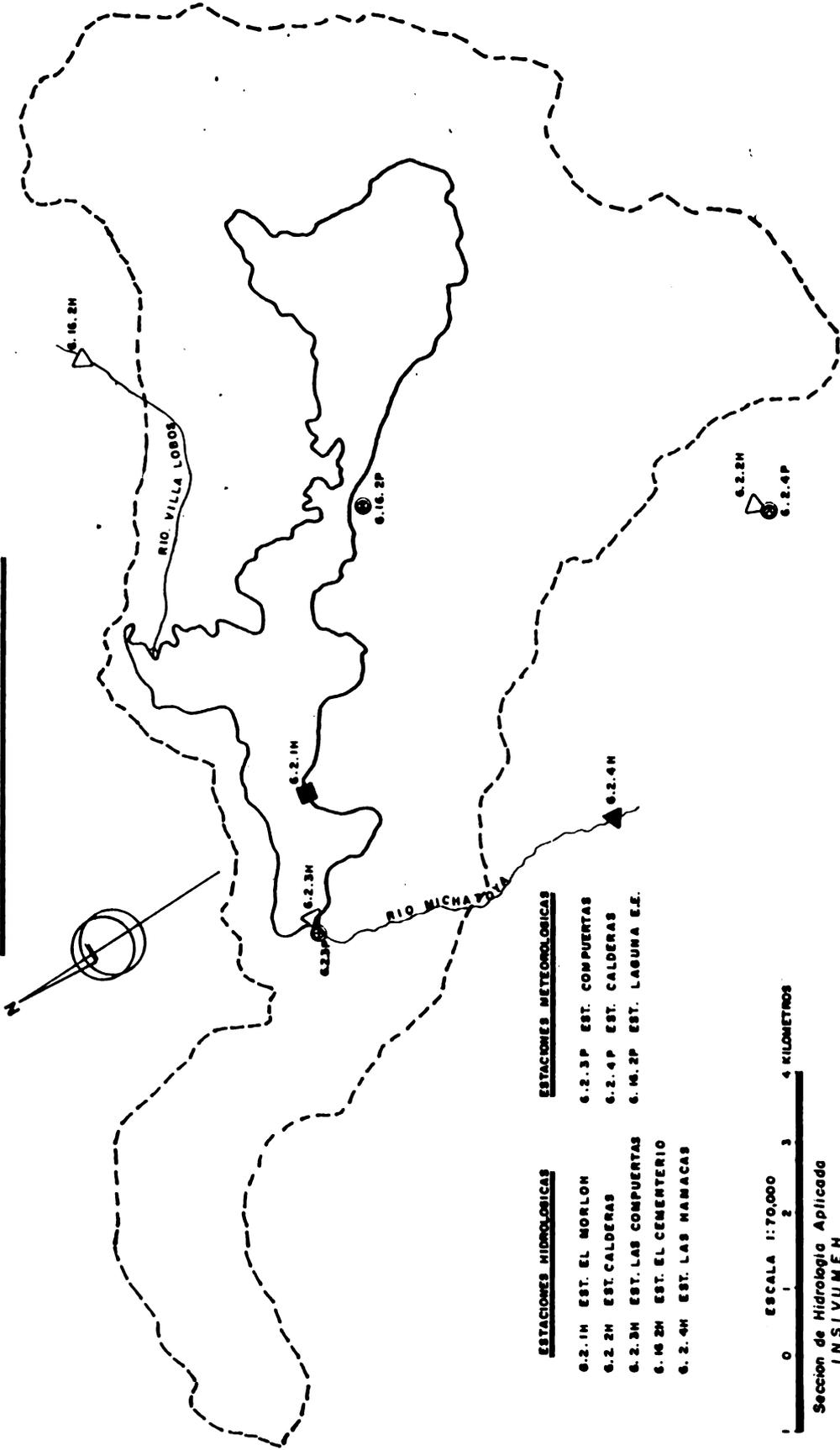
- 06.16.02 La Laguna E. E.
- 06.16.08 Las Delicias
- 06.02.04P Calderas
- 06.02.03 Jardín Mil Flores

Estas dos últimas están fuera de la cuenca pero muy cerca de sus inmediaciones. Otras estaciones han funcionado durante períodos cortos (2 años), especialmente durante el estudio del Valle de Aguas Subterráneas. Algunas de las cuales podrían ser rehabilitadas para mejorar los registros de la zona. Lo más escaso son registros pluviográficos en el área por lo que se recomienda su instalación tanto en la parte occidental como oriental de la laguna. Una medida conveniente sería dejar un pluviógrafo fijo y otro que rotara en diferentes estaciones pluviométricas en períodos convenientes.

Datos de calidad de agua se han llevado a cabo en forma puntual y esporádicos en el Morlón y el Cementerio. Esta actividad deberá incrementarse así como los puntos de control, lo que requiere una gran inversión debido al costo de los reactivos.

ESTACIONES HIDROLOGICAS Y METEOROLOGICAS FUNCIONANDO

CUENCA LAGO DE AMATITLAN



ESTACIONES HIDROLOGICAS

- 6.2.1H EST. EL MORLON
- 6.2.2H EST. CALDERAS
- 6.2.3H EST. LAS COMPUERTAS
- 6.16.2H EST. EL CEMENTERIO
- 6.2.4H EST. LAS MAMACAS

ESTACIONES METEOROLOGICAS

- 6.2.3P EST. COMPUERTAS
- 6.2.4P EST. CALDERAS
- 6.16.2P EST. LAGUNA E.E.

ESCALA 1:70,000
0 1 2 3 4 KILOMETROS

Seccion de Hidrologia Aplicada
INSIVUMEH

CARACTERISTICAS FISICAS Y QUIMICAS
DEL LAGO DE AMATITLAN*

Manuel Basterrechea
Yolanda Juárez

Introducción

Los lagos cálidos han sido poco estudiados en comparación con los lagos templados. Los lagos en Guatemala no han sido la excepción (Basterrechea, 1984). El Lago de Amatitlán está localizado a 14° 30' latitud norte, a 1188 msnm y tiene una superficie de 15 Km². Se encuentra a 20 Km de la ciudad de Guatemala, el área de la cuenca tributaria es de 368 Km² y la profundidad promedio del lago es de 18 m.

El Lago de Amatitlán puede ser considerado como dos lagos, debido a que las características físicas, químicas y biológicas de cada parte son diferentes (Fig. 1). La parte occidental recibe las aguas del río Villalobos y descarga sus aguas en el río Michatoya, por lo cual la proporción de vaciado es más rápida, lo que permite que en esta parte del lago, a pesar de recibir parte de las aguas negras provenientes de la parte sur de la ciudad de Guatemala, sus aguas se encuentran relativamente en mejor estado que en la parte oriental (Basterrechea, 1985).

Además, la parte occidental recibe gran cantidad de material durante la época de lluvias debido a la alta erosión en la cuenca, producto de la deforestación y el suelo dejado sin cobertura vegetal en el desarrollo de grandes proyectos habitacionales. Las areneras localizadas a lo largo de los tributarios al lago y las descargas de los colectores sanitarios y/o pluviales también contribuyen con gran cantidad de partículas y sólidos.

La parte oriental del lago recibe la escorrentía proveniente de tierras de uso agrícola, que acarrea gran cantidad de

* Trabajo realizado en el Proyecto Especial de Limnología, auspiciado por el Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico de la OEA.

fertilizantes, plaguicidas y descargas intermitentes durante la época seca, provenientes de beneficios de café e ingenios de azúcar (diciembre a febrero).

Aspectos de la Temperatura y del Oxígeno Disuelto

Métodos

La temperatura y el oxígeno disuelto fueron medidos como mínimo una vez por mes, de marzo a noviembre de 1985. Todas las medidas fueron realizadas entre las 9:00 y las 14:00 horas, sin embargo, la mayoría fueron realizadas entre las 10:00 y las 12:00 horas, con el fin de minimizar la variación diurna. La temperatura del primer muestreo fue medida con el medidor de temperatura que tiene adaptado el oxigenómetro YSI. En el segundo y tercer muestreo la temperatura fue medida con termómetro corriente. Del cuarto al último muestreo (décimo tercero) la temperatura fue medida con "termistor" con lectura directa. Todos los valores de oxígeno disuelto reportados fueron medidos con el oxigenómetro YSI.

Temperatura

El desarrollo de la estratificación termal así como el rompimiento de la termoclina se muestra en la Fig.2. También se observa en la Fig.2 que la estratificación empezó a finales de marzo y se fue desarrollando hasta octubre. La termoclina fue descendiendo a medida que la estratificación continuaba; en el mes de julio la termoclina se presentó a los 20 m. de profundidad. Un aspecto particular de este lago y de otros lagos tropicales es que a pesar de la poca diferencia de temperatura entre la superficie y el fondo del lago durante todo el año, se logra una termoclina estable. El motivo es que las temperaturas que se alcanzan en el trópico son altas (por lo general arriba de los 20° C), y a estas temperaturas los gradientes de densidad en el agua son suficientes para que la termoclina sea estable. En Amatitlán, la termoclina ocupó una zona de aproximadamente 7 m con una diferencia de temperatura de aproximadamente 2,5° C.

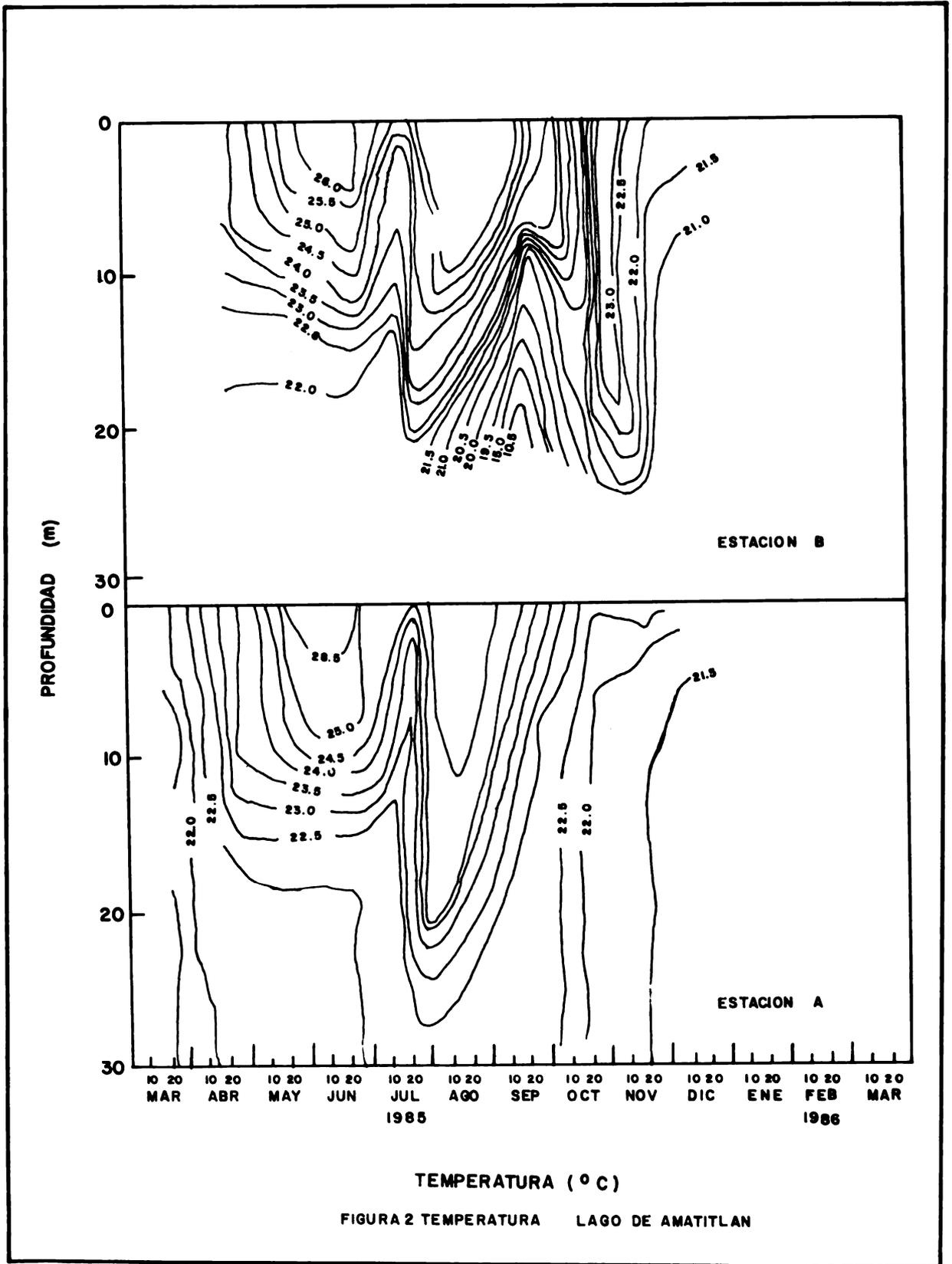


FIGURA 2 TEMPERATURA LAGO DE AMATITLAN

El rompimiento de la termoclina ocurre luego que esta desciende hasta desaparecer. En la Fig. 2. se observa que a finales de octubre empezó el rompimiento de la termoclina y en el último muestreo, llevado a cabo en noviembre, la mezcla era casi completa.

La mayor temperatura superficial reportada fue de 26° C y la menor fue de 18°C, lo cual da una variación máxima anual de 8°C. Sin embargo, variaciones en la temperatura del agua en cualquier día del año, raramente exceden los 4° C.

Otro aspecto particular del lago de Amatitlán es el comportamiento diferente de cada una de sus partes (Fig. 1). La parte oriental del lago, en la cual está localizada la estación B, sufrió variaciones de temperatura mayores a pesar de que su profundidad es menor. El rompimiento de la termoclina apenas se estaba llevando a cabo a la fecha del último muestreo (7 de noviembre).

Finalmente, pareciera que la termoclina desciende y asciende por lo menos tres veces durante el período de estratificación de una manera significativa. Sin embargo, muestreos más continuos podrían mostrar que estas variaciones se presentan mayor número de veces, debido a cambios en el clima de la cuenca del lago.

Oxígeno Disuelto

El ciclo de oxígeno disuelto está asociado con el de la temperatura. Aún más, el oxígeno disuelto es usado para delimitar la estratificación cuando la termoclina no se puede distinguir claramente con los perfiles de temperatura (Marshall and Falconer, 1973).

Nuevamente, el comportamiento de la estación B es diferente al de la estación A. En la estación B, el gradiente del oxígeno ocurrió aproximadamente a la misma profundidad que la termoclina, como puede observarse en la Fig 3. sobre todo en los meses de julio (el gradiente del oxígeno descendió), septiembre (ascendió), y octubre (volvió a descender). Además, el gradiente de oxígeno en la estación B fue más pronunciado que la termoclina para la misma estación.

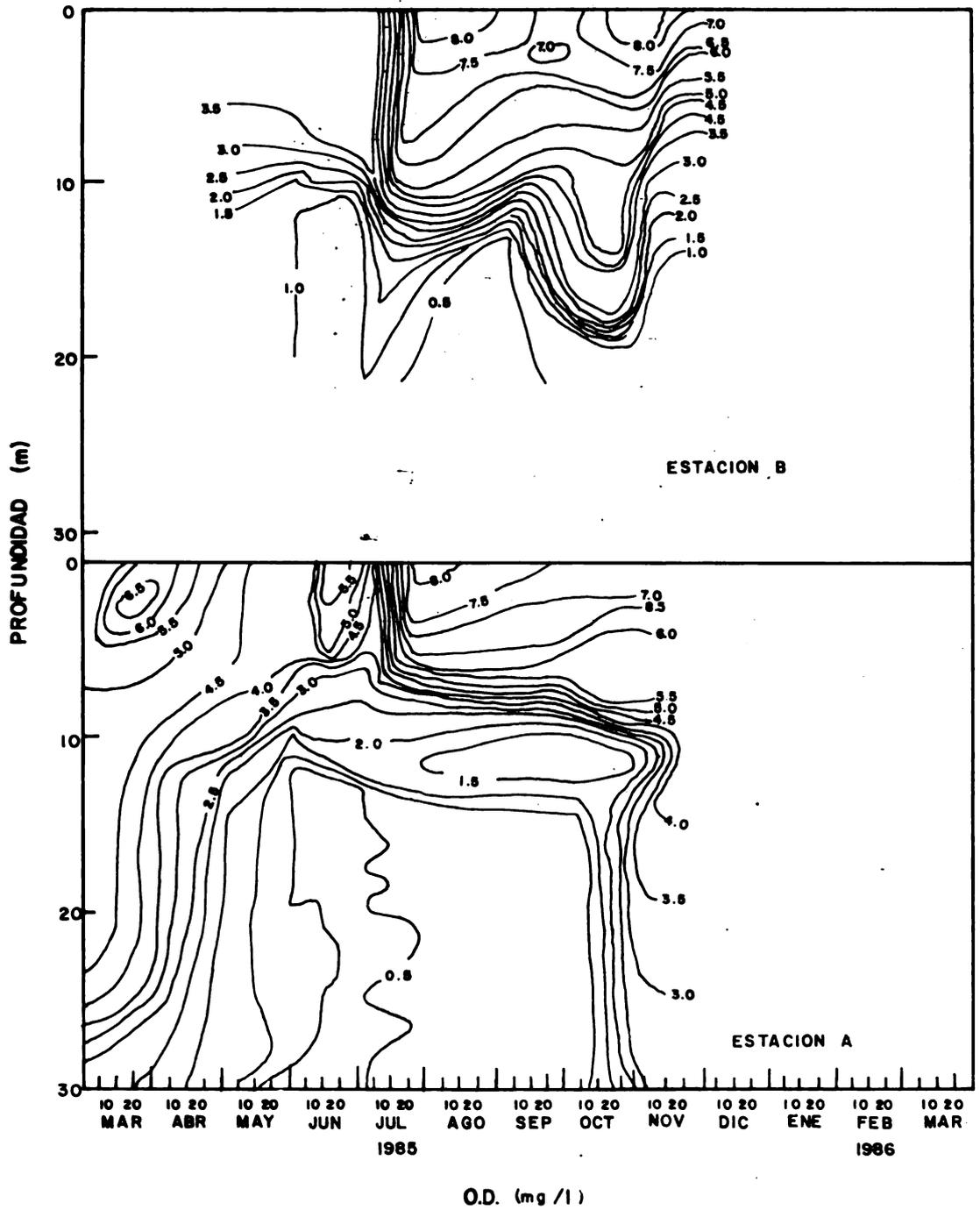


FIGURA 3 OXIGENO DISUELTO LAGO DE AMATITLAN

Por el contrario, la estación A no mostró un gradiente de oxígeno bien pronunciado. El efecto que las crecidas provenientes del río Villalobos tienen sobre la estación A es la causa de que no exista un comportamiento mejor definido del gradiente del oxígeno. Las crecidas se presentan durante la época de lluvias (mayo a octubre).

El gradiente del oxígeno se presentó aún en el último muestreo en ambas estaciones, a pesar de que la termoclina había desaparecido de la estación A desde finales de octubre. Normalmente, la termoclina y el gradiente del oxígeno desaparecen, cuando la temperatura del ambiente baja y los vientos más fuertes del año se hacen presentes. Generalmente esto sucede al final de la época de lluvias (octubre).

El lago es cálido monomítico de acuerdo con la clasificación de Hutchinson y Loeffler y la estratificación dura aproximadamente ocho meses (marzo a octubre).

Física del Agua

Transparencia

La transparencia fue medida con el disco secchi. La estación B mostró mayores lecturas del disco secchi a través del año, con excepción del último muestreo del siete de noviembre. La estación B mostró lecturas alrededor de 3,00 m y la estación A, lecturas alrededor de 2,00 m. No existe un comportamiento similar de la transparencia en las dos estaciones. Será necesario tomar lecturas más frecuentes y relacionar dichas lecturas con otros factores, por ejemplo: turbidez y viento, para poder llegar a establecer una tendencia mejor definida. En la Fig. 4 se muestran las lecturas antes citadas. Se reportaron lecturas de transparencia menores que las últimas reportadas en el período 1974-1976 por Tabarini de Abreu (1983); todas las lecturas fueron menores de 4,00 m; Tabarini de Abreu reportó valores mayores de 4,00 m. Este resultado indica que el proceso de eutrofización ha progresado.

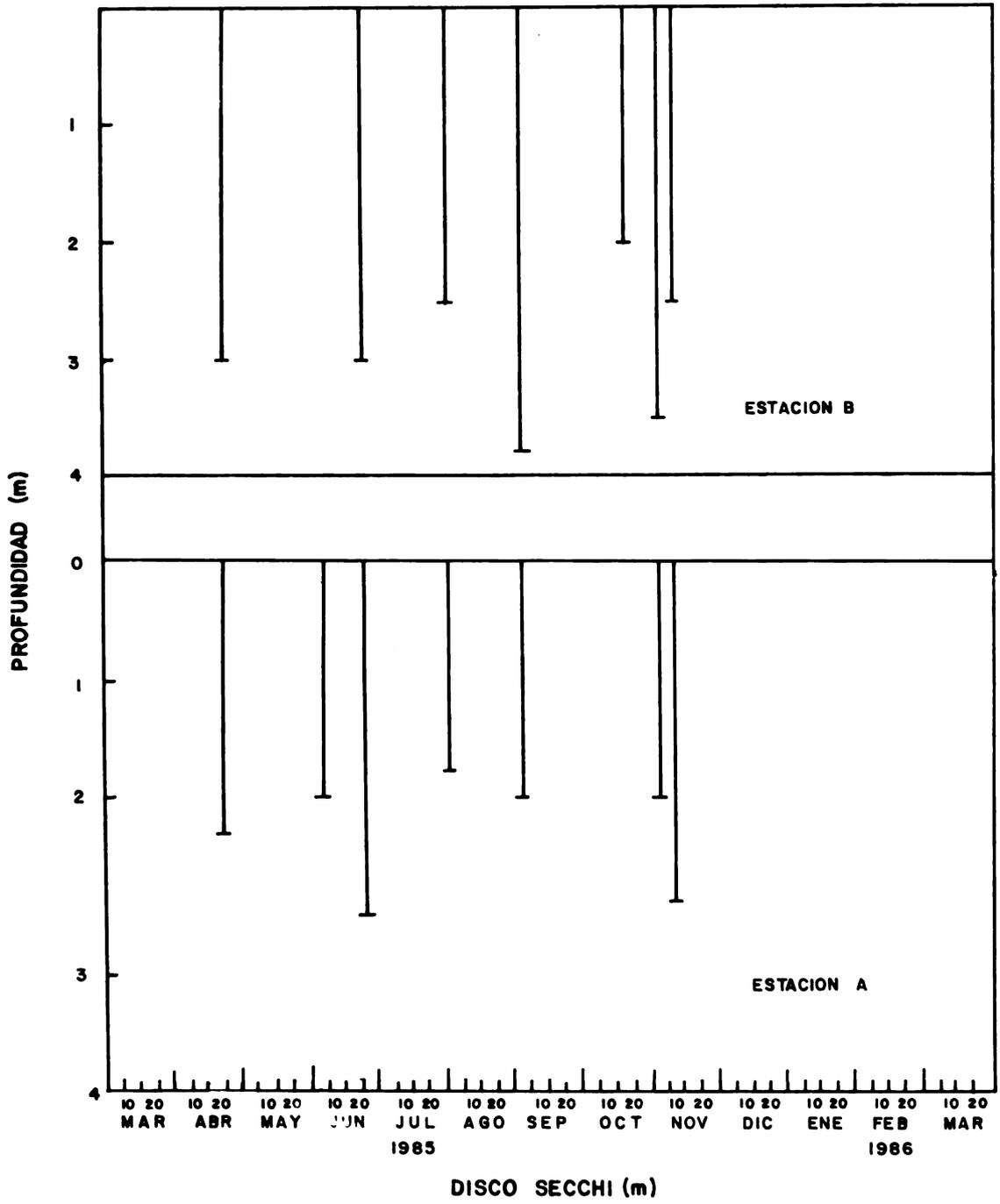


FIGURA 4 DISCO SECCHI LAGO DE AMATITLAN

Sólidos Totales

Los valores de sólidos totales fueron menores en la época seca (marzo y abril) y aumentaron en la época de lluvias (mayo a octubre). Concentraciones menores de 1000 mg/l se reportaron durante la época seca y mayores de 1000 mg/l durante la época de lluvias (Fig.5). Durante la época de lluvias, las concentraciones de sólidos totales reportadas en la estación A fueron afectadas dependiendo del número de horas o días después de la última crecida del río Villalobos que llegó al lago. Al contrario, los valores reportados en la estación B en la época de lluvias variaron menos (alrededor de 1000 mg/l) que los reportados en la estación A.

El efecto causado por las primeras crecidas (first flushing) puede identificarse en la estación A de la Fig. 5. Las primeras lluvias aumentaron bruscamente la concentración de sólidos totales (+ 400 mg/l). Posteriormente, las concentraciones en general fueron bajando.

Los valores altos reportados en el fondo (1600 mg/l) se deben a que la botella Van Dorn tocó los sedimentos, estos resuspendieron y fueron incluidos en la muestra.

Química del Agua

Métodos

Debido a la limitación de reactivos disponibles, únicamente se llevaron a cabo los análisis de alcalinidad, cloruros y dureza. También se hicieron mediciones de pH. Las muestras para análisis fueron tomadas con botella Van Dorn. Las muestras fueron depositadas en botellas de polietileno, no fueron preservadas, fueron colocadas a temperatura ambiente del laboratorio y los análisis se llevaron a cabo dentro de las dos semanas siguientes a la toma de la muestra.

Los métodos empleados fueron: el pH con electrodo, la alcalinidad con titulación, los cloruros con nitrato de mercurio y la dureza con titulación EDTA.

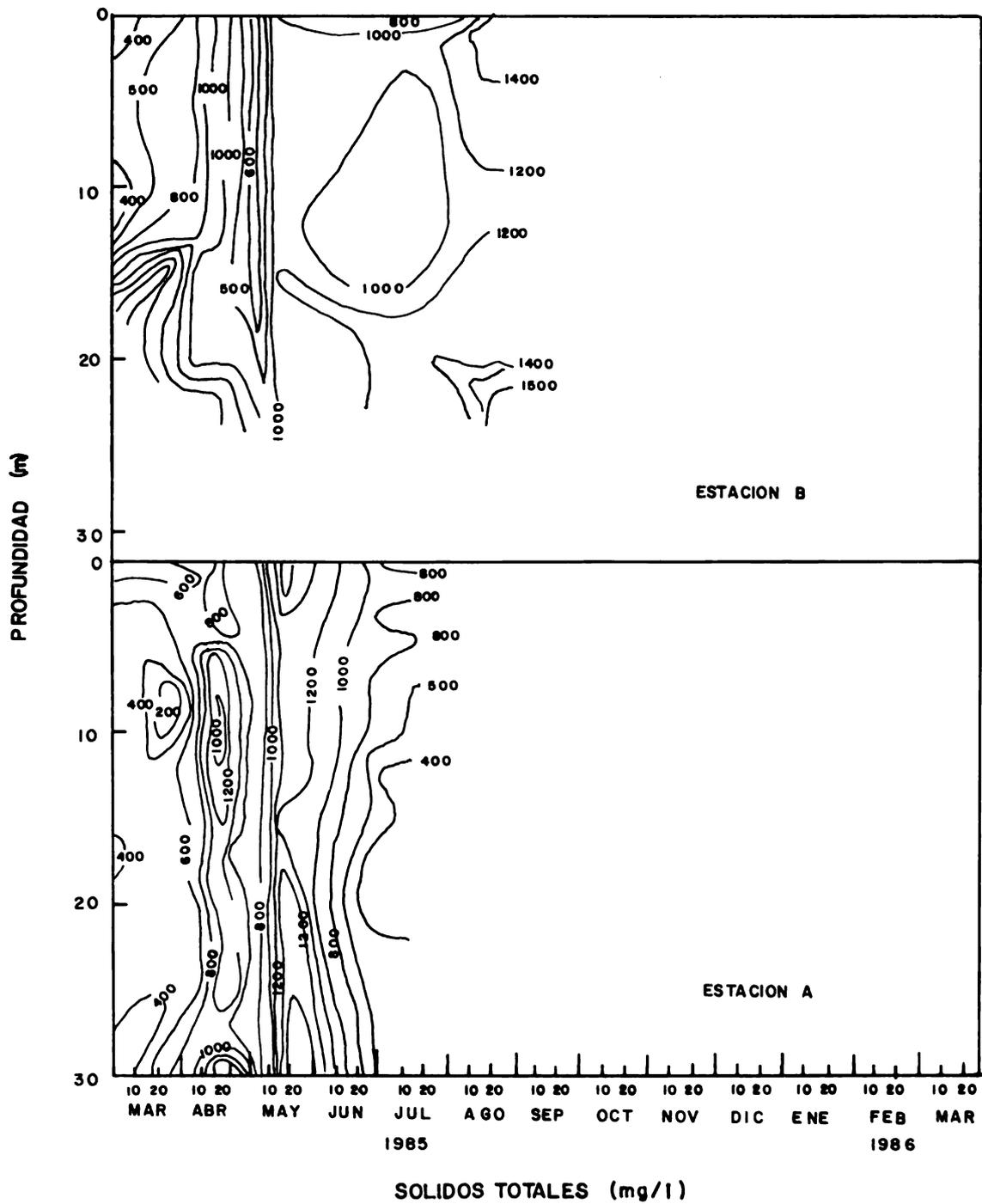


FIGURA 5 SOLIDOS TOTALES LAGO DE AMATITLAN

pH

Los valores de pH aumentaron en las dos estaciones durante la época de lluvias. De valores de pH alrededor de 7.5 al final de la época seca, aumentaron hasta 8,5 al final de la época de lluvias.

El PH mostró una pequeña estratificación durante toda la época de lluvias con valores promedios de 8,5 en la superficie, y de 8,0 a aproximadamente 10 m y 7.5, al fondo (Fig. 6)

Alcalinidad

Al igual que para el pH, el comportamiento de la alcalinidad en las dos estaciones es bastante similar, los valores de alcalinidad aumentaron al comenzar la época de lluvias para luego disminuir y estabilizarse (Fig. 7).

Cloruros

El comportamiento de cloruros en las dos estaciones fue diferente, pero mostró la influencia de una parte del lago hacia la otra y viceversa (Fig. 8). Los cloruros de la estación A disminuyeron en la época de lluvias. Al contrario, los cloruros de la estación B aumentaron durante la época de lluvias. Este comportamiento es debido a que durante la época de lluvias la parte occidental del lago (donde está localizada la estación A) recibe mayor cantidad de agua, proveniente de las descargas del río Villalobos, que la parte oriental del lago. Como las dos partes están interconectadas, la parte occidental del lago abastece de agua a la parte oriental del mismo. Durante la época seca el proceso se invierte.

Las concentraciones de cloruros son mayores en la parte occidental del lago debido a que hay un mayor número de fuentes termales (fumarolas) que en la parte oriental del lago; una proporción de 1,8 entre las dos estaciones puede establecerse (concentraciones promedio de 180 mg/l para la estación A y de 100 mg/l para la estación B).

Ambas partes del lago presentan concentraciones de cloruros altas con relación a otros lagos en Guatemala (Atitlán,

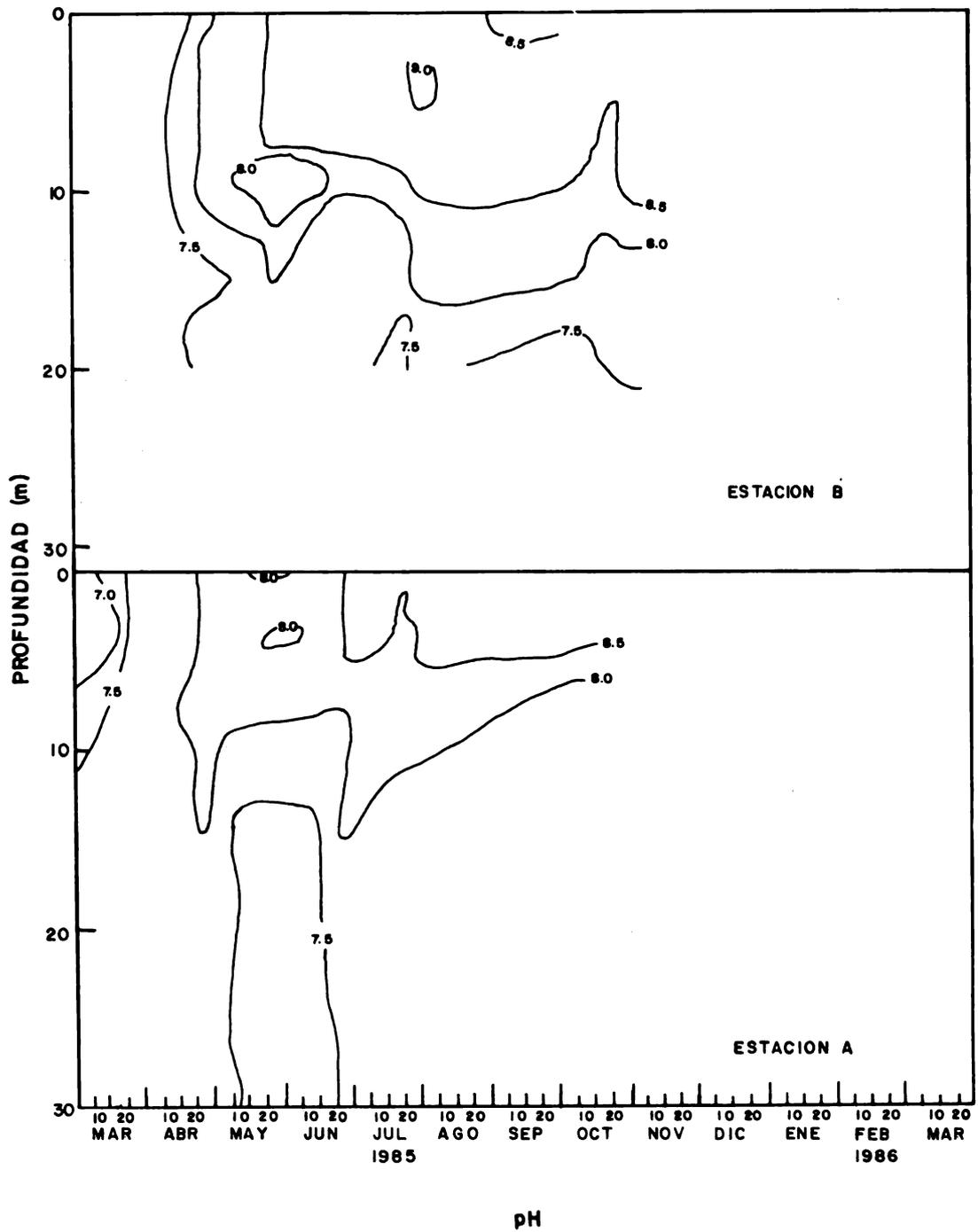


FIGURA 6 pH LAGO DE AMATITLAN

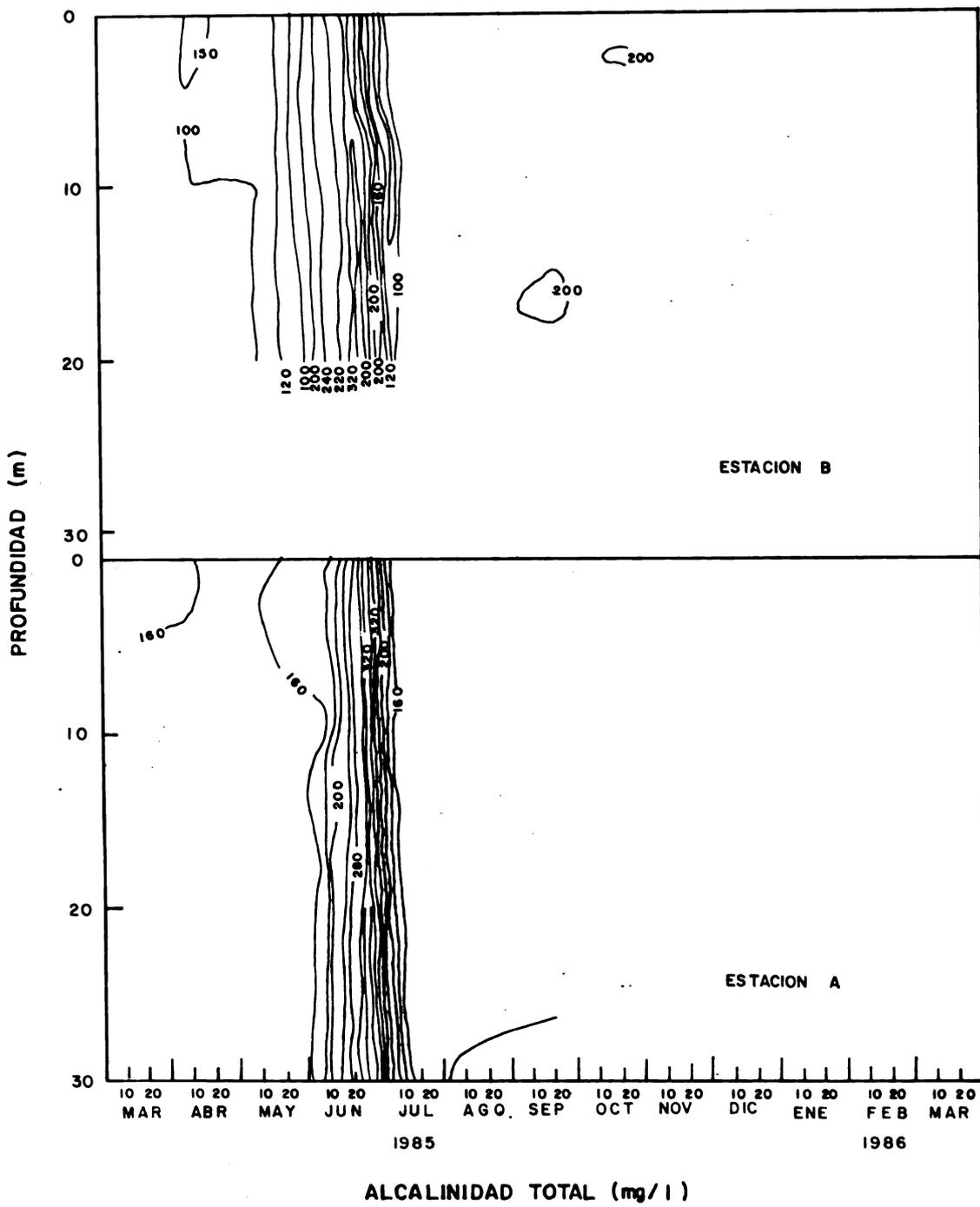


FIGURA 7 ALCALINIDAD TOTAL LAGO DE AMATITLAN

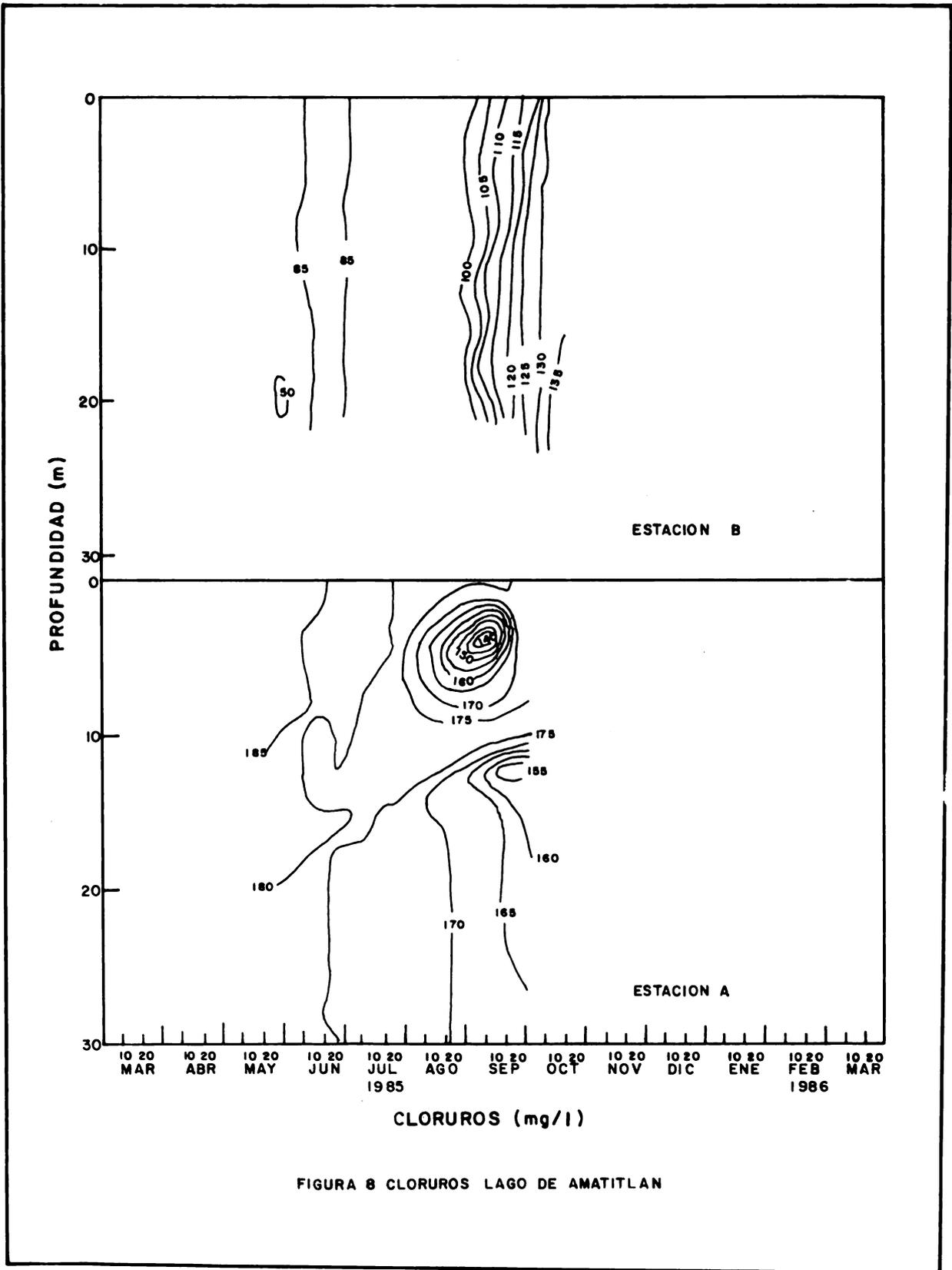


FIGURA 8 CLORUROS LAGO DE AMATITLAN

alrededor de 20 mg/l).

Conclusiones

El lago de Amatitlán es cálido monomíctico. La mayor temperatura reportada fue de 26° C y la menor de 18° C, lo cual da una variación máxima de 8° C. Sin embargo, variaciones diarias raramente exceden 4° C. Con la información recolectada se observó el desarrollo de la estratificación térmica, el rompimiento de la termoclina y el inicio del volteo de las aguas en el lago de Amatitlán.

El ciclo de oxígeno disuelto estuvo asociado con el de la temperatura en la estación B. Por el contrario, la estación A no mostró un gradiente de oxígeno bien definido debido al efecto de las crecidas provenientes del río Villalobos. El ciclo de oxígeno disuelto estuvo atrasado respecto al de la temperatura en algunas semanas. Aún más, el ciclo del oxígeno disuelto y el de la temperatura de la estación B estuvo atrasado respecto al de la estación A.

Se reportaron lecturas de disco secchi menores que las anteriores reportadas en el período 1974-1976. Este resultado indica que el proceso de eutrofización continuó avanzando.

El efecto causado por las primeras crecidas se identificó. La concentración de sólidos totales aumentó bruscamente.

El comportamiento del pH y de la alcalinidad para las dos estaciones fue similar. De valores bajos al final de la época seca, éstos aumentaron en la época de lluvias.

La concentración de cloruros fue alta en ambas estaciones comparada con la de otros lagos de Guatemala. Los cloruros de la estación A disminuyeron en la época de lluvias. Por el contrario, los cloruros de la estación B aumentaron durante la época de lluvias. Este proceso se invierte durante la época seca.

Referencias

Basterrechea, M. (1984). Comparative Limnology and the Eutrophication of a Warm Lake: Lake Amatitlán, Guatemala. Ph. D. Dissertation. The University of Iowa, Iowa City.

Basterrechea, M. (1985). Características Físico- Químicas y Biológicas de los Cuerpos de Agua: Lago de Amatitlán y Río Motagua. Primer Informe del Proyecto Especial de Limnología No. 94. OEA.

Marshall, B.E. and A.C. Falconer. (1973). Physico-Chemical Aspects of Lake McIlwaine (Rhodesia). A Eutrophic Tropical Impoundment. Hydrobiología, vol 42,1, págs. 45-62, 1973.

Tabarini de Abreu. A. (1983). Principales Parámetros Físicos, Químicos y Biológicos Considerados en la Investigación Aplicada de la Eutroficación del Lago de Amatitlán. Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos.

LIMNOLOGIA DEL LAGO DE AMATITLAN

E. Beltran *
M. Basterrechea **
Y. Juárez ***
L. Cerrato ****
S. Molina *****

Introducción

Este trabajo es un seguimiento al realizado durante 1985, por el Proyecto Especial de Limnología No. 94 de la OEA y que se incluyó en esta memoria (Basterrechea, 1986). Sin embargo, se adicionaron al estudio el análisis de nutrientes y la evaluación cualitativa del fitoplacton, información necesaria para inferir sobre el grado de contaminación del lago de Amatitlán. Figura 1.

Los parámetros más importantes para evaluar el grado de eutroficación de un lago son: concentración de nitrógeno, fósforo, clorofila y disco secchi; otros parámetros como ausencia de oxígeno en el hipolimnio, presencia de macrofitas y dominancia de algas verde-azules, son también utilizados para complementar la información anterior.

Los estudios anteriores sobre el lago (Weiss, 1971 y Tabarini de Abreu, 1983), han reportado grandes diferencias en cuanto a las concentraciones de nutrientes. En este estudio se logró estandarizar los análisis para la determinación de amonio, nitrito y fosfato.

-
- * Estudiante de la Facultad de Química y Farmacia, USAC, realizando su trabajo de tesis.
 - ** PRMC/CATIE, Asesor de tesis.
 - *** Consultor del Proyecto Especial de Limnología No. 94 de la OEA.
 - **** Investigador de este estudio.
 - ***** Jefe de la Sección Industrial, División de Energía Nuclear, Ministerio de Energía, Minas e Hidrocarburos.

Cada análisis fue realizada en triplicado y se rechazó el valor cuando existió una diferencia entre los tres resultados mayor del 5%. Mientras no se logre obtener información de excelente calidad de los nutrientes y clorofila, no se podrá inferir sobre el estado de eutroficación del lago de Amatitlán. en estudios posteriores, además de estandarizar los análisis de las otras formas de nutrientes, estos serán realizados inmediatamente (mismo día), evitando así la alteración de las concentraciones en la muestra.

Aspectos de Temperatura, Oxígeno disuelto, Conductividad y Transparencia

Métodos:

La temperatura fue medida con "termistor" con lectura directa, el oxígeno disuelto con el oxigenómetro YSI, la conductividad con el conductivímetro y la transparencia por medio del disco secchi. Todos los valores fueron medidos en el campo entre las 9 y las 14 horas.

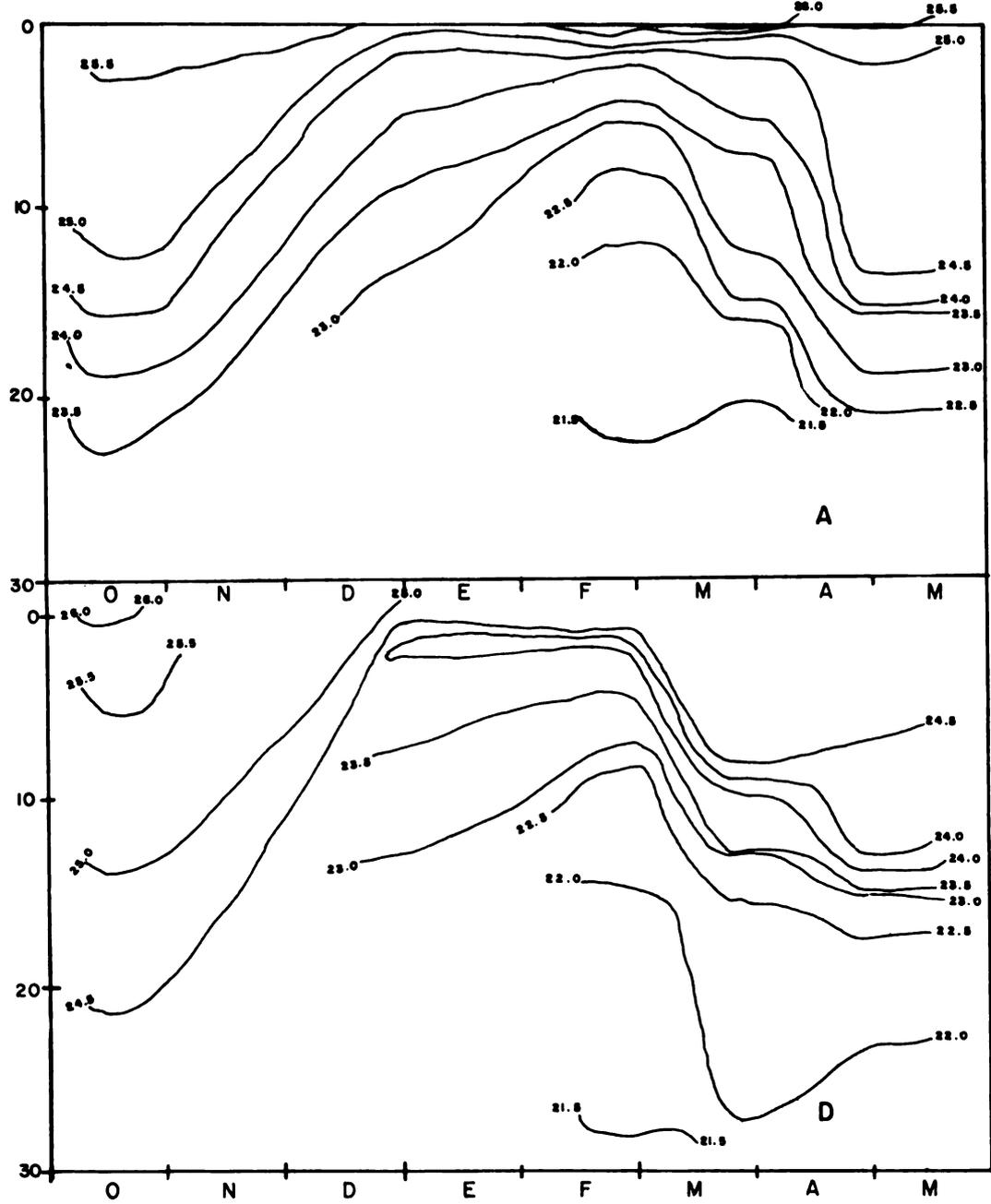
Temperatura:

A pesar que el período muestreado (octubre a mayo) incluye la época en que el lago está completamente mezclado (noviembre a marzo), este comportamiento no se logra visualizar bien en la figura 2. Esto fue debido posiblemente a la falta de vientos fuertes y temperaturas bajas, durante las horas previas a los muestreos realizados. Adicionalmente, solo se realizaron 5 perfiles de temperatura entre el 10 de octubre y el 30 de abril.

El período de estratificación a diferencia del período de mezcla, se logra visualizar claramente en la Figura 2. Este período empezó a partir de marzo y en el último muestreo el 30 de abril, la termoclina se estableció a partir de los 14 metros en las dos partes del lago. Otro aspecto que se logró observar fue el descenso de la temperatura conforme los meses avanzaban. Por ejemplo, en octubre la temperatura de 24,5°C se encontraba localizada entre los 15 y 20 metros de profundidad y entre enero

FIGURA. 2

TEMPERATURA (°C)



y febrero se encontraba a solo 3 metros.

Oxígeno Disuelto:

Se realizaron únicamente tres perfiles de oxígeno disuelto (22 de febrero, 27 de marzo y 30 de abril). Además el medidor de oxígeno tiene un alcance de sólo 15 metros. Sin embargo, se observa en la figura 3 (sobre todo en la estación D), que el lago ya está estratificado a partir de marzo. En esta misma estación se logró observar el final del período de mezcla; cuando se obtuvieron lecturas de oxígeno disuelto de 7.5 mg/l a 10 metros de profundidad.

Disco Secchi:

En la figura 4 se muestra la transparencia de las dos estaciones principales del lago (A y D). La estación A mostró mayores variaciones que la estación D. Esta última mostró valores mayores a medida que pasaban los meses (de 2 metros en enero pasó a casi 4 metros en mayo). La estación A por el contrario, sus valores subieron y bajaron entre diciembre y mayo, pero siempre estuvieron entre los 2 y 3 metros. Estos cambios posiblemente se debieron a los florecimientos de algas que se producen y al cambio en la dirección del viento que las transporta de norte a sur y viceversa.

Es importante mencionar que el 18 de octubre de 1986, se reportó una transparencia de 5 mt. en la estación D, este valor no fue reportado en las 13 observaciones realizadas en 1985. Esto no es un indicador que el lago ha mejorado sus condiciones, sino que se trata de un día "especial" (sin viento, ni florecimiento de algas).

Conductividad:

La conductividad fue un buen indicador de los cambios en la calidad del agua de las dos partes del lago (figura 5). De los 6 perfiles realizados entre octubre y abril, cambios bruscos de valores en las dos estaciones se reportaron.

La estación A de la figura 5 muestra valores menores de

FIGURA. 3

OXIGENO DISUELTO

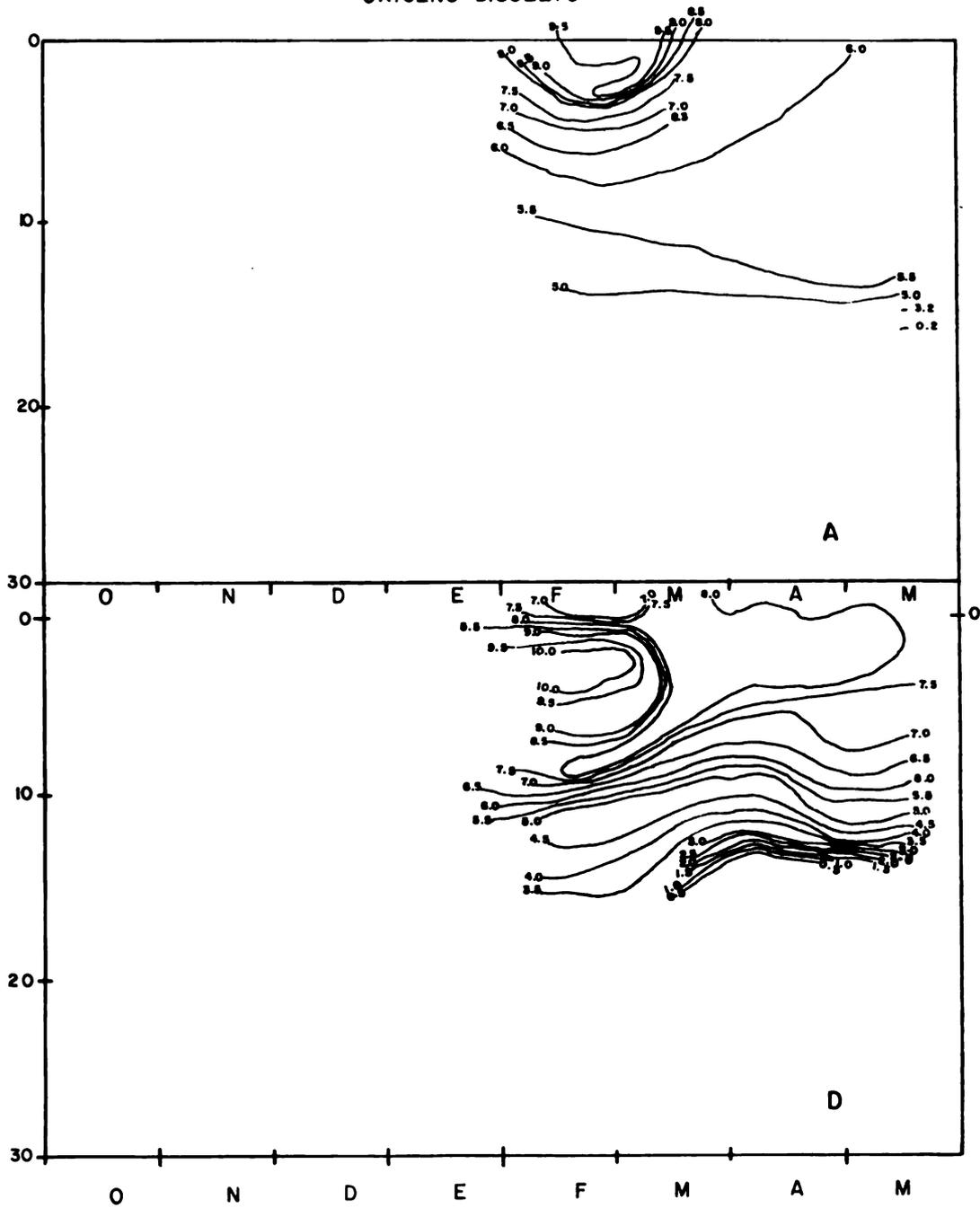


FIGURA. 4

DISCO SECCHI (m)

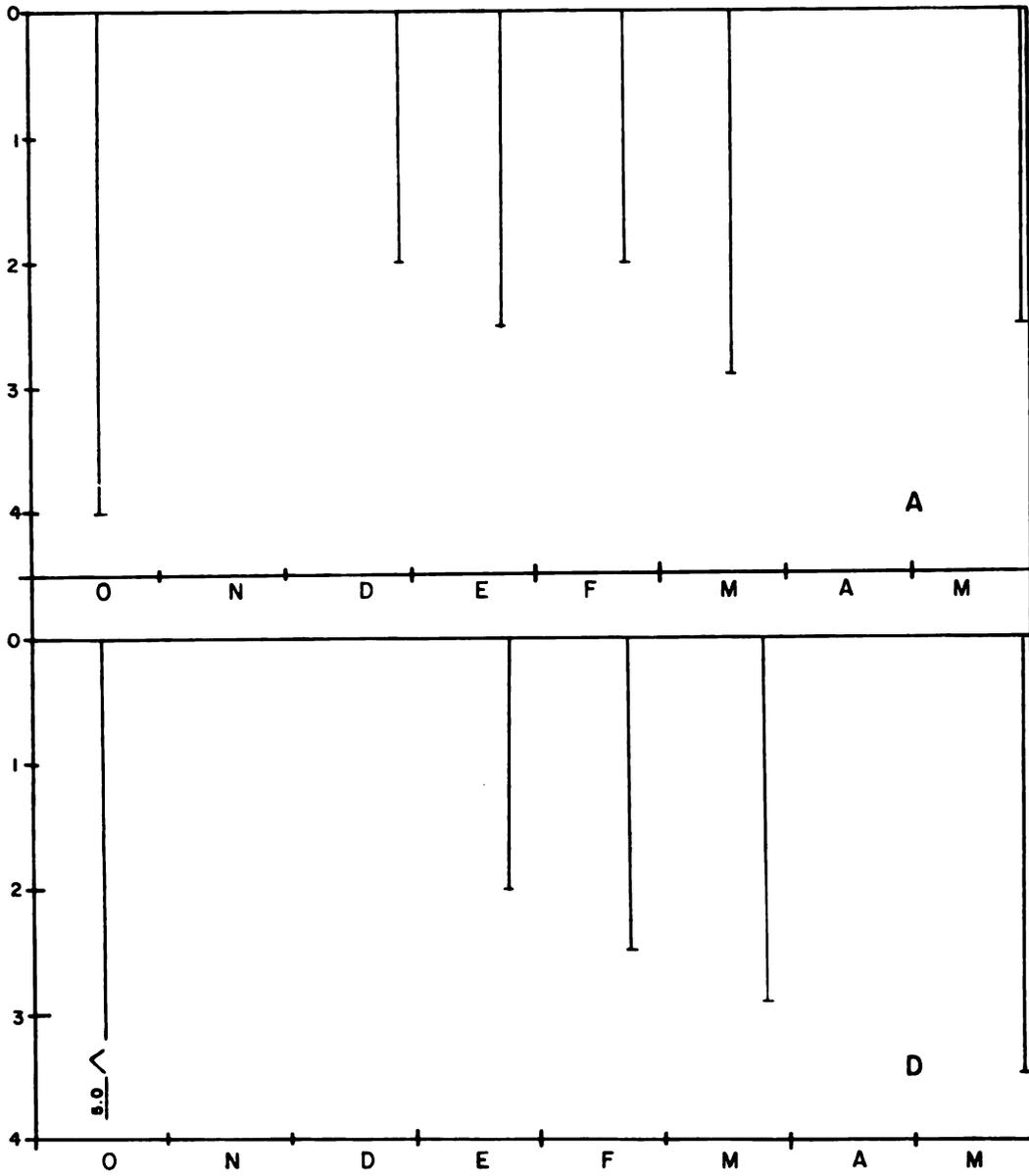
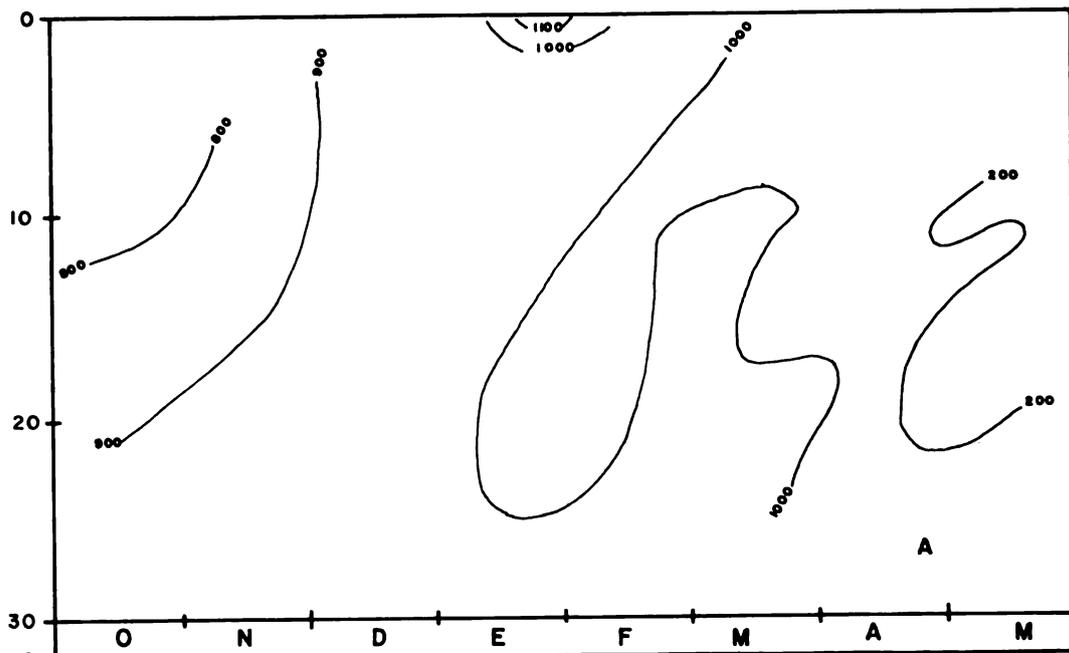
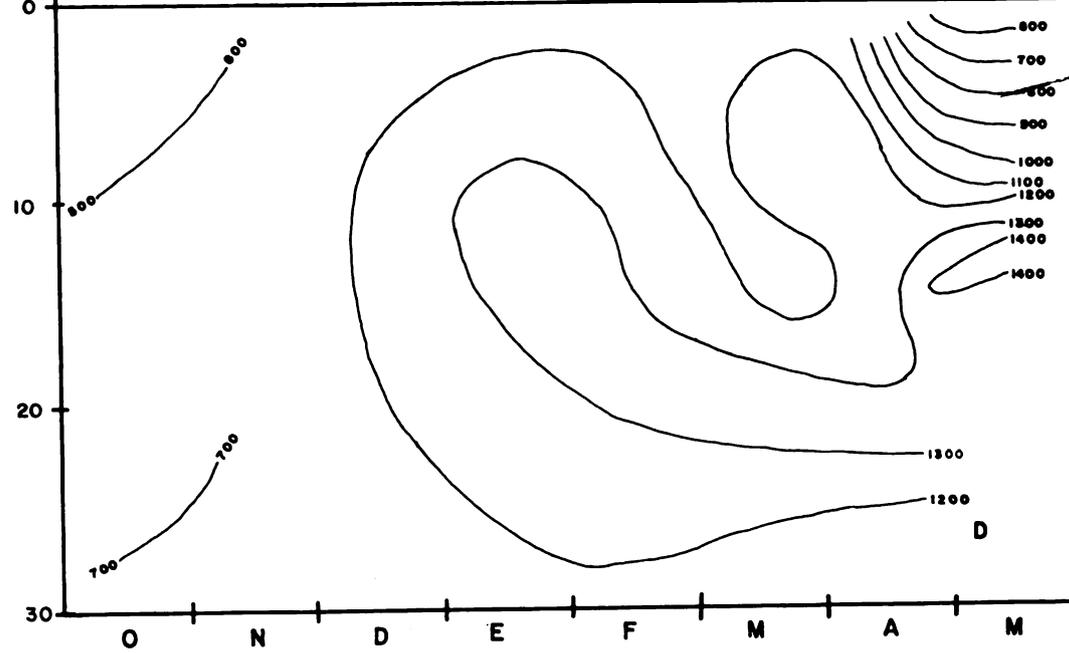


FIGURA. 5

CONDUCTIVIDAD



A



D

1,000 uS (entre 800 y 1,000) antes del volteo de las aguas (diciembre). La estación D mostró valores entre 600 y 700 uS. cuando el período de mezcla se establece (diciembre) los valores aumentan a 1,000 uS en la estación A (+200 uS) y a 1,200-1,300 uS en la estación D (+ 600 uS). Es importante analizar el aumento (de casi el doble) en la conductividad en la estación D; esto fue debido posiblemente a que durante esta época, por servir el lago como embalse para Jurún Marinalá, se extraen agua a través de las compuertas localizadas a la salida (entrada del río Michatoya). Por ser la entrada de agua al lago en el verano menor que la que sale por las compuertas, el nivel de agua baja y se establece una corriente de la parte oriental (estación A) a la occidental (estación D) y de ésta a la salida. Es decir, por estar las dos partes del lago interconectadas la calidad del agua de la estación D va estar influenciada por la calidad del agua de la estación A. A finales de abril la conductividad en la estación D mostró una estratificación que se acentuó en el siguiente muestreo a finales de abril (figura 5). En cambio en la estación A los valores bajaron hasta 200 uS. Este cambio significativo (de 1,000 a 200) infiere que los compuestos disueltos disminuyeron posiblemente porque fueron tomados por las algas o porque fueron evacuados hacia la otra parte del lago, debido a una gran extracción de agua. En el primer caso, habría un florecimiento de algas; en el segundo caso, sería lo contrario.

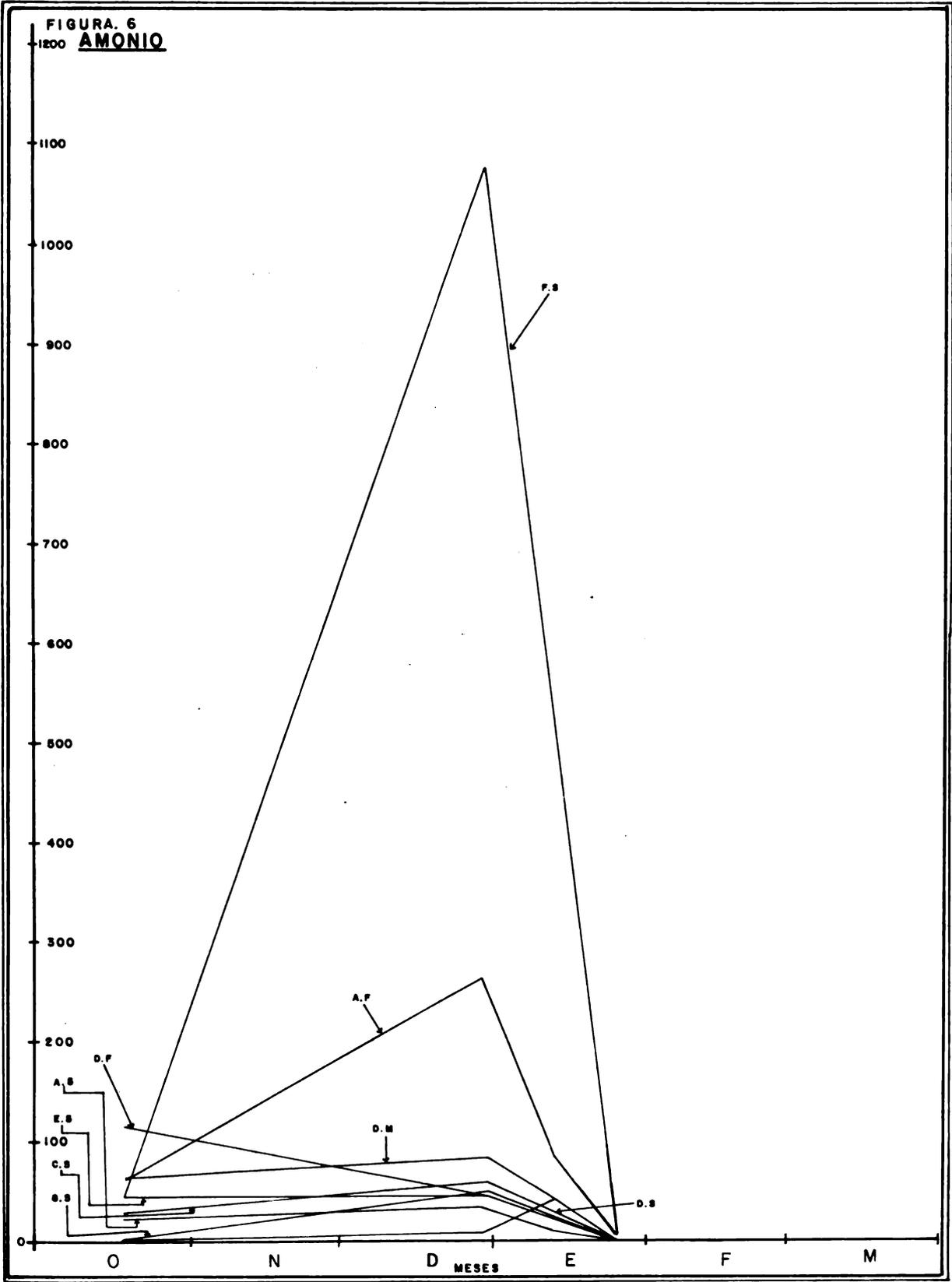
Nutrientes:

Métodos:

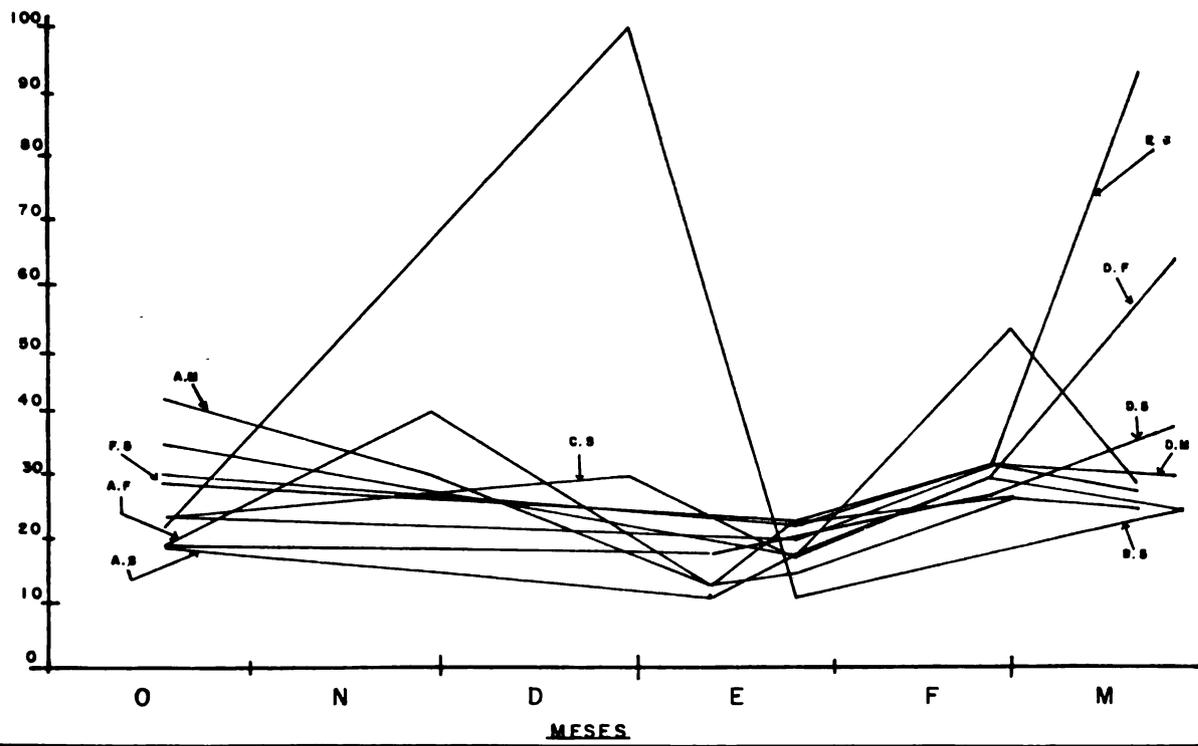
Las muestras de agua fueron tomadas con una botella VanDorn, colocadas en botellas de polietileno, a temperatura ambiente y los análisis fueron realizados en la semana posterior al muestreo. Para la determinación de amonio se utilizó el método Cenato; para el nitrito el método Sulfonil Amida y para el fosfato, el método Molibdato; todos tomados de los métodos estandares.

Las figuras 6,7 y 8 muestran el comportamiento del amonio, nitrito y fosfato respectivamente, de las 6 estaciones del lago.

FIGURA. 6
AMONIO



FOSFATO FIGURA. 8



La estación F por estar ubicada cerca del parque Las Ninfas, fue la que reportó el máximo valor de amonio (1075 ug/l).

Sin tomar en cuenta este caso, los valores de las muestras del fondo de la estación A fueron en promedio más altos que los de la estación D. La tendencia fue disminuir los valores a medida que pasaban los meses; en enero se reportaron concentraciones en ambas estaciones alrededor de 0 ug/l. En general los valores de amonio para las 6 estaciones estuvieron entre 0 y 80 ug/l.

Los nitritos mostraron a la misma tendencia que amonio. En la figura 7 se observa como los nitritos de la estación A, a 10 metros (A.M) y fondo (A.F) fueron los mayores valores reportados. En general los valores de nitritos oscilaron entre 0 y 20 ug/l.

El comportamiento de los fosfato puede observarse en la figura 8. En este caso, la estación B reportó el valor más alto (100 ug/l).

En general las concentraciones variaron entre 10 y 40 ug/l. En el último muestreo se reportó un aumento considerable en las estaciones de la parte occidental del lago (D, E y F), en relación a los valores reportados previamente y a los de las otras estaciones.

Fitoplancton del Lago

En el estudio de la dinámica de los cuerpos de agua que presentan niveles avanzados de eutroficación y contaminación, resulta significativo obtener información específica acerca de las comunidades fitoplanctónicas o sea las diferentes poblaciones algales que coexisten en un medio ambiente acuático, a pesar de las distintas necesidades fisiológicas y de las variaciones con respecto a los límites de tolerancia a determinados parámetros ambientales de tipo físico-químico que allí ocurren.

Así pues, dado que cada especie tiene un nicho basado en sus necesidades fisiológicas en relación con las variaciones de los factores del habitat, tenemos la presencia, distribución, dominancia...etc de una especie o asociación algal puede

constituir un indicador biológico de determinadas condiciones ambientales existentes. Es también importante señalar que en los ambientes sometidos a presiones ambientales grandes, es común encontrar la presencia de pocas especies de organismos y algunos de ellos muy bien adaptados a esas condiciones extremas.

En este estudio preliminar, somero y exclusivamente cualitativo del fitoplacton del lago de Amatitlán, realizado utilizando muestras de agua colectadas durante el período de enero a marzo con un captador de agua vertical a profundidad de 1 metro en 5 puntos situados en los sectores oriental, centro, relleno y occidental del lago, se encontraron representantes de los tres grandes grupos comúnmente presentes en los lagos cálidos tropicales eutróficos a saber: Cianófitas, Clorofitas y Diatomeas (cuadro 1).

CUADRO 1. Especies Fitoplanctónicas en el Lago de Amatitlán
(enero - marzo 1987)

Clase Cyanophyceae

- Microcystis aeruginosa
- Microcystis sp
- Lyngbya limnetica
- Merismopedia sp
- Nostoc sp

Clase Bacillariophyceae (Diatomeas)

- Tabellaria sp
- Melosira granulata
- Nitzschia sp 1
- Nitzschia sp 2
- Nitzschia sp 3
- Nitzschia acicularis
- Diatoma sp
- Surirella sp

Clase Chlorophyceae

- Kirchneriella obesa
- Kirchneriella sp
- Ankistrodesmus sp
- Oocystis sp
- Closterium sp
- Staurostrum sp

Clase Dinophyceae

- Ceratium sp

Resultó muy visible y significativa la presencia y distribución a través de todo el lago de Microcystis aeruginosa cianofita colonial que flota libremente; con matriz gelatinosa

transparente; de coloración azul-verdosa y la cianofita filamentosa Lymngbya limnetica.

Las cianofitas constituyen un grupo comúnmente presente todo el año en los lagos tropicales muy ricos nutrientes (Hutchinson, 1967); abundantes en los lagos productivos (eutróficos) sobre todo durante el verano, cuando las concentraciones de nutrientes son altas. La ocurrencia de especies clorofíceas y diatomeas es poca a excepción de Melosira granulata. La presencia de Dinoflageladas puede considerarse rara (Ceratium sp).

El fenómeno de "floreCIMIENTO de algas cianofitas" observado durante el verano en el lago Amatitlán, refleja el problema serio de eutroficación y contaminación que sufre este cuerpo de agua. Los florecimientos de algas cianofíceas en un cuerpo de agua son el resultado de la contaminación doméstica, agrícola e industrial. Por otro lado, el excesivo crecimiento y presencia de diferentes especies de macrófitas en el lago (tal como Elodea sp, Eichornia sp en pleno proceso sucesional) y los malos olores fácilmente percibidos, constituyen pruebas claras del problema de desequilibrio y por lo tanto de amenaza de degradación o muerte de este cuerpo de agua. Todo esto está íntimamente relacionado con la excesiva presencia de nutrientes en el agua. Los valores reportados de los análisis en el laboratorio lo confirman; las concentraciones de fosfatos entre 30 - 100 ug/l y las de amonio entre 20 - 1,100 ug/l son claros indicadores del problema de eutroficación y contaminación que existe en el lago

Discusión

Los valores reportados de temperatura, oxígeno disuelto y conductividad, permitieron inferir sobre el comienzo del período de estratificación (marzo). Los perfiles de oxígeno disuelto y sobre todo la conductividad, sirvieron para estimar que el período de mezcla se produjo entre diciembre y marzo. En este período es preciso tomar perfiles más frecuentes, si se quiere obtener comportamientos más claros.

Los valores de transparencia fueron mayores en la estación D que en la A. Además, en la estación D se observó una tendencia de

aumentar los valores a medida que el período de estratificación se consolidaba. Se reportó un valor de 5.00 metros que no fue observada durante todo el año de 1985.

Las concentraciones de amonio reportadas fueron alrededor de 45 ug/l en ambas partes de lago. Este valor es alto y se puede inferir que la fuente principal son las aguas residuales domésticas. La concentración de ortofosfatos fueron alrededor de 30 ug/l. Este valor también es alto y se ha establecido que los lagos con concentraciones de fósforo total mayores de 25 ug/l entran en la categoría de eutróficos. Los ortofosfatos son una porción de fósforo total, por lo tanto, este debe estar presente en el agua aún en mayores concentraciones.

La identificación de las algas en el lago reportó la presencia de Microcystis areuginosa y Lymnbya limnetica, especies que se reportan usualmente en lagos eutróficos. Además la presencia de Elodea sp y Eichornia sp también son indicadores de contaminación.

Este estudio es un paso más hacia la determinación de nutrientes con alto grado de confiabilidad de los datos. El siguiente paso será la determinación del fósforo total, nitratos y clorofila, y realizar todos los muestreos más frecuentemente y los análisis inmediatamente después del muestreo. La importancia de conocer con precisión las concentraciones de nutrientes y clorofila es poder inferir cuánto se necesitaría reducir las descargas de las fuentes de contaminación puntuales y no puntuales a manera de disminuir las concentraciones del lago a los valores que muestren una recuperación del mismo. Es decir, reducción de la cantidad de algas, aumento de la transparencia, reducción de la anoxia del hipolimnio, disminución del área infestada de macrofitas y otros.

El lago de Amatitlán, es un lago eutrófico y desde que se ha venido monitoreando (1985 a la fecha) ha mostrado "cuantitativamente" su deterioro progresivo. Este tipo de estudios permite mantener una vigilancia de los cambios en la calidad del agua del lago y poder evaluar cómo los proyectos de recuperación del lago y su cuenca estarían efectivamente

mejorando las condiciones del mismo y en qué magnitud.

Bibliografía

Basterrechea, M. (1986). Características Físicas y Químicas del Lago de Amatitlán. Ciencia Interamericana. vol 26 nos 1-2. p. 3-7.

Tabarini de Abreu, A. (1983). Principales parámetros físicos, químicos y biológicos considerados en la Investigación Aplicada de la Eutroficación del Lago de Amatitlán. Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos.

Weiss, Ch. M. (1971). Lake Amatitlán 1969-1970. ESE. Pub No. 281.

CAUSAS DE LA CONTAMINACION DE 7 RIOS TRIBUTARIOS DE LA SUBCUENCA
DEL LAGO DE AMATITLAN

M. Basterrechea**

M. Molina*

S. Molina***

E. Beltran*

Introducción

Los cuerpos de agua no deben considerarse como ecosistemas aislados, sino como parte de las áreas tributarias a dichos cuerpos de agua (Odum, 1971). Si las áreas tributarias están cubiertas con bosques naturales éstas son muy efectivas en reciclar elementos o compuestos químicos (materiales), evitando de esa manera la pérdida de los mismos en los cuerpos de agua. A medida que se alteran los bosques naturales por la deforestación, agricultura y urbanización, el reciclaje de materiales es menor y la pérdida de los mismos aumenta. La magnitud de esta pérdida depende de: 1) la intensidad y frecuencia de las lluvias y de las correspondientes escorrentías, 2) las características morfométricas, edáficas y geológicas de la cuenca y 3) el uso del suelo y su grado de alteración. La variación espacial de las características edáficas, geológicas y morfométricas en la cuenca producen variaciones en la calidad del agua de los ríos. Las variaciones espaciales en cuencas grandes tienden a integrarse debido a la confluencia y mezcla de los tributarios al río principal, produciéndose un "amortiguamiento" de los efectos provocados por dichas variaciones espaciales.

La urbanización no planificada trae consigo la

* Estudiantes de la Facultad de Química y Farmacia, USAC realizando trabajo de tesis

** PRMC/CATIE, Asesor de Tesis

*** Jefe de la Sección Industrial, de la División de Energía Nuclear, del Ministerio de Energía Minas e Hidrocarburos.

contaminación de cuerpos de agua debido a la descarga de aguas residuales domésticos e industriales. El grado de alteración de los ríos puede estimarse a través del monitoreo de las variaciones que se producen en la calidad de sus aguas. El objetivo de este trabajo es inferir el grado de contaminación que las aguas residuales domésticas y agroindustriales están provocando en 7 ríos tributarios de la subcuenca del Lago de Amatitlán.

En una cuenca alterada como la del lago de Amatitlán, es necesario cuantificar los cargos de contaminantes provenientes de fuentes puntuales (p.e. descargas de aguas residuales domésticas e industriales) y no puntuales (p.e. escorrentía). A diferencia de las fuentes puntuales que descargan contaminantes todo el año, las no puntuales solo lo hacen durante la estación lluviosa. En este documento se presentan los resultados de los análisis de la calidad del agua durante la época seca (octubre a mayo), por lo tanto sólo se evaluó la contaminación proveniente de fuentes puntuales.

Justificaciones de la Escogencia de los Sitios de Muestreo

La selección de los siete sitios a muestrear se hizo tomando en cuenta la contaminación proveniente de las descargas domiciliarias e industriales de las áreas urbanas de la cuenca del lago y de ingenio de azúcar y beneficio de café en Villa Canales y Santa Elena Barillas (Figura 1). Es decir, se muestreó el río Villalobos en la población de Villa Canales, cuando este río ya ha recibido las entradas de todos los tributarios (ríos Pinula, Las Minas, Tulujá, El Bosque, Platanitos). El agua de todos estos tributarios es derivada, parcial o totalmente, para riego y agua potable durante la época de verano. Además, debido al manejo inadecuado de las microcuencas de estos ríos y las características biofísicas propias hacen que el almacenamiento de agua sea muy bajo, por lo tanto los caudales base son también

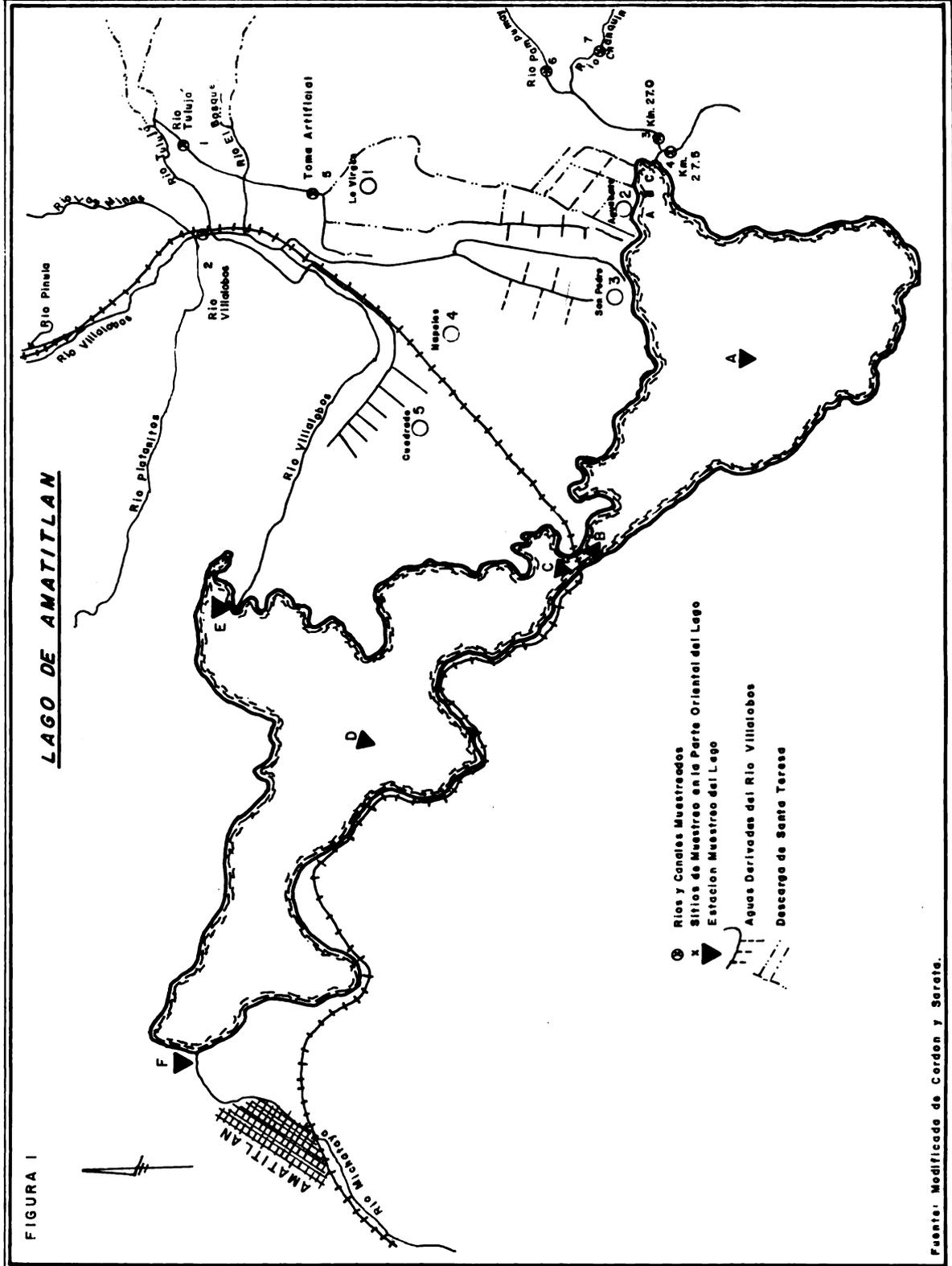


FIGURA I

Fuente: Modificado de Cordon y Sarate.

bastante bajos. Por ejemplo, Río Pinula alcanzaba en 1976 valores promedio en el verano del orden de 80 lts/seg y las Minas de 25 lts/seg (ERIS, 1976). Los ríos Tuluja y El Bosque durante los meses de diciembre y abril son utilizados en su totalidad para el procesamiento de azúcar y café en Villa Canales. el río Platanitos no manifiesta ningún escurrimiento en el verano.

Durante la época seca de este año (de finales de octubre a finales de mayo), el caudal del río Villalobos en el sitio de muestreo lo constituye sobre todo las aguas negras provenientes de la parte sur de la Ciudad de Guatemala y su área de influencia (alrededor de 38 industrias con significativo potencial contaminante y 300,000 habitantes).

En el sitio de muestreo, el caudal del río Villalobos es derivado parcialmente para regar áreas agrícolas. Aguas abajo de este punto al río le siguen derivando agua para regar sobre todo legumbres (tomate). El agua que entra al lago proveniente del río Villalobos durante la época seca es mínima (algunas decenas de lts/seg). Ninguno de los canales derivadores de agua del río Villalobos descargan superficialmente esta agua en el lago. Sin embargo, seguramente parte de esta agua llega a los acuíferos subterráneos y logran llegar al lago de este modo. Posteriormente, se discutirá la serie de pozos que fueron muestreados para comprobar el grado de contaminación de estos.

El agua del río Tuluja fue muestreada en el canal derivador aproximadamente 100 mts de la industria Santa Teresa. Este sitio se escogió para poder compararlo con la calidad del agua de la descarga de Santa Teresa (toma artificial). Los caudales de los ríos Tuluja (100 lts/seg), El Bosque (30 lts/seg) y tres pozos (60 lts/seg) son utilizados en el proceso de la caña de azúcar y el café. Se denomina toma artificial al canal que transporta el agua descargada de los procesos en Santa Teresa. Esta agua también es utilizada para regar las tierras agrícolas del área e igualmente no son descargadas superficialmente al lago.

Los ríos Pampumay y Chanquin nacen en la cabecera de la parte más suroriental de la cuenca del lago. El objetivo de muestrear estos dos sitios fue poder comparar la calidad de sus aguas,

supuestamente menos contaminadas, con las de otros sitios. Estos dos riachuelos siempre presentaron mejores condiciones visuales que los otros sitios muestreados; el agua siempre estuvo clara y fría y el caudal fue siempre el mismo. Sin embargo, son utilizados para lavar ropa por las familias que tienen sus casas en un área cercana.

Las descargas al lago denominadas Km 27 y Km. 27.5 las constituyen aguas provenientes de nacimientos y riachuelos de la cebecera suroriente de la cuenca del lago (río Panpumay, Chanquin y otros) y descargas del proceso del beneficio de café en Santa Elena Barillas, respectivamente. El agua del sitio Km. 27.5 y de la toma artificial, mostraron visualmente cuando se estaba llevando a cabo los procesos de la caña de azúcar y el café, ya que el agua aumentaba la temperatura (caña) transportaba trozos de bagazo o cáscara del café, un color grisáceo, olor a sucrosa (caña), etc.

Además, se muestrearon cinco pozos localizados a lo largo de la zona agrícola al norte del lago (Figura 1). Como se indicó anteriormente, la derivación de bastante agua proveniente del río Villalobos y las descargas de Santa Teresa (posiblemente más de la necesaria) implica la posibilidad que la porción de agua que no es utilizada por el suelo-planta se infiltre y llegue a los acuíferos subterráneos que además de no estar muy profundos (< 20 mts) fluyen fácilmente hacia el lago. Como se menciona en el primer trabajo de esta memoria, el aporte subterráneo de agua durante la época seca al lago constituye el elemento más importante del balance hídrico. Los pozos fueron escogidos estratégicamente (Aguacates y San Pedro fueron perforados por orden de F. Aguilar y los restantes tres son pozos domiciliarios) de manera a estimar la influencia del agua de riego.

Caracterización de las descargas de agua de los ingenios de azúcar y despulpadoras de café

La caracterización de las descargas domiciliarias e industriales de las áreas urbanas de la cuenca del lago (río Villalobos) ya ha sido descrita en el tercer trabajo de esta

memoria. Por lo tanto, esta sección se concentrará en la caracterización de las otras dos fuentes puntuales de contaminación de gran importancia y que se presentan únicamente en el período seco (diciembre-abril), es decir, las aguas residuales de ingenio de azúcar y beneficio de café.

Las características de las aguas residuales de un ingenio azucarero con una molienda de 1800 Ton de caña/día y utilizando un caudal de 500 lts/seg se muestra en el Cuadro 1. Estas características variarán dependiendo del sistema de corte de caña, arrastre y recirculación del agua y disposición de las cenizas de las calderas y del bagazo. La quema de la caña que se practica en el área causa contaminación del aire a través de partículas, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno.

Cuadro 1. Características de las aguas residuales de ingenio de azúcar

Temperatura	= 32° C
pH	= 6
Sólidos suspendidos	= 202 mg/l
Sólidos sedimentables (una hora)	= 8 ml/l
Demanda bioquímica de oxígeno	= 150 mg/l
Nitrógeno Total -N	= 5 mg/l
Fosfato -PO ₄	= 27 mg/l
Grasas y/o Aceites	= 150 mg/l

Fuente: Tarradellas y Guzmán, 1979.

Las despulpadoras de café, por su parte, producen aguas residuales provenientes del despupe y lavado. En el cuadro 2 se muestra las características de este tipo de aguas residuales. En Guatemala el beneficio del café se hace "húmedo" (es decir utiliza agua), a diferencia de otros países como Colombia y Brasil donde el despulpado se hace en seco.

Cuadro 2. Características de las aguas residuales de beneficio de café.

Temperatura	= 21° C
pH	= 4
Sólidos suspendidos	= 1826 mg/1
Sólidos sedimentables (una hora)	= 550 ml/1
Demanda bioquímica de oxígeno	= 6075 mg/1
Nitrógeno total - N	= 20 mg/1
Fosfato - PO ₄	= 8 mg/1
Grasas y/o Aceites	= 319 mg/1

Fuente: Tarradellas y Guzmán, 1979.

ICAITI ha demostrado, a través de una planta piloto, que en Guatemala el despulpado se puede hacer en seco y que, en este caso, no se necesitaría de agua, no produciría contaminación en los cuerpos de agua, que la cáscara podría ser utilizada como abono y/o cultivo de hongos comestibles y que la miel del fruto podría ser tratada. Sin embargo, la adopción de este proceso involucra cambio de mentalidad en los beneficiadores y algunos costos. Razones, además de la existencia aún de fuentes de agua cercanos a los beneficios, por las que no se ha logrado la adopción de este tipo de proceso. Posiblemente cuando los beneficiadores tengan menor disponibilidad de agua, esta sea de menor calidad y mayor conocimiento de las ventajas del proceso en seco, este sistema será adoptado. Esto sería muy conveniente ya que existen alrededor 3,000 beneficios de café entre grandes, medianos y pequeños en 21 departamentos de Guatemala.

Finalmente, es importante comparar las características de las aguas residuales de ingenios de azúcar y beneficios de café. Las aguas residuales de ingenio azucarero presentan mayor temperatura y concentración de fosfato con respecto a los del beneficiado del café. Sin embargo, estos últimos presentan una significativa demanda bioquímica de oxígeno (DBO). A manera de

tener una mejor idea de este valor, cabe mencionar que las aguas residuales domésticas tienen un DBO de alrededor 175 mg/l. En general, las aguas residuales de beneficio de café presentan mayores problemas de contaminación a los cuerpos de agua.

Resultados

Aspectos de la conductividad, oxígeno disuelto, temperatura y pH.

La conductividad indica la concentración de sólidos iónicos disueltos y se mide para determinar cambios en la calidad del agua. En la Figura 2 se muestra los valores de conductividad en los siete ríos muestreados. Todos los ríos presentaron el mismo comportamiento. De valores bajos (200 uS) de octubre a diciembre, cambiaron a valores muy altos (600 uS) de enero a marzo y volvieron a bajar a (200 uS) en abril. El río Villalobos siempre reportó los valores más altos (rango entre 400 y 800 uS), seguido por la descarga Km 27.5 que además reportó el valor más alto de todos (1222 uS). Este sitio fue el único que mostró cambios significativos durante enero y marzo, esto es debido a las descargas provenientes de beneficios de café ya que estas, a diferencia de los ingenios de azúcar, tienen gran cantidad de sólidos disueltos (Cuadro 2). Es por esa razón que la toma artificial, a pesar de recibir las aguas residuales de ingenio de azúcar entre enero y marzo, por tener estas bajas concentraciones de sólidos disueltos, la conductividad no mostró cambios bruscos.

Los ríos Panpumay y Chanquin a pesar de mostrar mejor calidad en sus aguas, reportaron valores similares a los otros ríos (a excepción de Villalobos y Km 27.5). Esto se debe a que la conductividad no mide contaminación sino únicamente la concentración de sólidos disueltos. Los ríos pueden presentar valores medios de conductividad y no estar contaminados, ya que esto es posible a través de la entrada de sólidos por la lluvia, disolución de las rocas, al contacto con el agua y alta tasa de evaporación que aumenta la concentración de sólidos (Basterrechea, 1986).

El oxígeno disuelto es una de las pruebas más importantes

FIGURA 2

CONDUCTIVIDAD

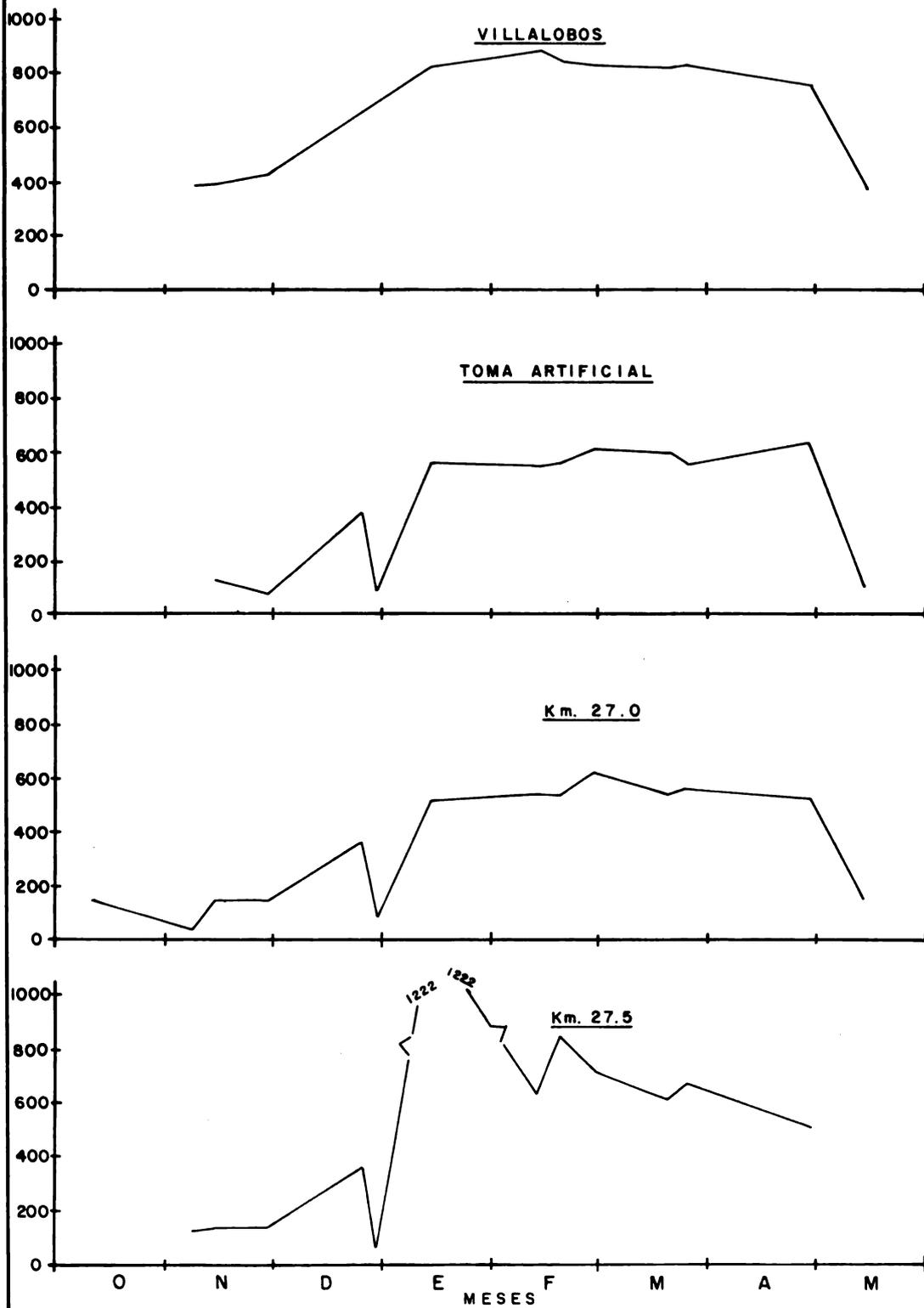
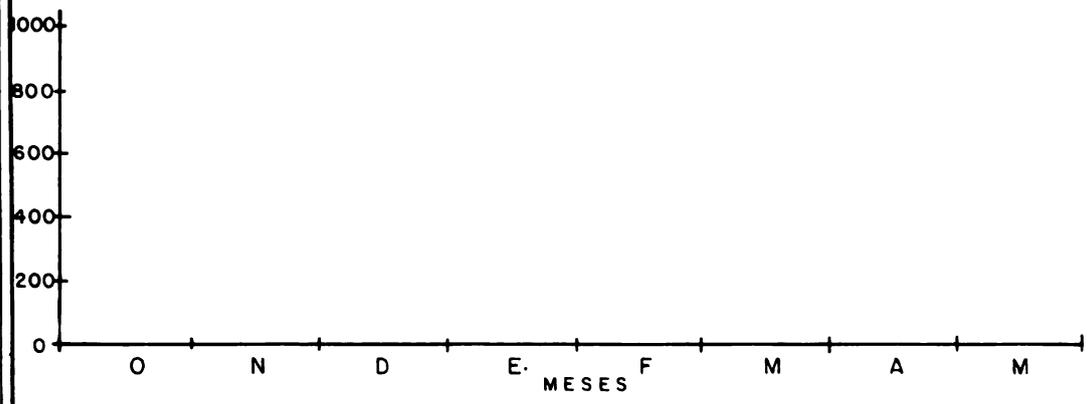
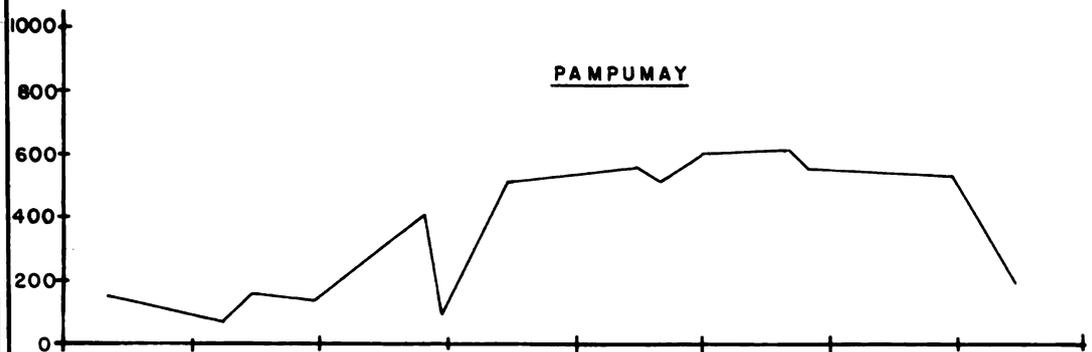
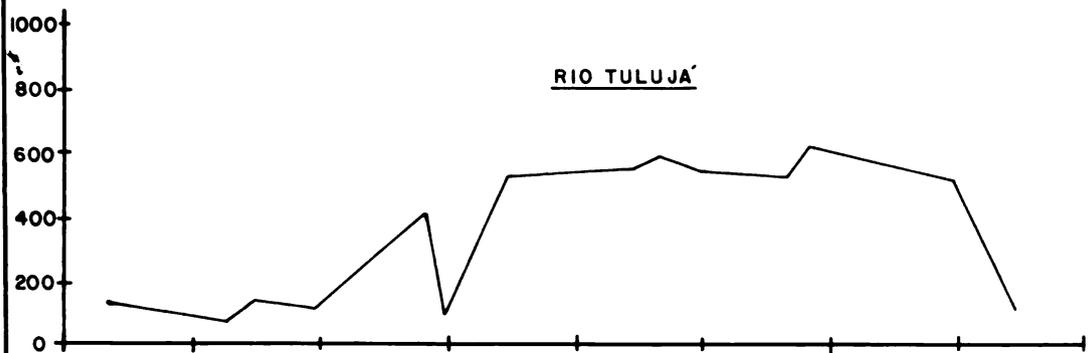
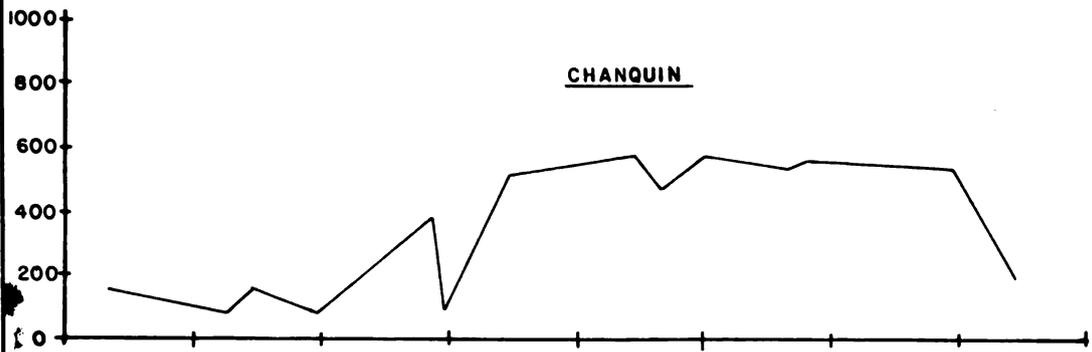


FIGURA 2

CONDUCTIVIDAD



en los estudios de contaminación. Todos los organismos vivos dependen del oxígeno de alguna manera para mantener los procesos metabólicos que producen energía para crecer y reproducirse. En la Figura 3 se muestra las concentraciones de oxígeno disuelto -OD- en los ríos muestreados.

Los valores de OD de los ríos Chanquin y Panpumay fueron los más altos (8mg/l) y constantes durante los meses muestreados; se infiere que presentan las mejores condiciones. Los O.D. del río Villalobos, de la toma artificial y Km 27.5 reportaron cambios bruscos y valores bajos (< 4 mg/l) de enero a marzo (debido a las descargas de aguas residuales de ingenio de azúcar y beneficio de café). El valor más bajo reportado (0.1 mg/l) fue en el Km 27.5 en febrero, esto se debió a la gran demanda de oxígeno de las aguas residuales de beneficio de café (> 6,000 mg/l). Esta situación no se presentó en la toma artificial porque la demanda bioquímica de oxígeno de las aguas residuales de ingenio de azúcar es mucho menor (\sim 150 mg/l).

Los valores de temperatura para los sitios muestreados se observan en la Figura 4. Los aspectos más sobresalientes son: los valores más bajos de temperatura fueron reportados en los ríos Pampumay y Chanquin por estar próximos al nacimiento de los mismos en la cabecera de la cuenca y los valores altísimos de la temperatura (39° C) reportados en la toma artificial debido a la descarga de aguas residuales de ingenio de azúcar (Cuadro 1).

Nutrientes

Nitrógeno y fósforo son ambos esenciales para el crecimiento de algas y la limitación de las cantidades de estos elementos es normalmente el factor que controla su tasa de crecimiento. Cuando ambos están en abundancia, florecimiento de algas ocurre lo cual puede producir una variedad de condiciones.

La atmósfera sirve como un depósito de nitrógeno del cual este es constantemente removido por la acción de descargas eléctricas y bacterias y algas fijadoras de nitrógeno. Durante las tormentas eléctricas gran cantidad de nitrógeno es oxidado a N_2O_5 , que al unirse con agua produce HNO_3 , el cual es transportado a

FIGURA 3

OXIGENO DISUELTO

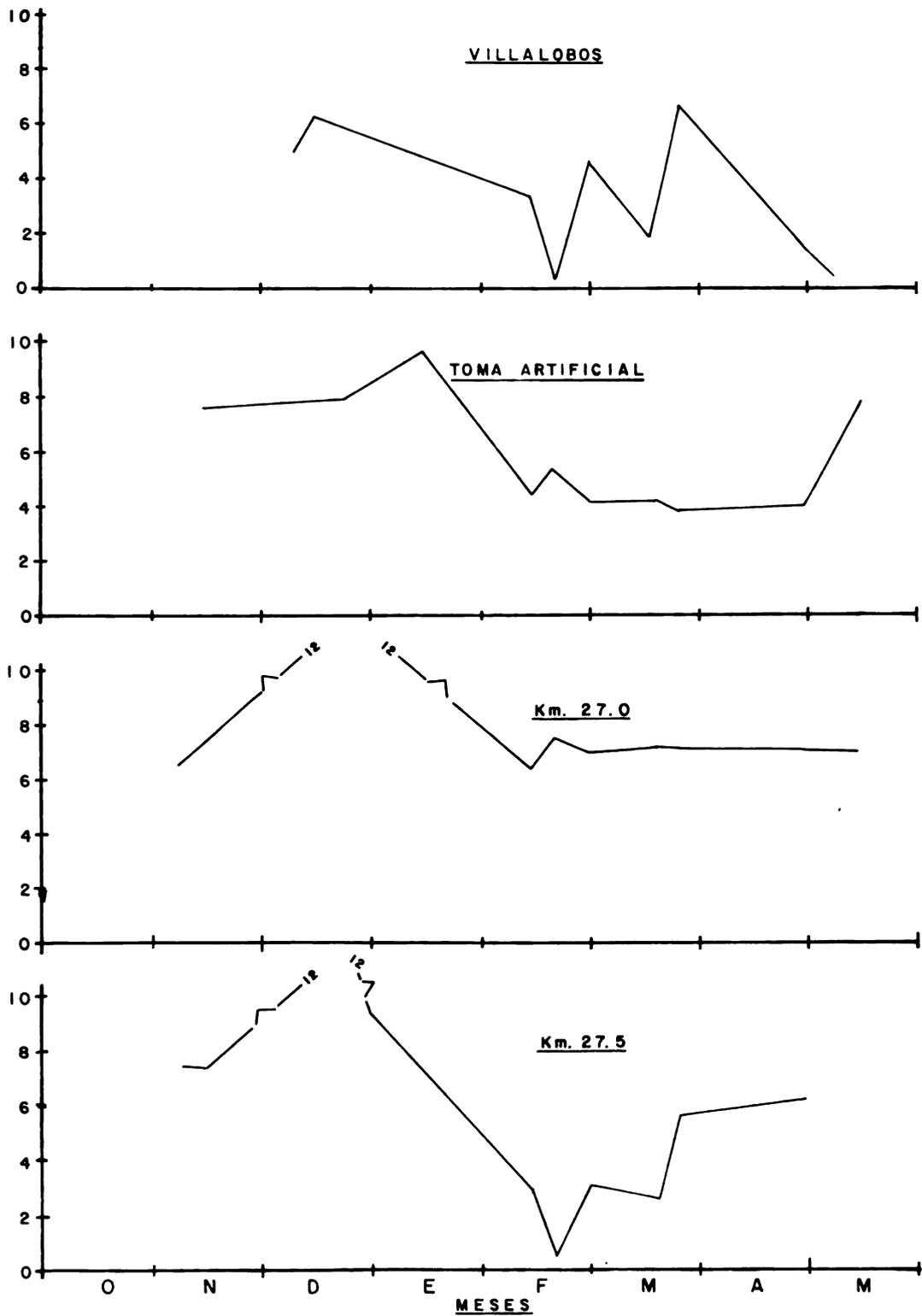


FIGURA 3

OXIGENO DISUELTO

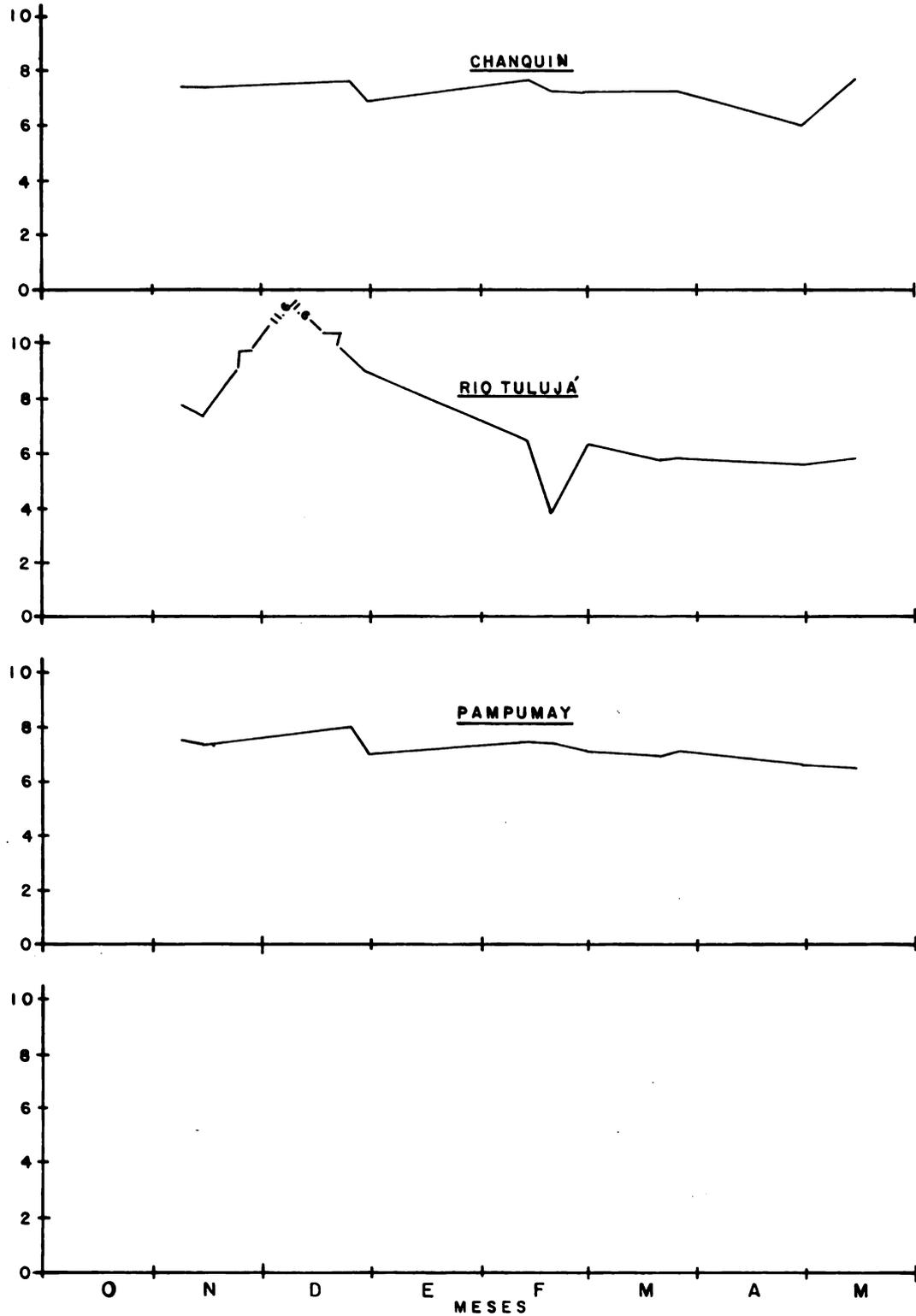
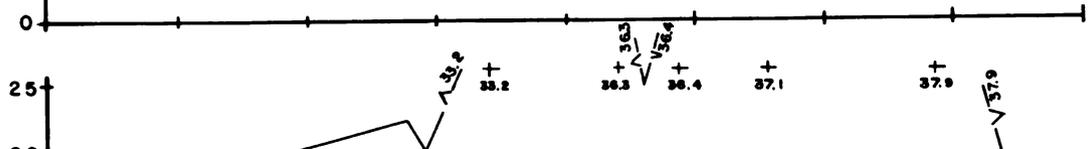


FIGURA. 4

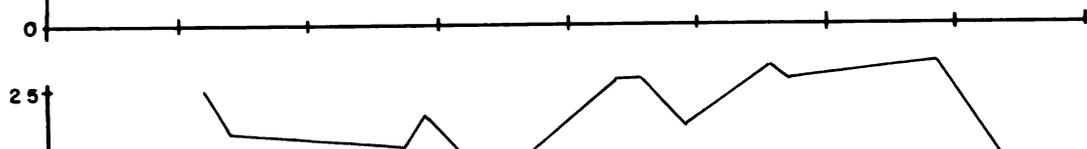
TEMPERATURA



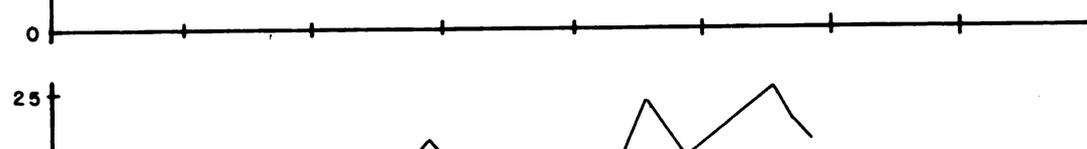
VILLALOBOS



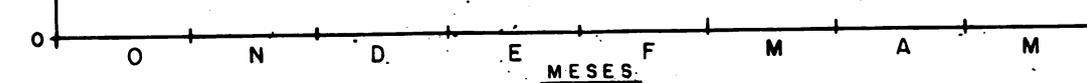
TOMA ARTIFICIAL



Km. 27.0



Km. 27.5



MESES.

la tierra por la lluvia (Sawyer y McCarty 1978). Nitratos son también producidos por oxidación directa de nitrógeno o amoniaco en la fabricación de fertilizantes. Nitrógeno de la atmósfera es convertido en proteínas por las bacterias y algas fijadoras de nitrógeno.

Además compuestos de amoniaco y amonio son aplicados al suelo para abastecer a las plantas de amoniaco para mayor producción de proteínas. Urea es uno de los compuestos de amonio más populares porque libera amoniaco gradualmente. Las heces de los animales contienen cantidades apreciables de nitrógeno orgánico (no asimilable). Sin embargo, las bacterias saprofitas en condiciones aeróbicas o anaeróbicas lo convierten en amoniaco.

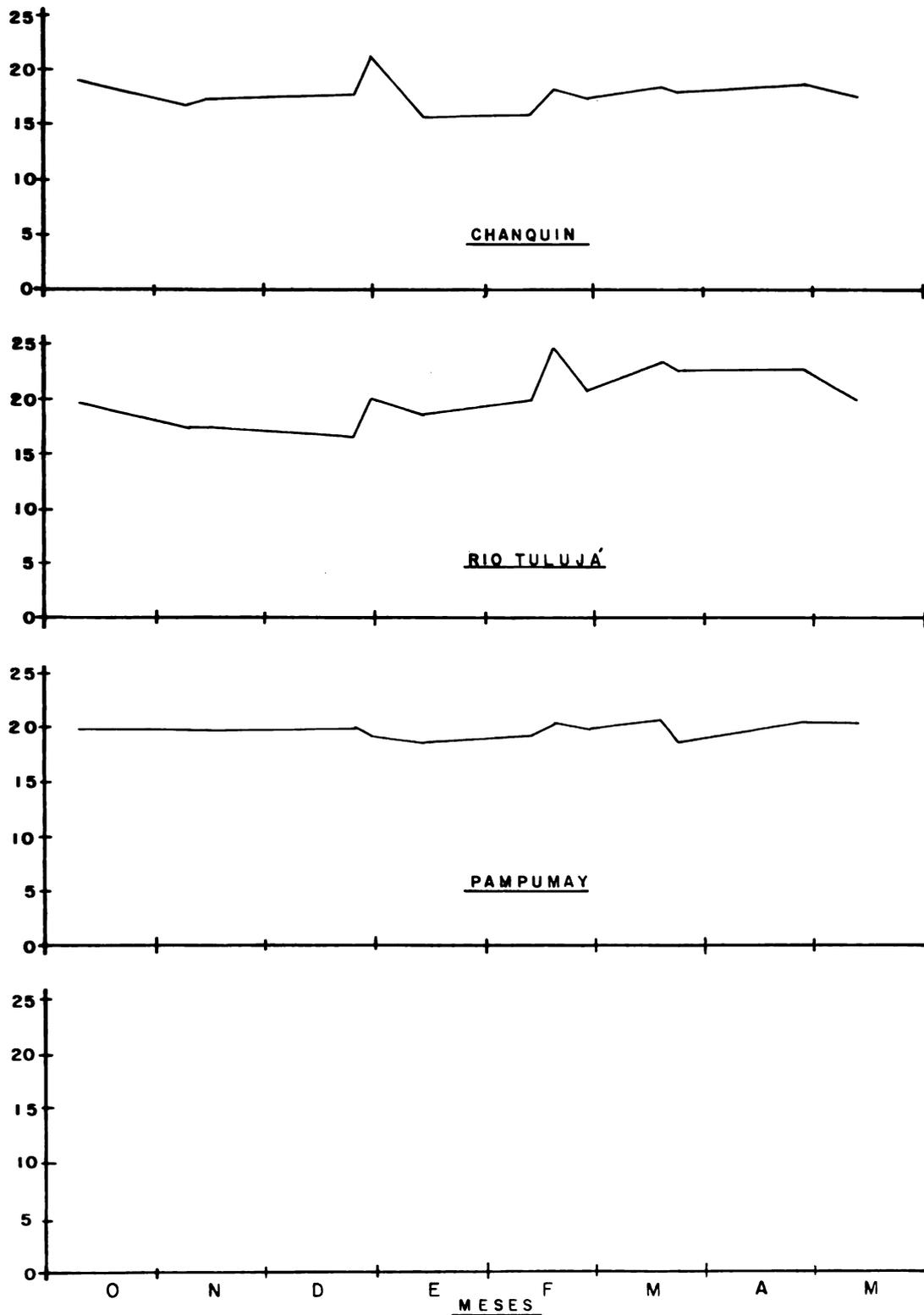
El amoniaco liberado por la acción bacteriana en la urea y proteínas puede ser utilizado por plantas directamente para producir proteína. Si el amoniaco es liberado en exceso de los requerimientos de la planta, este es oxidado por las bacterias autotróficas nitrificantes. El grupo nitrosomas convierte el amoniaco en condiciones aeróbicas a nitritos y obtiene energía de la oxidación. Los nitritos son oxidados por el grupo nitrobacter en nitratos. Estas conversiones pueden reducir considerablemente las concentraciones de oxígeno disuelto en los ríos.

Los nitratos formados sirven como fertilizantes para las plantas. Pero si los nitratos son producidos en exceso estos son transportados por el agua ya que el suelo no tiene la habilidad de retenerlos. Por esa razón frecuentemente resultan altas concentraciones de nitratos en el agua subterránea. En condiciones anaeróbicas nitratos y nitritos son reducidos, lo cual ocasiona pérdida de la fertilidad en los suelos.

En los cuerpos de agua que contienen sobretodo amoniaco y nitrógeno orgánico son considerados haber sido contaminados recientemente y por lo tanto de mayor posible daño. En aquellos en que el nitrógeno está en forma de nitratos se considera que la contaminación ha ocurrido hace más tiempo. Los nitritos se encuentran cuando los ríos están contaminados con aguas negras y están en período de autodepuración. Es interesante señalar que

FIGURA. 4

TEMPERATURA



muchas veces un aumento grande de nitritos se debe a contaminación por gasolina. En efecto, cuando la gasolina se derrama en el suelo se descompone tomando el oxígeno del aire en el suelo y cuando éste falta lo toma de los nitratos, los cuales se convierten en nitritos (Pinto de Tassinari, 1980).

En la Figura 5 y 6 se muestran los comportamientos del amonio y nitrito, respectivamente, de los siete sitios muestrados. Los valores de amonio en el río Villalobos, toma artificial, Km 27 y Km 27.5 fueron los más altos y los que presentaron mayores cambios; se infiere que estos son los cuerpos de agua más contaminados. En los otros ríos muestrados (Tulujá, Panpumay y Chanquir) los valores amonio y nitrito siempre fueron relativamente bajos y los cambios no fueron bruscos.

Las diversas formas de fosfatos se introducen en los ríos por una gran variedad de fuentes. Entre las principales fuentes están las aguas residuales domésticas y los fertilizantes. El contenido de fósforo inorgánico de esas aguas negras tiene un rango entre 6 a 9 mg/l y de fósforo orgánico entre 0.5 a 1 mg/l.

El fósforo inorgánico es contribuido de desechos humanos y detergentes. En Guatemala se utilizan detergentes conteniendo gran cantidad de fosfatos (15-20% de su peso total). Paz, (1983) reportó altas concentraciones de ABS (\bar{x} = 9.8 mg/l). Estos valores no deben exceder de 1 mg/l. Otra fuente son los ortofosfatos que aplicados como fertilizantes en la agricultura pueden pasar al agua al ser estos arrastrados por la lluvia o el riego.

En la Figura 7, se muestra los fosfatos de los ríos muestrados. Los valores más altos fueron reportados en la toma artificial el 28 de febrero y el 26 de marzo. Como se señaló en el cuadro 1., las aguas residuales de ingenio de azúcar presentaron concentraciones de fosfato mayores que las del beneficio de café (~4X). Estos valores fueron incluso mayores que los reportados en el río Villalobos. Sin embargo, en el resto de muestras, el río Villalobos reportó los valores más altos (\bar{x} = 768 ug/l). En los sitios Km 27 y Km 27.5 se obtuvieron

FIGURA. 6

NITRITO

- 1.- EST. VILLALOBOS
- 2.- EST. TULUJA
- 3.- EST. Km. 27.5
- 4.- EST. CHANQUIN
- 5.- EST. PAMPUMAY
- 6.- EST. TOMA ARTIFICIAL
- 7.- EST. Km. 27.0

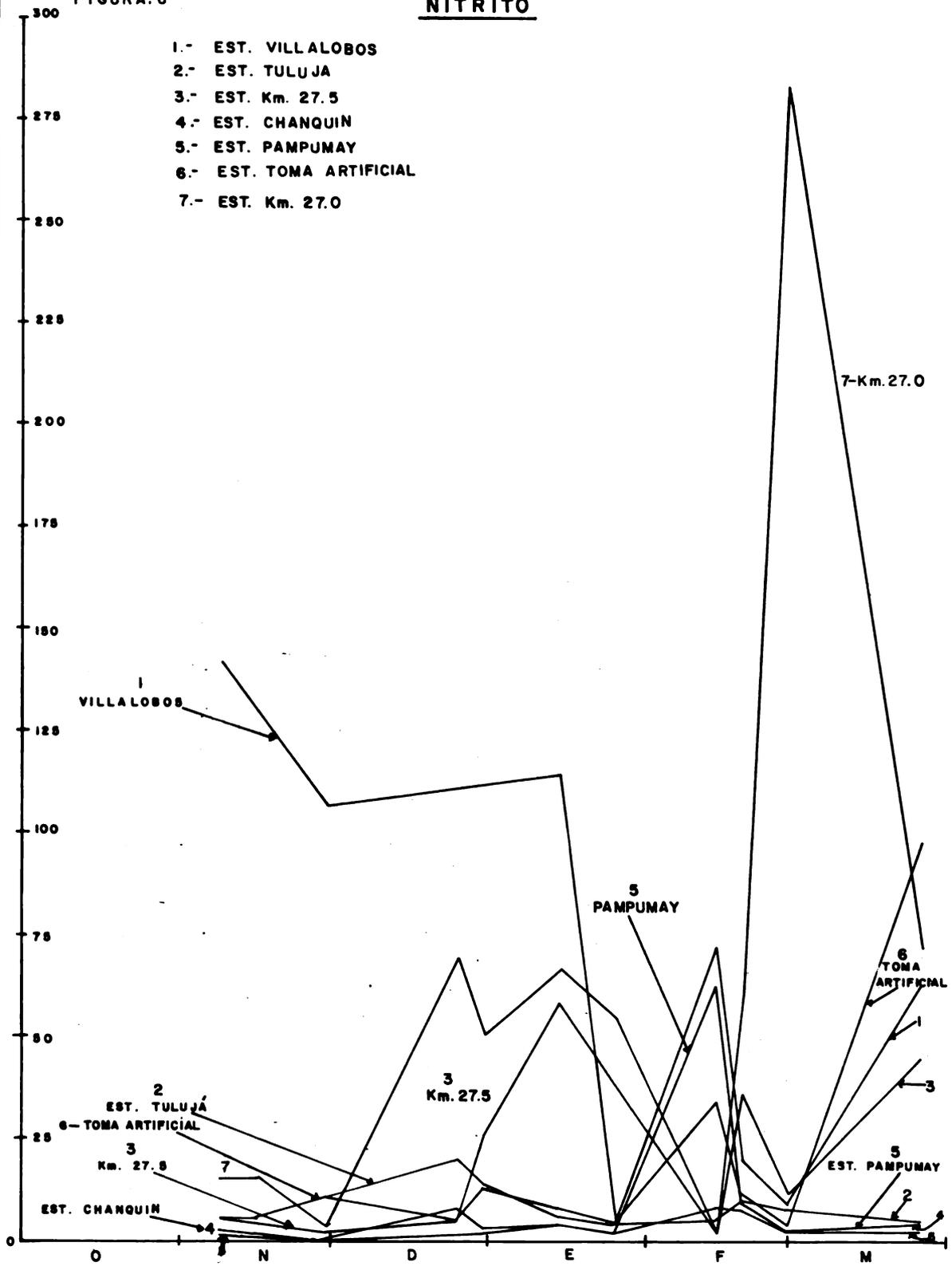
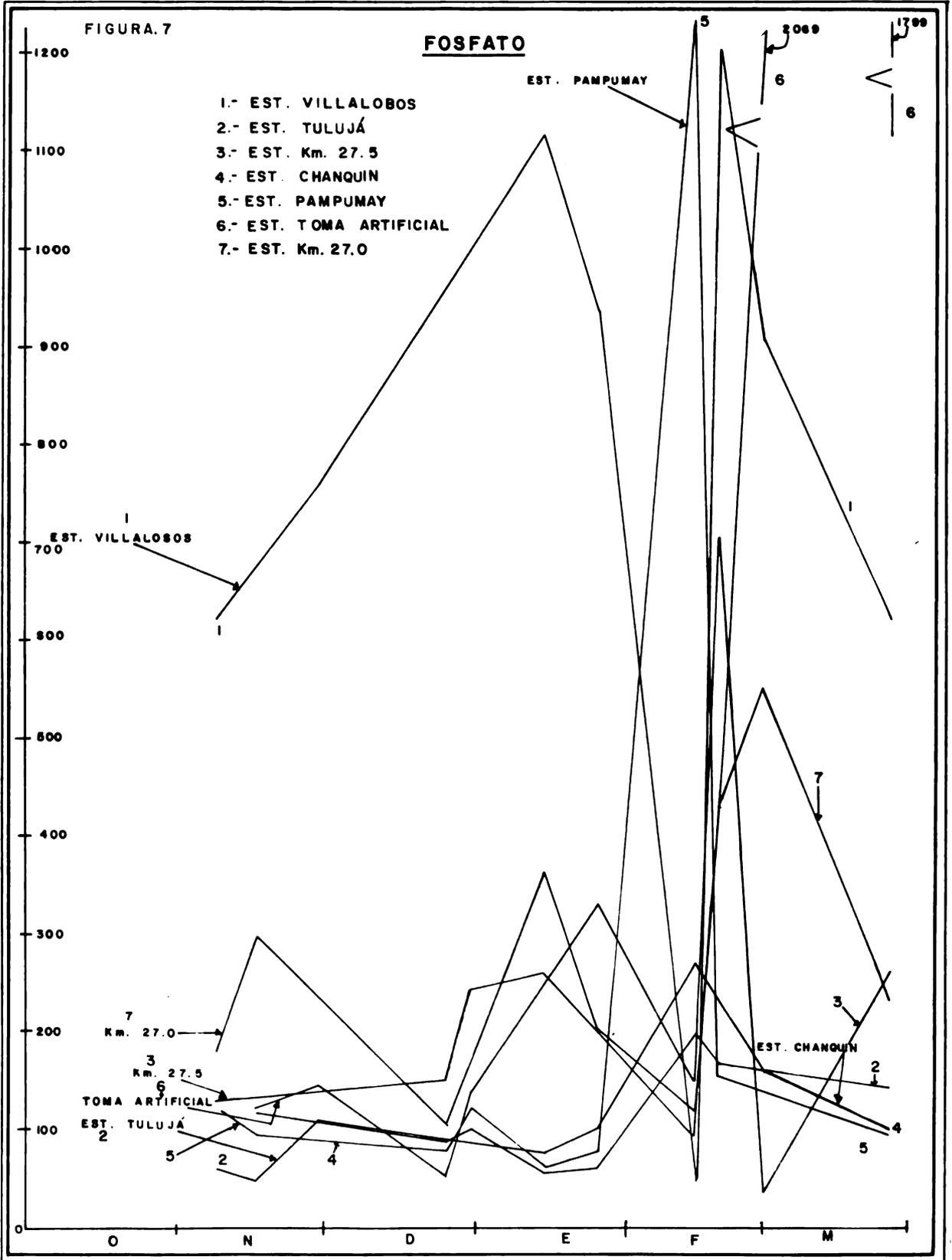


FIGURA. 7

FOSFATO

- 1.- EST. VILLALOBOS
- 2.- EST. TULUJÁ
- 3.- EST. Km. 27.5
- 4.- EST. CHANQUIN
- 5.- EST. PAMPUMAY
- 6.- EST. TOMA ARTIFICIAL
- 7.- EST. Km. 27.0



promedios de 275 y 242 ug/l respectivamente, que son aproximadamente la mitad de la concentración promedio de la toma artificial ($\bar{x} = 583 \text{ ug/l}$).

Los ríos Tuluja, Pampumay y Chanquin reportaron valores promedio alrededor de 100 mg/l. Sorpresivamente el río Pampumay el 14 de febrero reportó un valor exageradamente alto (1237 mg/l), esto se debió posiblemente a que se toma la muestra poco tiempo después de haberse lavado ropa con detergente.

Discusión

Los siete sitios muestreados mostraron que en alguna forma han sido alterados por la acción del hombre. En general, el río Villalobos mostró los valores más altos de contaminación (bajo niveles de oxígeno disuelto, altas concentraciones de amonio y fosfato). Esto no es sorprendente debido a que en el sitio de muestreo el río ya ha recibido las aguas residuales domésticas e industriales de la parte sur de la ciudad de Guatemala y su área de influencia. Sin embargo, la toma artificial, el Km 27.5 y en menor grado el Km 27, mostraron cambios más bruscos debido a las descargas de ingenio de azúcar y beneficio de café. A principio de enero hasta mediados de abril (sobre todo en febrero), los tres sitios mostraron cambios bruscos respecto a los valores reportados los meses anteriores (de octubre a diciembre). La alta temperatura y concentración de fosfatos fueron los mejores indicadores de las aguas residuales de ingenio de azúcar (toma artificial). Las concentraciones de oxígeno disuelto y la conductividad fueron los mejores indicadores de la contaminación por las aguas residuales de beneficio de café (km.27.5).

A pesar que la calidad del agua de los ríos Tuluja, Chanquirí y Pampumay fue relativamente mejor que los ríos de los otros sitios, estos reportaron cierto grado de contaminación. Por ejemplo, el río Tuluja, el 14 de febrero reportó baja concentración de oxígeno (4 ug/l) y el río Pampumay el mismo día reportó alta concentración de fosfato (1,200 ug/l). Los tres ríos son utilizados aguas abajo para el proceso de la caña de azúcar (Tuluja) o para descarga de aguas residuales de beneficio de

café (km. 27.5).

A diferencia del agua del río Villalobos y toma artificial que son utilizadas para riego y no son descargados superficialmente al lago, los sitios km 27 y km 27.5 descargan el agua al lago. Es evidente que estas descargas -shock- han contribuído significativamente al deterioro del lago y sobretodo a la parte oriental del mismo. En un siguiente tema se discutirá el efecto de estas descargas en el lago.

Los valores de los nutrientes reportados de el agua de los pozos indican también cierto grado de contaminación. Por esto el nivel del agua subterránea cercana a la superficie (20mts) es evidente que el agua de riego en exceso se infiltre y la contamine. Además se ha indicado que el suelo no tiene la capacidad de retener el exceso de nitrato y este es fácilmente transportado por el agua. Sin embargo, la contaminación del agua subterránea de estos pozos no es sólo debido al riego con aguas residuales domésticas/industriales e ingenio de azúcar, sino de la contaminación de toda la cuenca.

En las figuras 8 y 9 se muestran los resultados de dos análisis del agua de 5 pozos a lo largo de la parte norte del lago. Preliminarmente se puede inferir que Nopales (Fig. 1) presentó mejores condiciones que los otros pozos muestreados (relativamente bajas concentraciones de fosfatos y estables valores de oxígeno). Al contrario la Virgen y sobretodo Aguacate presentaron mayores concentraciones y cambios. Potencialmente, Aguacate recibe mayores concentraciones de fosfatos provenientes del área agrícola que se riega. Es evidente por los valores reportados que todos los pozos estan relativamente contaminados.

Este trabajo ha demostrado cuantitativamente el grado de contaminación de 7 ríos cercanos al lago de Amatitlán en la época seca (de octubre a abril) de los cuales 2 descargan sus aguas superficialmente al lago (km 27 y km 27.5) y otros 2 contaminaron en menor grado el agua subterránea que descargan al lago (río Villalobos y toma artificial). Este estudio se seguirá en la época de lluvias (mayo a octubre) para completar el año e inferir sobre los cambios en los valores reportados.

FIGURA. 8

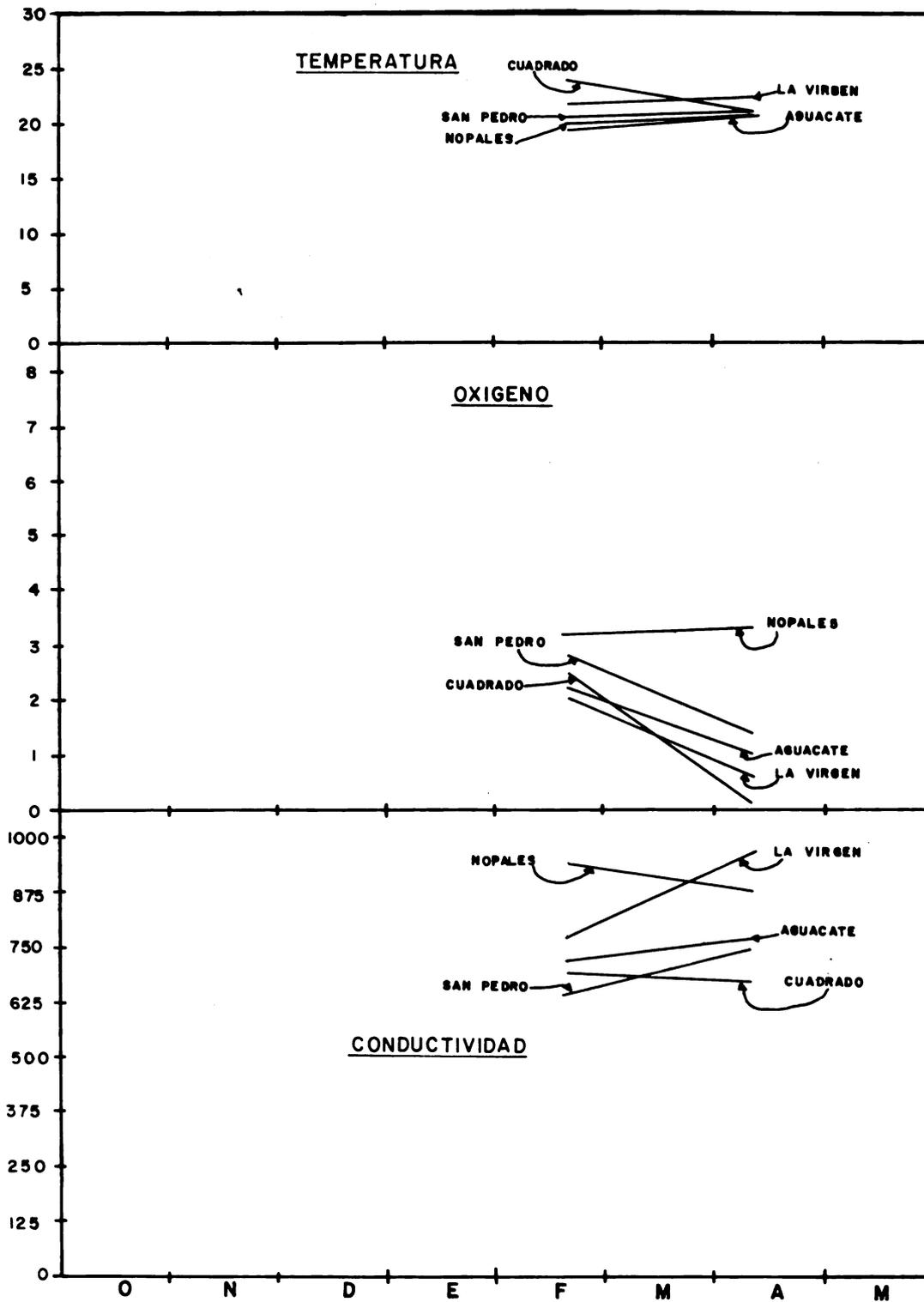
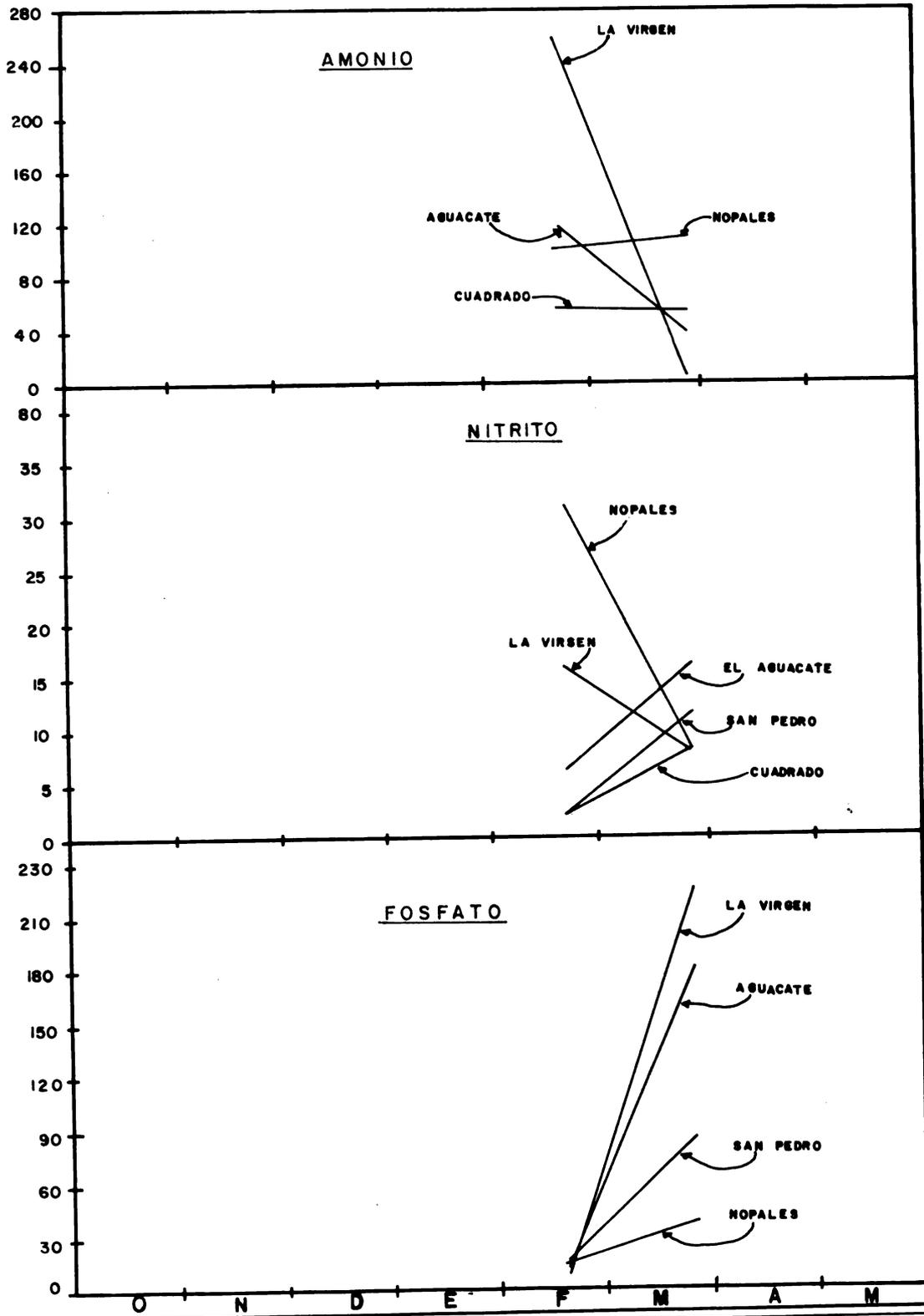


FIGURA. 9



Bibliografía

- BASTERRECHEA, M. (1986). Caracterización de la Cuenca del Río Motagua, Guatemala. Rev. Brasil. Biol., 46 (2): 469-476. Mayo, 1986. Río de Janeiro, RJ.
- ERIS (1976). Informe Final sobre el Programa Consejo Federal Suizo, Gobierno de Guatemala, USAC y DMS/DPS.
- ODUM, E.P.(1971). Fundamentals of Ecology. W.B. Saunders Company.
- PAZ, H.I. (1983). Determinación del Nivel actual en el Transporte y descarga del Lago de Amatitlán del surfactante anionico del alquilbenceno el cual se degrada muy lentamente y proviene del uso creciente de detergentes sintéticos. Tesis Química y Farmacia. Universidad de San Carlos.
- PINTO DE TASSINARI, M.C. (1980). Estudio Preliminar de la Capacidad de Regeneración de las aguas de la cuenca Las Vacas-Motagua. Tesis Química y Farmacia. Universidad de San Carlos.
- SAWYER, C.N y P.L. McCARTY. (1978). Chemistry for Environmental Engineering. McGraw Hill.
- TARRADELLAS, T. y G. GUZMAN (1979). Saneamiento Industrial. ERIS/USAC y Ecole Polytechnique Federale de Lausanne Institut e Genie de l'environnement. PISS.

**IMPACTO DE DESCARGAS INTERMITENTES
DE LAS AGUAS RESIDUALES DE BENEFICIO DE CAFE**

M. Basterrechea **
D. Castañeda *
S. Molina ***
E. Beltrán *

Introducción

A la contaminación por descarga de las aguas residuales domésticas se le adjudica el actual deterioro de casi todos los cuerpos de agua. Sin embargo, existen otras fuentes contaminantes que en algunos casos, son tan o más importantes que las aguas residuales domésticas. Una de estas son las aguas residuales de beneficio de café.

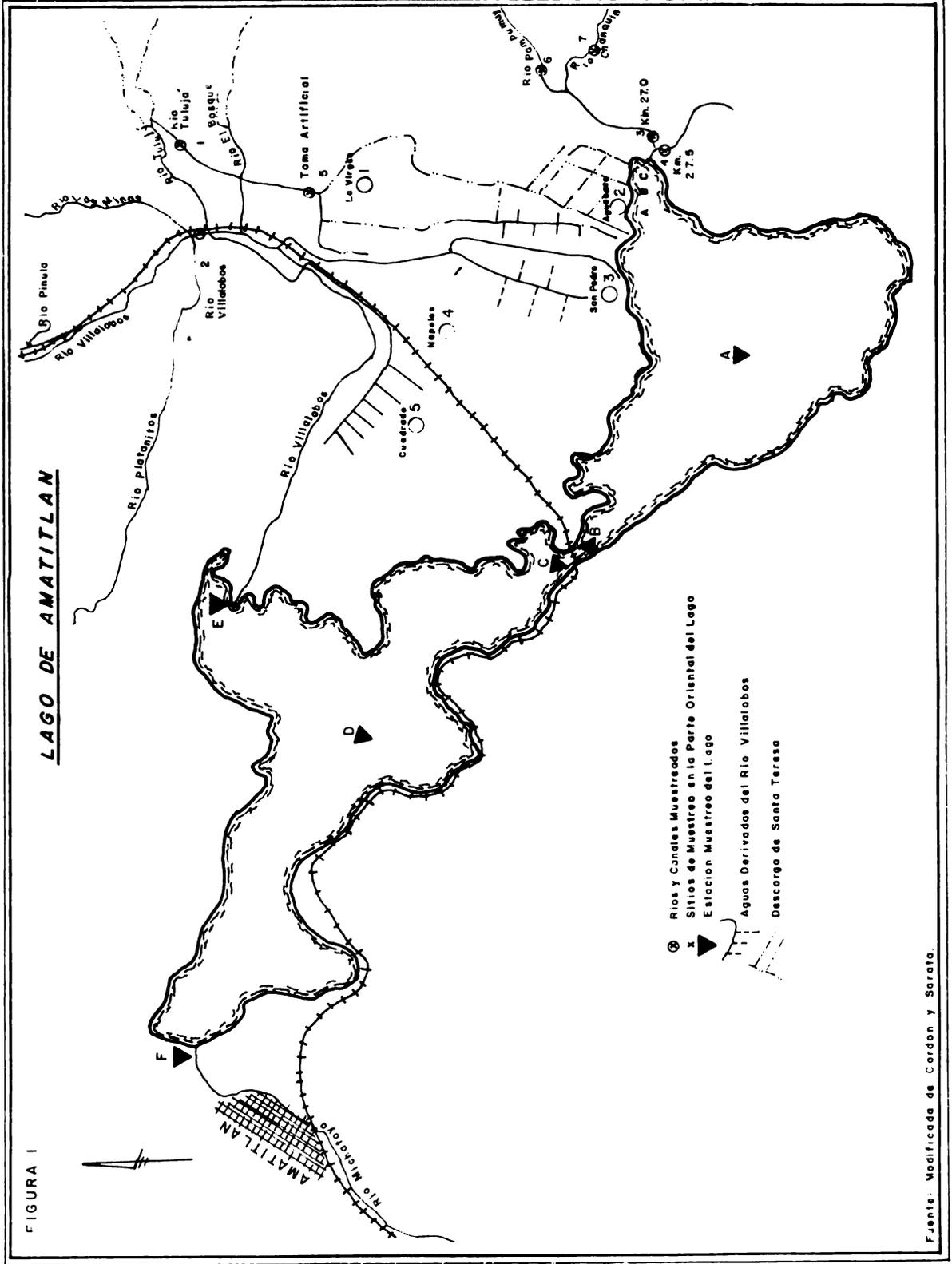
Como se describió en el documento anterior, la parte más nororiental del lago de Amatitlán recibe las descargas intermitentes de las aguas residuales de beneficio de café (figura 1). Las descargas denominadas km 27 y km 27.5 presentan además otras características: son las únicas entradas relativamente considerables de agua superficial al lago durante la época seca (decenas de litros/segundo) y las aguas residuales de beneficio de café tienen una alta demanda bioquímica de oxígeno (6,000 ug/l) que pueden agotar los niveles de oxígeno del lago.

El objetivo de este estudio es evaluar el impacto de las descargas de aguas residuales de beneficio de café en el lago en su zona de amortiguamiento.

* Estudiantes de la Facultad de Química y Farmacia, USAC, realizando trabajo de tesis.

** PRMC/CATIE, Asesor de Tesis.

*** Jefe de la Sección Industrial, División de Energía Nuclear, Ministerio de Energía, Minas e Hidrocarburos.



Fuente: Modificada de Cordon y Sarata.

Tres zonas de amortiguamiento fueron escogidas de manera que pudiesen reflejar algunos cambios entre cada una. Además en cada zona se muestrearon tres puntos, el primero a 5 metros de la orilla y sólo superficialmente; el segundo, a 20 metros con muestras de la superficie y del fondo, y la última a 100 metros, tomándose muestras en la superficie, el medio y el fondo. Es decir se evaluaron 18 sitios en la zona de amortiguamiento.

Resultados

En las figuras 2, 3 y 4 se muestra el comportamiento de las zonas A, B y C. En general, las tres zonas y los seis sitios de cada una de ellas mostraron el mismo comportamiento. Todos mostraron cambios significativos de un muestreo a otro.

En general, el rango de valores de amonio fue entre 50 y 150 ug/l. Estos valores son altos e indican una contaminación importante. Al comparar los valores de amonio del sitio km 27.5 con los de la estación C, las fluctuaciones coinciden casi exactamente; a excepción de la muestra de febrero. el rango de valores de amonio para los sitios km 27 y km 27.5 estuvo entre 0 y 80 ug/l.

Los nitritos mostraron la mayor diferencia entre las 3 zonas sobre todo entre la A y las otras dos (B y C). En general, la A mostró las concentraciones más altas y con mayor fluctuación entre ellas (A1, A2 y A3). Sin embargo, la mayoría de valores están entre 5 y 20 ug/l. Los sitios km 27 y 27.5 mostraron un rango de valores entre 2 y 283 ug/l.

Los fosfatos no mostraron mayores cambios entre cada zona. Sin embargo, las tres zonas mostraron la tendencia a aumentar los valores a partir de enero (de 10 a 30 ug/l). Los valores máximos reportados para cada zona fueron en diferentes fechas, 30 de diciembre A y B con 39 y 75 ug/l, respectivamente y en la zona C fue el 25 de enero (41 ug/l). Los sitios km 27 y km 27.5 reportaron un rango de valores entre 35 y 707 ug/l.

AMONIO

FIGURA. 2

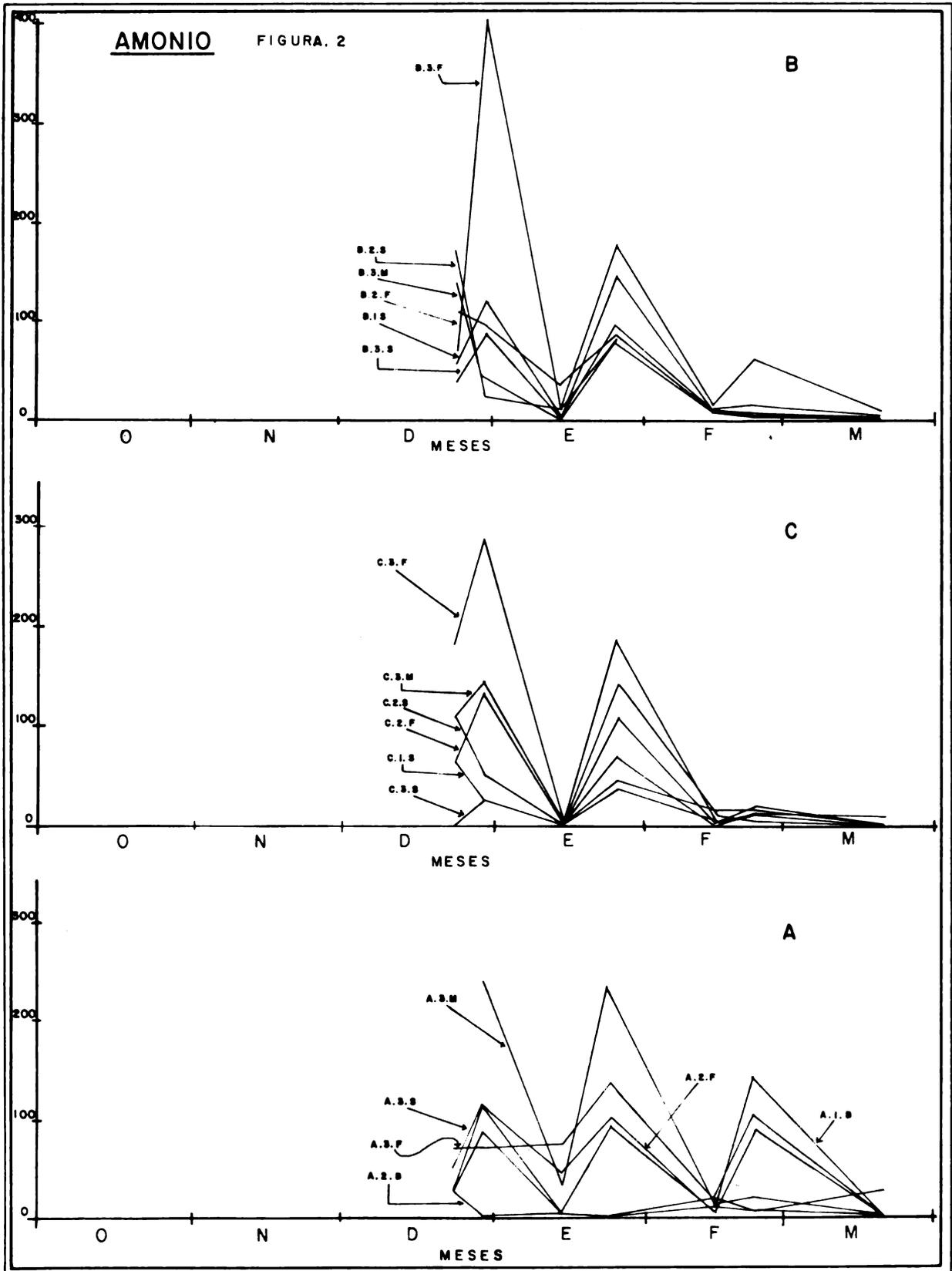
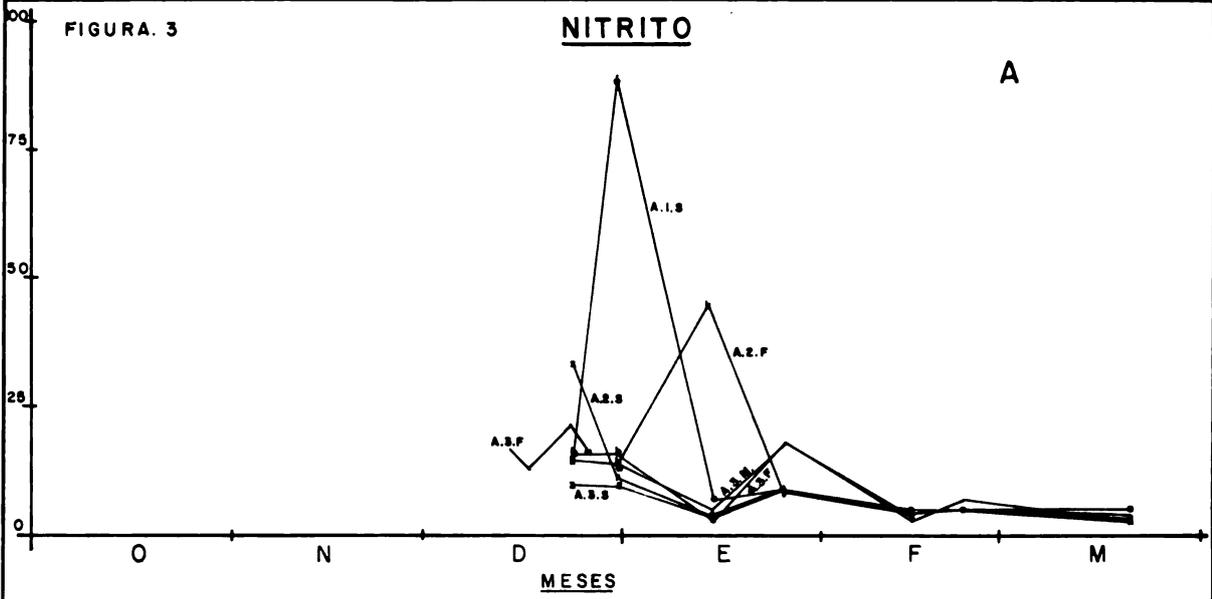


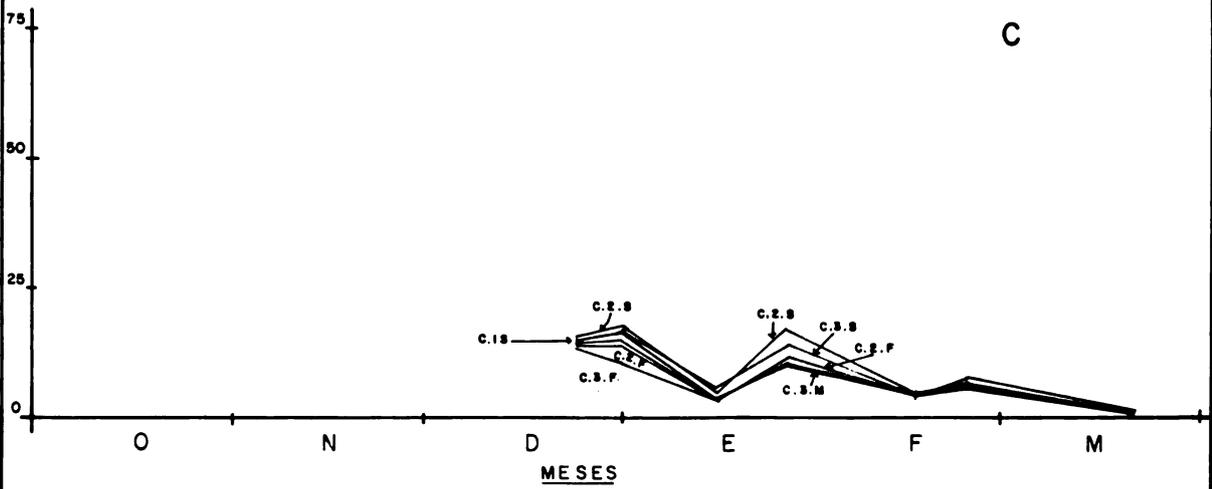
FIGURA. 3

NITRITO

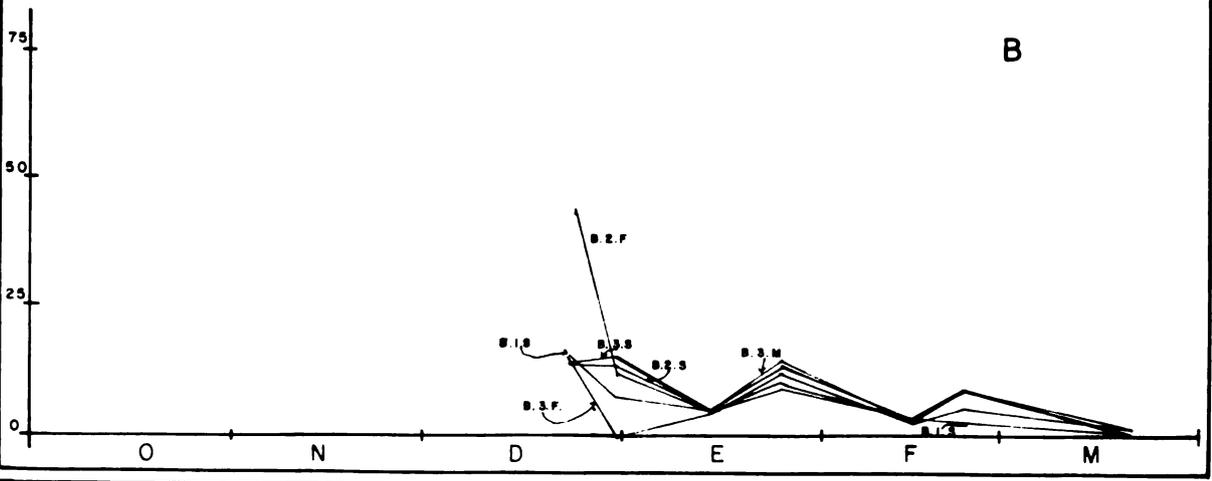
A

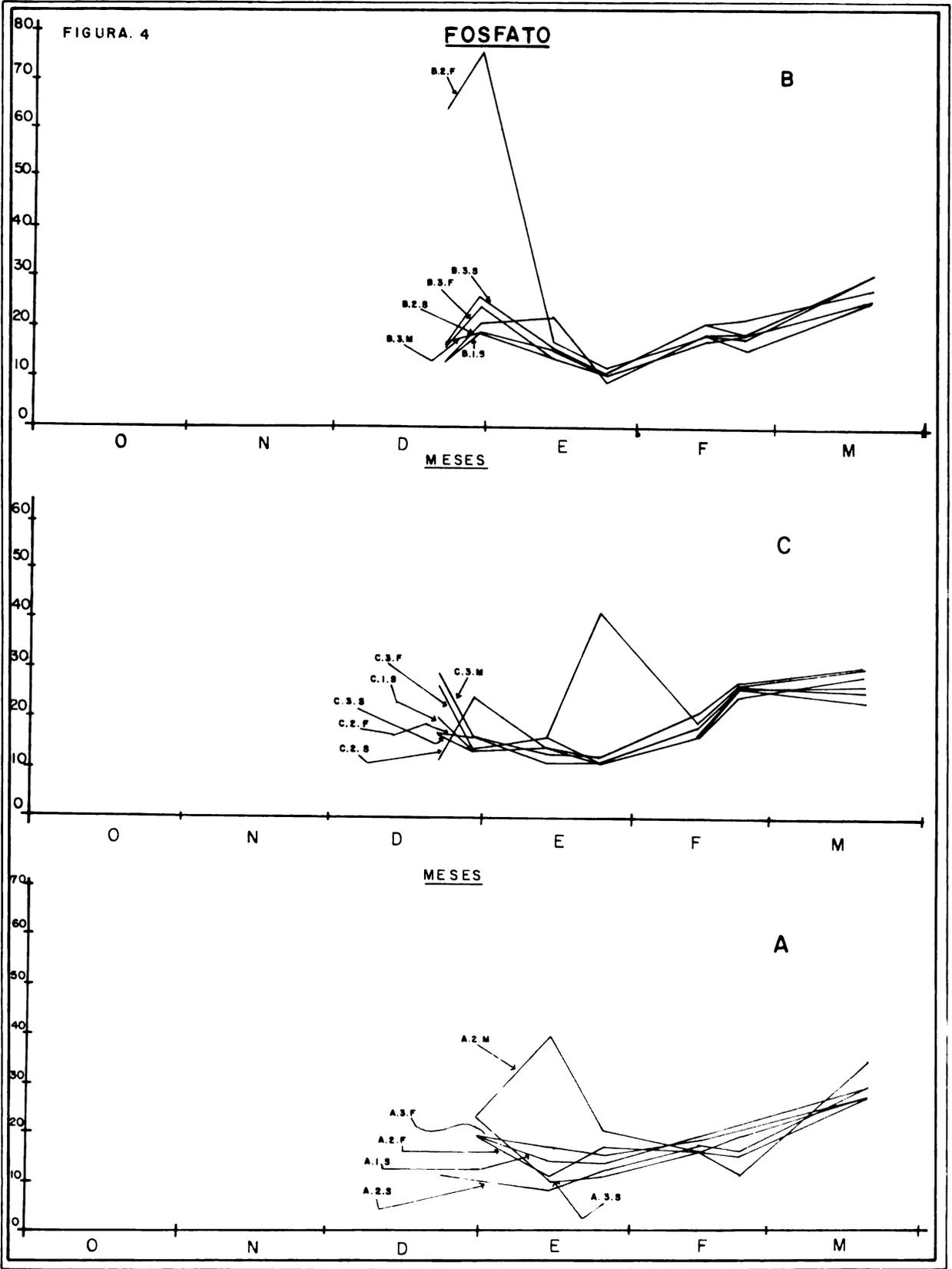


C



B





Discusión

De los valores de amonio, nitrito y fosfato durante el período de muestreo (diciembre a marzo), se infiere que en esta zona actuaron fuerzas externas que provocaron las fluctuaciones que se observan en las figuras 2, 3 y 4. Estas fuerzas son las descargas "shock" de las aguas residuales de beneficio de café. Los valores de conductividad sirvieron también para demostrar este cambio; muestreos realizados el 29 de septiembre y el 18 de octubre reportaron valores alrededor de 650 uS y a partir de diciembre (empezó el beneficio de café) los valores aumentaron a 1,000 uS. Entre las características de las aguas residuales de beneficio de café está la alta concentración de sólidos suspendidos.

A pesar que relativamente que las aguas residuales de beneficio de café son relativamente pobres en nutrientes, los fosfatos aumentaron consistentemente a partir de enero (de 10 a 30 ug/l). La abundancia de algas en la zona de descarga de los sitios km 27 y km 27.5 (zona C), indican el alto contenido de fosfatos disponibles para el florecimiento de las mismas. El aumento de fosfatos a partir de enero indica el exceso de estos que no fue posible ser aprovechados por las algas.

Es necesario evaluar el comportamiento de estas zonas de amortiguamiento durante la época de lluvias, ya que recibirán contaminantes de escorrentía a través de canales de drenaje del área agrícola.