

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMIA

ESTUDIO ECOLOGICO DE LA LAGUNA CHICHOJ

TESIS

presentada a la Honorable Junta Directiva de la Facultad
de Agronomía de la Universidad de San Carlos

por

JOSE RODOLFO ALBIZUREZ PALMA

en el acto de investidura como

INGENIERO AGRONOMO

en el Grado Académico de

LICENCIADO EN CIENCIAS AGRICOLAS

Guatemala, Febrero de 1978

R
01
T(275)

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

Dr. Roberto Valdeavellano Pinot

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA

Decano Ing. Agr. Rodolfo Estrada G.
Vocal 2o. Dr. Antonio Sandoval S.
Vocal 3o. Ing. Agr. Sergio Mollinedo
Vocal 4o.
Vocal 5o. P. A. Carlos Leonardo
Secretario Ing. Agr. Leonel Coronado C.

TRIBUNAL QUE PRACTICA EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

Decano Ing. Agr. Rodolfo Estrada G.
Examinador Dr. Antonio Sandoval S.
Examinador Ing. Agr. Humberto Ortiz A.
Examinador Ing. Agr. Julio Héctor Estrada L.
Secretario Ing. Agr. Leonel Coronado G.

Guatemala,
14 de febrero de 1,978.

Señor Decano en funciones
de la Facultad de Agronomía
de la Universidad de San Carlos de Guatemala
Dr. Antonio Sandoval Sagastume
Ciudad

Señor Decano:

En atención a la designación que se sirviera hacernos esa decanatura, tenemos el honor de informarle que hemos asesorado al Br. Rodolfo Albizúrez Palma en la ejecución de su trabajo de Tesis titulado "ESTUDIO ECOLOGICO DE LA LAGUNA DE CHICHOJ".

Consideramos que el presente trabajo es un aporte altamente significativo en el conocimiento ecológico de este recurso natural. Señala así mismo la necesidad de promover su mejor conservación.

Por lo anteriormente expuesto opinamos que el trabajo del Br. Rodolfo Albizúrez Palma, llena los requisitos que debe llenar una tesis de graduación y, en consecuencia, recomendamos que el mismo sea aceptado para su discusión en el Examen General Público que el autor debe sostener.

Sin otro particular, reiteramos a usted las muestras de nuestra distinguida consideración.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Carlos René Fernández Pérez
INGENIERO AGRONOMO

César Augusto Castañeda Salguero
ECOLOGO

CFP/cu.-

c.c. Interesado

Guatemala
Febrero de 1978

HONORABLE JUNTA DIRECTIVA
HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento de las normas académicas de la Universidad -
de San Carlos de Guatemala, es para mí un honor someter a vuestra
consideración el trabajo de tesis titulado: ESTUDIO ECOLOGICO DE
LA LAGUNA CHICHOF, como requisito previo a optar el título profe-
sional de Ingeniero Agrónomo en el grado de Licenciado en Ciencias
Agrícolas.

Respetuosamente,

José Rodolfo Albimárez Palma

Este trabajo fue posible realizarlo gracias a la colaboración de las siguientes Instituciones y personas, a las cuales el Autor -- manifiesta su agradecimiento.

Centro Universitario del Norte

Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e -- Hidrología (INSIVUMH)

Laboratorio de Suelos de DIGREHARE

Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria

Municipalidad de San Cristóbal Verapaz

Doctor Bernardo Antonio Villela X.

Señora Sandra Alicia Burgos de Iaz, Secretaria del CUNOR

Señorita Isabel Consuelo Urizar Fuentes, Secretaria del CUNOR

Señora María del Carmen Lemus de Sierra, Bibliotecaria del CUNOR

Israel Coy Macs

Doctor Carlos Soto Bran

Miembros del Area Agronómica del CUNOR

Don Federico Casal C., Alcalde Municipal de San Cristóbal Verapaz

Don César Castañeda, Secretario Municipal de San Cristóbal Verapaz

Padre Ricardo Terge

Don Fabio Mé G.

Don Dimas Zoel R.

Don Marino Barahona

Professor Marco Antonio Ramírez

DEDICO ESTA TESIS:

A la memoria de mi padre: Herlindo Albizúrez T.

A la memoria de mi tía: Leonor Palma de Mendisbal

A mi hija: María José Albizúrez Cáceres

DEDICO ESTE ACTO:

A mi madre: Catalina Palma de Albizúres

A mi esposa: Isabel Cárceles de Albizúres

A mis hermanos y familia en general.

CONTENIDO

	Pag.
I. Introducción	1
II. Revisión de Literatura	2
1. Generalidades	2
2. Aspectos Generales sobre Lagunas	3
3. Componentes Bióticos en las Lagunas	7
4. Componentes Abióticos en las Lagunas	10
5. Contaminación en Lagunas	25
III. Materiales y Métodos	33
1. Localización	33
2. Etapas del Estudio	34
IV. Resultados y Discusión	36
1. Origen e Historia de la Laguna	36
2. Descripción de la Cuenca de la Laguna	39
3. Descripción y Desarrollo de la Laguna	40
4. Vegetación	42
5. Contaminación	44
6. Análisis Físico-Químicos	45
V. Resumen y Conclusiones	57
1. Origen e Historia de la Laguna	57
2. Cuenca de la Laguna	58
3. Descripción y Desarrollo de la Laguna	58
4. Vegetación	58
5. Contaminación	58
VI. Recomendaciones	60
VII. Bibliografía	62

I. INTRODUCCION

El presente estudio se realizó a solicitud de la Alcaldía Municipal de San Cristóbal Verapaz, en el departamento de Alta Verapaz, en la cual indicaba que área de la laguna había sido desplazada rápidamente por vegetación. El Alcalde del lugar requirió básicamente la realización de un estudio que determinara - las causas del fenómeno. La solicitud fue enviada a la Facultad de Agronomía, de donde a su vez fue trasladada a el Centro Universitario del Norte, quien se hizo cargo del estudio por medio del autor del presente trabajo.

La laguna es un centro turístico de mucha importancia para la zona, debido a la belleza que presenta, y por encontrarse en sus alrededores el lugar denominado "El Peteroito", el cual es un bosque de coníferas que presenta un ambiente agradable para los muchos turistas nacionales y extranjeros que visitan el lugar. Así mismo la laguna es importante porque provee de buena cantidad de pesca y por lo tanto de algún ingreso económico a los habitantes de la Villa. En la actualidad se observa que cierta área de la laguna ha desaparecido, siendo reemplazada por vegetación, lo cual creemos que puede identificarse como un fenómeno de Sucesión Ecológica. Al respecto, se ha tenido oportunidad de observar las distintas etapas de la sucesión, por medio de la presencia de diferentes tipos de vegetación, desde monte bajo, hasta arbustos y pequeños árboles. Si el mencionado proceso continúa, la laguna corre el peligro de desaparecer en su totalidad, con lo cual se estaría perdiendo una fuente de ingreso para los habitantes de la región, un lugar turístico de gran valor, y lo que es más importante, un recurso natural no renovable. En vista de lo anterior, se determinó que es de suma importancia emprender un estudio sobre las causas que están originando el proceso de sucesión ecológica, y a partir de esto, determinar la forma en la cual debe manejarse adecuadamente la laguna.

Como hipótesis del estudio, se planteó que la laguna se encuentra contaminada, lo cual provoca enriquecimiento de nutrientes que tiende a acelerar el fenómeno de Sucesión Ecológica, lo que podría causar la desaparición de la misma. Como objetivo general del estudio se pretende determinar las condiciones ecológicas de la laguna, por medio de los siguientes objetivos específicos:

- a) Determinar la composición vegetal, tanto acuática como terrestre del área.
- b) Identificar las especies de peces más importantes en la laguna.

- c) Determinar en forma preliminar las características físicas y químicas de la laguna.
- d) Determinar las principales fuentes de contaminación.

..... Es necesario aclarar que el presente estudio no pretende ser definitivo

II. REVISION DE LITERATURA

1. GENERALIDADES

Las lagunas son definidas por el diccionario en la lengua española (10) como "un depósito natural de agua, generalmente dulce y por lo común de menores dimensiones que el lago". En base a lo anterior, podemos decir que lo que diferencia a una laguna de un lago, es básicamente su tamaño.

Las lagunas como un recurso natural no renovable que son, deben estar sujetas a un correcto manejo. El estudio de las lagunas o de lagos, nos lleva a concluir que estamos tratando con un elemento ecológico, y más específicamente con un ecosistema, el cual es definido por Ville (20) como "la unidad básica fundamental que incluye tanto a organismos como al medio ambiente no viviente, cada uno influenciando las propiedades de otro, y ambos necesarios para el mantenimiento de la vida tal y como la tenemos sobre la tierra". De la definición anterior se concluye que en todo ecosistema existen dos componentes principales: bióticos y abióticos, y que además se establecen relaciones estrechas entre ambos componentes.

Los expertos ecólogos entre los que se encuentra Odum (9) han determinado que en cualquier área donde se encuentre agua en forma permanente, se efectúa un proceso de eutroficación, el cual consiste en un enriquecimiento natural o artificial en los medios acuáticos con nutrientes, lo que da como resultado una mayor producción vegetal y un mayor contenido de materia orgánica en el sistema. La eutroficación natural es aquella que se produce normalmente, y la artificial es aquella que es producida por efecto de la deposición de aguas negras, desechos de fábricas, materiales fertilizantes, erosión, etc. Si el nivel del proceso eutrófico es alto, puede producirse un excesivo crecimiento de la población vegetal, con lo cual se estará efectuando una -

sustitución paulatina de los organismos propios de la laguna, y posteriormente la invasión total de los vegetales y el desaparecimiento del ecosistema original.

Para conocer el estado de contaminación de los lagos deben identificarse los componentes bióticos y abióticos del ecosistema y determinar las interacciones que se dan entre ambos componentes.

2. ASPECTOS GENERALES SOBRE LAGUNAS

Hutchinson (1957) citado por Odum (9) dice respecto al origen de los lagos: "A escala de los años del largo de la vida humana, los lagos parecen rasgos permanentes de los paisajes, nacidos por lo regular de catástrofes, para madurar y morir quieta e inadvertidamente. El origen catastrófico de los lagos, en épocas glaciares o períodos de intensa actividad volcánica-tectónica implica una distribución localizada de sus cuencas en las grandes extensiones de tierra del planeta, porque es el caso que los acontecimientos que produjeron las cuencas, por grandiosas que fueran, nunca actuaron simultáneamente e igualmente en todas partes. Por lo consiguiente los lagos suelen agruparse en distritos de lagos". Como resumen de la cita anterior podemos sacar las siguientes conclusiones:

- a) Que el origen de los lagos se debe a acontecimientos catastróficos, como lo son movimientos glaciares, terremotos, actividad volcánica, etc.
- b) Que los lagos tienen una vida relativamente corta, por lo que tienden a desaparecer.
- c) Que existe una distribución geográfica de los lagos, según los tipos de formación respectivos.

Algunas características de los lagos son el que las zonas profunda y limnéticas son relativamente más grandes que la zona litoral; la zona limnética es la zona productiva, por ser ahí donde se produce la penetración efectiva de la luz, y por lo tanto la fotosíntesis; y finalmente los lagos tienden a estratificarse temporalmente, a menos que sean muy poco profundos. Esta estratificación de los lagos consiste en lo siguiente: durante el verano, las capas de agua superiores se calientan más que las etapas inferiores, con lo cual sólo el agua de las primeras capas circula, y no se mezcla con el agua

de las inferiores debido a una diferente densidad. Al ir aumentando la temperatura, la diferencia de temperatura entre ambas capas se hace más grande, con lo que forman tres zonas: una intermedia llamada Termocline, otra arriba de ésta llamada Epilimnio, la cual es caliente, y una última de temperatura fría situada debajo del Termocline, llamada Hipolimnio. Con frecuencia el termocline no queda por debajo de la región de actividad fotosintética, con lo cual el oxígeno se agota en el hipolimnio, debido a que en esta zona no existe producción del mismo. Al producirse la época fría, la temperatura del epilimnio comienza a descender hasta llegar a ser igual a la del hipolimnio, con lo que por el cambio en la densidad, todo el agua comienza a circular, por lo que el oxígeno penetra hasta las capas más profundas, y éstas a su vez liberan los nutrientes producidos por efecto de la actividad de los microorganismos. Luego, al llegar nuevamente la época de calor, de nuevo el agua de la superficie comienza a calentarse, con lo que la circulación se da solamente en esa capa y se forman otra vez las tres zonas.

Por lo general, la estratificación es más lenta y el hipolimnio más grueso, cuanto más profundo es un lago. En lagos que son productivamente ricos, el oxígeno del hipolimnio se agota más rápidamente que el de los lagos pobres, debido a que en los primeros el aporte de materia orgánica de las capas superiores a las inferiores es mayor, lo que significa que habrá mayor actividad de los microorganismos que descompongan dicho material, y por lo tanto mayor consumo de oxígeno. Esto determinará que algunas especies de peces se adapten a vivir en condiciones frías en la capa inferior de lagos pobres donde el oxígeno no se agota. Sin embargo, al presentarse la contaminación de estos lagos pobres, y por lo tanto su eutroficación, estos peces desaparecen debido a la competencia que por el oxígeno realizan con los microorganismos. En algunos casos, cuando el agua de los lagos es muy transparente, la actividad fotosintética puede efectuarse por debajo del termocline, lo que provoca que el oxígeno exista en las capas inferiores incluso en mayor cantidad que en las superiores, debido a que el agua fría retiene con más facilidad el oxígeno. Por lo tanto, no siempre la zona eufótica coincide con el epilimnio. Cabe aquí decir que la zona eufótica se define como la zona de producción, debido a que aquí se realiza la fotosíntesis por la mayor disponibilidad de luz, y que el epilimnio se refiere a una zona de temperatura.

Odum (9) clasifica los lagos de acuerdo al tipo de circulación que experimenten, de la siguiente manera:

1. Dimicticos (mictico = mezclado). Dos períodos estacionales de circulación libre.
2. Fríos monomicticos. El agua no sube nunca arriba de los 4°C. (Regiones polares); cambio estacional de verano.
3. Calientes monomicticos. El agua no baja nunca de los 4°C (regiones templadas calientes o subtropicales); un período de circulación en invierno.
4. Polimicticos. De circulación más o menos continúa, con breves períodos de estancamiento, si los hay. Grandes alturas ecuatoriales.
5. Oligomicticos. Raramente (o muy lentamente) mezclados (térmicamente estables) como en muchos lagos.
6. Meromicticos. Permanentemente estratificados, las más de las veces como resultado de las diferencias químicas en las aguas hipolimniales y epilimniales.

Los lagos y lagunas naturales son más numerosos en regiones que han estado sometidas recientemente a cambios geológicos. Así tenemos que son abundantes en el norte de Europa y el norte de los Estados Unidos y Canadá. También son abundantes en regiones que han estado sometidas a intensa actividad volcánica, así como en regiones que han sufrido levantamientos del mar. Odum señala que los lagos formados sobre cráteres volcánicos o encerrados en valles por acción volcánica, figuran entre los más bellos del mundo. En regiones geológicamente antiguas es raro encontrar la presencia de lagos.

En relación a la clasificación de los lagos, existen diversos criterios para el efecto, basadas en las distintas características que presentan estos cuerpos de agua, que podrían dar lugar a la vez a diferentes tipos de clasificación. Odum (9) presenta una clasificación de los lagos, la cual manifiesta el autor...."es una buena introducción en la materia fascinante de los lagos mundiales".... Dicha clasificación es la siguiente:

- 1) Serie oligotrófica-eutrófica de los lagos más comunes de agua clara basada en la productividad.
- 2) Los tipos especiales de lagos.
- 3) Embalsamientos.

Para efectos de nuestro trabajo, estudiaremos solamente la serie oligotrófica-eutrófica por considerar que a este tipo se ajusta la laguna en cuestión.

La serie oligotrófica-eutrófica está basada en la productividad que presentan los lagos, y más específicamente en la productividad primaria, la cual es definida por Odum (9) "...como la velocidad a que es almacenada la energía por la actividad fotosintética o quimiosintética de organismos productores, principalmente plantas verdes, en forma de sustancias susceptibles de ser utilizadas como material alimenticio". Odum toma como sinónimo de productividad el término "fertilidad", y ésta depende de la cantidad de material nutricional que la cuenca aporta al lago, de la etapa de sucesión y de la profundidad. Al respecto de la etapa de sucesión, esto se refiere a que un lago o laguna, en su origen es poco fértil, pero luego la fertilidad aumenta, con lo cual el medio acuático va perdiendo su fisionomía característica, para dar lugar más tarde a la formación de un pantano, y posteriormente una pradera. Por lo tanto, el estado de sucesión en que se encuentre un lago, depende de la fertilidad que presente el mismo. Por otro lado, la profundidad tiene relación con la fertilidad de un lago, debido a que aquella está relacionada con la cantidad de luz recibida, por lo tanto con la actividad fotosintética.

Los lagos oligotróficos (pocos alimentos) se caracterizan por tener una reducida productividad primaria, son profundos y el hipolimnio es mayor que el epilimnio; la vegetación de la zona litoral es escasa y el número de organismos del plancton es reducido, aunque el número de especies puede ser grande. Por su baja productividad en las aguas superiores, el oxígeno del hipolimnio no está sujeto a agotamiento, y además la temperatura fría de esta zona permite "guardar" con más facilidad el oxígeno, por lo que existirán peces adaptados a temperaturas frías y que se encuentran por lo mismo confinados a esta zona.

Los lagos eutróficos (muchos alimentos) son menos profundos, tienen una alta productividad primaria, la vegetación litoral es mucho más abundante y la población de organismos del plancton más densa. Debido a la riqueza nutritiva de estos lagos, se presentan ciertas épocas en las que se produce un "auge" (Odum) en el crecimiento de los vegetales provocado por la acumulación de nutrientes. Debido a la alta descomposición del material orgánico,

los peces de agua fría pueden ser excluidos en el período estratificación del verano debido al agotamiento del oxígeno.

Como ya se mencionó anteriormente, los lagos oligotróficos tienden con el tiempo a ser eutróficos, debido a un aumento en la productividad causado por la acumulación del material orgánico. Esto se traduce en una disminución en la profundidad y en un aumento de su vegetación litoral.

3. COMPONENTES BIÓTICOS EN LAS LAGUNAS

Los componentes bióticos de las lagunas o lagos, son todos los organismos vivos. Oium (9) clasifica a estos organismos de varias formas, siendo dos los más importantes para fines de este estudio: una que los clasifica de acuerdo a la posición que ocupan en la cadena alimenticia, y otra que los clasifica en relación a el hábitat que ocupan. La primera de estas clasificaciones es la siguiente:

Autótrofos (productores); plantas verdes y organismos quimosintéticos.

Fagótrofos (macroconsumidores): primarios, secundarios, etc.

Saprótrofos (microconsumidores o desintegradores).

La otra clasificación es la siguiente:

Zona Litoral: Región de agua somera, y con penetración de luz hasta el fondo. Esta zona está ocupada por plantas enraizadas en los estanques, lagos y lagunas naturales.

Zona Limnética: Esta zona es llamada de agua abierta, y comprende la región hasta la profundidad de penetración eficaz de la luz. La mayoría de organismos de esta zona los llamados plancton.

Zona Profunda: Comprende el fondo de la laguna o lago y se localiza más allá de la penetración eficaz de la luz.

ORGANISMOS DE LA ZONA LITORAL

a) Productores

ZONA DE VEGETACION EMERGENTE. Son plantas con raíz y cuya superficie

fotosintética se encuentra por encima del nivel de agua. De esta manera, estas plantas obtienen el anhídrido carbónico de la atmósfera, y los nutrientes por debajo de la superficie del agua. Estos vegetales presentan la ventaja que recuperan del fondo del lago o laguna, los nutrientes que son descompuestos por los microorganismos. Entre las especies más comunes que se encuentran en esta zona, tenemos *Typha* o espadaña, el cual por ser dominante se considera como típico de esta zona. Se encuentran además los juncos (*Scirpus*), cabezas de flecha (*Sagittaria*), las escobillas (*Sparganium*), las alhucemas (*Eleocharis*) y los camalotes (*Pontederia*). Estas plantas junto con las de la orilla son importantes.

ZONA DE PLANTAS DE RAIZ CON HOJAS FLOTANTES. La especie característica de esta zona es el lirio acuático (*Nymphaea*), encontrándose además otras especies como el escudo de agua (*Brasenia*). La zona de estas plantas es similar a la anterior, pero las superficies de las hojas pueden reducir la penetración de la luz en el agua.

ZONA DE VEGETACION SUMERGENTE. Son plantas completamente o parcialmente sumergidas, con raíz o fijas, y sus hojas tienen un sistema especializado para realizar el intercambio de nutrientes con el agua. El género *Potamogetonaceae*, constituye un grupo de plantas muy abundantes en esta zona y se conocen con el nombre de algas de estanque. Otras plantas que se encuentran en esta zona son la cola de mapache (*Ceratophyllum*) la milenrama acuática (*Myriophyllum*), la hierba acuática (*Elodea* o *Anacharis*), la hierba almizolera (*Chara*) y los géneros afines (*Nitella* y *Tolypella*), las cuales se clasifican como algas, pero están fijadas al fondo, teniendo una forma de vida similar a la de las plantas superiores. Todas estas plantas pueden llegar a crecer tanto en volumen que se les considera en ocasiones como plaga en climas cálidos, ya que constituyen un obstáculo para la navegación y la pesca.

Otro grupo de plantas de esta zona son los productores no enraizados, y son muchas especies de algas que constituyen el llamado fitoplancton. Los principales tipos de algas de este grupo son las Diatomeas (*Bacillariaceae*) que son consideradas como indicadores de buena calidad del agua, las algas verdes (*Chlorophyta*) y las algas verdeazul (*Cyanophyta*).

b) Consumidores

En la zona litoral es donde se encuentra una mayor diversidad de animales que en el resto de zonas. Se encuentran caracoles, libélulas voladoras y libélulas trepadoras, rotíferos, platelmintos, etc. Los caracoles se alimentan de plantas, las larvas de las libélulas voladoras y trepadoras son carnívoras, sucediendo este mismo tipo de relaciones en la cadena alimenticia en el resto de animales. Otro tipo de animales que se encuentran en esta zona, son los escarabajos zambullidores en estado adulto o larvario y además, varios tipos de hemípteros adultos. Luego también encontramos vertebrados anfibios como ranas, salamancas, tortugas, serpientes, etc., que son especies exclusivas de la zona litoral. Los renacuajos de sapo y rana son herbívoros, mientras que en estado adulto ocupan un segundo o un tercer nivel trófico. También se encuentran en esta zona a los peces que también pueden estar en la zona limnética, pero la mayoría de especies pasan la mayor parte de su vida en esta zona, e incluso establecen territorios y zona de cría en ella. En los peces también se establece el mismo tipo de relación en cuanto a la cadena alimenticia, siendo algunas especies de lobina las que por lo común ocupan el último nivel trófico. En esta zona también encontramos parte del zooplancton, como crustáceos, muchos de los cuales se adhieren a las plantas o reposan en el fondo cuando no se encuentran moviendo sus apéndices. Grupos importantes de esta zona litoral son las especies grandes y poco nadadoras de Cladocera, (pulga de agua) y algunas especies de daphnia y simocephalus. Por otro lado también encontramos tres familias de insectos de superficie, características de la zona litoral. Estos son escarabajos girinios de la familia Gyrinidae, grandes nadadores acuáticos de la familia Gerridae y nadadores acuáticos más pequeños de la familia Veliidae. Finalmente encontramos una comunidad microscópica en los granos de arena y en el borde de agua, dentro de los que podemos mencionar algas, protozoos, nemátodos, etc.

ORGANISMOS DE LA ZONA LIMNÉTICA

La mayoría de organismos de esta zona son microscópicos, encontrándose dentro de éstos la mayor parte del fitoplancton. Entre el fitoplancton encontramos los tres grupos de algas ya mencionados, o sea las diatomeas, algas verdes y algas verdeazul. El fitoplancton es importante porque en mu-

chos casos puede superar a las plantas de raíz en la producción por unidad de área. Muchas de estas formas poseen apéndices u otros medios que les permiten flotar.

En esta zona también encontramos algunas especies del zooplancton, siendo los más importantes los copépodos, los cladóceros y los rotíferos. Finalmente encontramos en esta zona a varias especies de peces, algunas de las cuales son exclusivas de esta zona. La mayoría de peces adultos son carnívoros, encontrándose también algunas especies herbívoras.

ORGANISMOS DE LA ZONA PROFUNDA

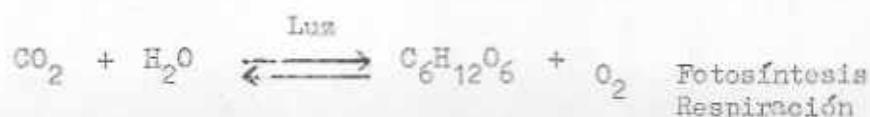
Los organismos de esta zona por encontrarse en un medio carente de luz, dependen de las zonas litoral y limnética para su alimentación, proporcionando a cambio nutrientes que han sido transformados a formas minerales a partir de materia orgánica. La diversidad de estos organismos en esta zona es poca, como podría esperarse por la naturaleza del medio en que se desarrollan, siendo los constituyentes principales las bacterias y los hongos que se encuentran en la interfase agua-aire, donde se acumula la materia orgánica. También se encuentran gusanos de sangre, pequeñas almejas de la familia Sphaeriidae y larvas fantasmas o Chaoborus (Corethra).

Todos los animales de esta zona están adaptados para vivir en condiciones de baja concentración de oxígeno, a excepción de las bacterias que pueden vivir en condiciones anaeróbicas.

4. COMPONENTES ABIÓTICOS EN LAS LAGUNAS

GASES RESPIRATORIOS

Cuando se habla de gases respiratorios, nos referimos a el oxígeno y al anhídrido carbónico. Estos gases se comportan de manera recíproca, ya que mientras uno es consumido, el otro es liberado, y viceversa. Este comportamiento recíproco se manifiesta en los procesos de fotosíntesis y de respiración, de acuerdo a la siguiente ecuación:



Respecto al consumo de oxígeno existen tres tipos de organismos: los aerobios que necesitan del oxígeno para vivir, los anaerobios que viven sin él, y los aerobios facultativos que pueden vivir con o sin él, dependiendo de las condiciones. Los organismos aerobios necesitan el oxígeno para poder utilizar la energía de los alimentos, o sea para oxidarlos, mientras que los anaerobios obtienen la energía mediante la descomposición parcial de la materia orgánica, sin intervención de oxígeno disuelto, pero estos últimos dependen de los aerobios para obtener la materia orgánica necesaria para realizar la descomposición.

La principal fuente de oxígeno para el medio acuático es la atmósfera, y en segundo lugar las reacciones fotosintéticas de los vegetales sumergidos y del plancton. Por otro lado, el oxígeno puede perderse por difusión hacia la atmósfera, y además dentro del agua, por la respiración de los organismos acuáticos y por la descomposición de la materia orgánica, lo que implica que la concentración del oxígeno en el medio acuático es variable.

En la superficie del agua, el oxígeno se encuentra en saturación o próximo a ella, por estar en contacto con la atmósfera. En la zona por debajo de la superficie se produce una gran variación en la concentración de oxígeno, debido a que el agua de esta zona no puede obtener el oxígeno de la atmósfera con facilidad, y además porque la respiración y la descomposición que se da en todos los niveles, hace disminuir el contenido de oxígeno, por que la fotosíntesis que hace que se enriquezca el contenido de oxígeno, se verifica hasta la profundidad de compensación, es decir hasta el límite inferior de la capa eufótica. Cuando existe una gran densidad de población, se produce una gran respiración, y cuando existe la descomposición de grandes cantidades de materia orgánica, la concentración de oxígeno se reduce hasta un nivel muy bajo. El agua rica en oxígeno es transportada hacia abajo por agitación de vientos, remolinos y principalmente por los cambios estacionales como ya mencioné anteriormente.

Los organismos que viven en las zonas profundas de lagos desprovistos de oxígeno, llevan a cabo la descomposición del material orgánico proveniente de las capas superiores, liberando grandes cantidades de sulfuro de hidrógeno, y la abundancia de este compuesto produce condiciones tóxicas para la vida.

Un exceso en la producción (liberación de O_2) con respecto a la respiración (consumo de O_2) indica buenas condiciones en el ecosistema, debido a que existirá una buena provisión de oxígeno para todos los organismos. Si existe contaminación con materia orgánica, el consumo de oxígeno rebasa a la producción, lo que implica que el oxígeno escasea, y si el proceso continúa, la cantidad del gas puede agotarse, con lo que los peces y la mayoría de animales tienden a desaparecer. Esto es debido a que muchos de los microorganismos que realizan la descomposición utilizan oxígeno para este proceso.

La temperatura del agua influye en el contenido de oxígeno, ya que a temperaturas frías el oxígeno es retenido con más facilidad que a temperaturas altas.

Finalmente, y comentando nuevamente la relación entre consumo y producción, el oxígeno no respirado equivale al que es producido por fotosíntesis, y el oxígeno no liberado es proporcional a la cantidad de materia seca producida.

En los ríos contaminados, la concentración de oxígeno se reduce en la zona donde se descargan las aguas negras; más adelante y por efecto de la activa descomposición que se realiza, la concentración de oxígeno desaparece y se crean condiciones sépticas y nocivas, malos olores y muchos de los organismos acuáticos escasean o desaparecen, hasta que nuevamente la concentración de oxígeno vuelve a ser normal, río abajo, porque las bacterias han reducido el material descargado.

En relación a el anhídrido carbónico, este es un factor ecológico de gran importancia por ser uno de los componentes esenciales para la fotosíntesis, debido a que es la fuente de carbono para la elaboración de carbohidratos. Cuando los animales y plantas respiran, la materia orgánica se oxida y se libera anhídrido carbónico, siendo este un proceso inverso a la fotosíntesis. También se libera anhídrido carbónico por efecto de la descomposición de la materia orgánica efectuada por la actividad oxidativa de los microorganismos.

En el agua el anhídrido carbónico es fácilmente soluble, pero debido a que su concentración en la atmósfera es muy baja ($0.3 \text{ cms}^3/\text{litro}$) la cantidad presente en el medio acuático es también baja. En aguas naturales, la cantidad de anhídrido carbónico es considerablemente mayor debido a que este compuesto se encuentra en forma adicional como iones carbonato y bicarbonato. De lo anterior deducimos que el anhídrido carbónico puede encontrarse en el medio acuático en forma libre y en forma combinada. En forma libre corresponde al anhídrido carbónico en disolución sencilla, más que el que se encuentra como ácido carbónico (H_2CO_3), y en forma combinada se encuentra como iones bicarbonato (HCO_3) y carbonato (CO_3). La forma en que se encuentre el anhídrido carbónico en el medio acuático, tiene relación con el pH del mismo. Si éste es neutro, la mayoría del anhídrido carbónico estará en forma de bicarbonato; si el valor del pH es inferior a 7 (ácido) se encontrará en forma libre, y si el valor es superior a 7 (alcalino) se encontrará en forma de carbonato.

La presencia del anhídrido carbónico en forma de carbonatos y bicarbonatos constituye un sistema buffer (amortiguador) que impide cambios bruscos en el pH, por lo que la capacidad amortiguadora del agua está determinada por la abundancia de estos iones, y se haya relacionada por lo tanto, con la alcalinidad. El agua de mar y las aguas dulces duras, constituyen medios naturales con alta capacidad amortiguadora.

La cantidad de anhídrido carbónico en los medios acuáticos es incrementada por la respiración de animales y plantas de vida libre, y por la descomposición de la materia orgánica efectuada por los microorganismos. Por otro lado, la concentración de anhídrido carbónico se reduce por efecto de la actividad fotosintética de las plantas.

En lagunas en las que la capacidad amortiguadora del agua sea reducida, se presenta una gran variación en el contenido de anhídrido carbónico libre y el pH, debido a las diferencias que existen en las intensidades relativas de producción y consumo.

Hemos expuesto anteriormente que la cantidad de anhídrido carbónico libre en la atmósfera y por lo tanto en el agua, es pequeña, por lo que es importante que existan otras formas en las que el anhídrido carbónico sea

aprovechado por las plantas. Así tenemos que en el mar y en aguas duras, - la presencia de carbonatos y bicarbonatos constituyen una fuente de reserva para las plantas, lo que no sucede en aguas ligeras en las que la reserva - total de anhídrido carbónico es pequeña, y si se produce una fotosíntesis intensa, la concentración de esta sustancia puede reducirse a tal grado, - que ya no sea posible el ulterior crecimiento de las plantas.

Por otro lado, la abundancia de anhídrido carbónico ejerce determinados efectos específicos en algunos animales de vida acuática. Así tenemos que una alta concentración de este gas produce una gran intensidad en algunos - procesos metabólicos o de desarrollo de los animales, y disminuye dicha actividad si la concentración de esta sustancia se reduce. También se produce el efecto contrario, o sea que una alta concentración de anhídrido carbónico puede inhibir algunas reacciones básicas en los animales, por lo que no es posible establecer un principio general sobre el comportamiento de este gas. También en otros casos, un aumento en la tensión del anhídrido carbónico provoca una mayor intensidad en los movimientos respiratorios en los - vertebrados y en algunos moluscos y Artrópodos; en cambio, en otros animales el efecto es escaso o nulo. La concentración de anhídrido carbónico en el agua también influye en el equilibrio de estas sustancias en los animales - acuáticos. Así tenemos que un aumento en la concentración de anhídrido carbónico provoca una disminución en la afinidad para el oxígeno de la hemoglobina de los substratos y de algunos pigmentos relacionados con la respiración de los invertebrados. Por consiguiente, en medios acuáticos con alta tensión debida a el anhídrido carbónico, los animales que posean un tipo de sangre que sea afectado por este gas, podrán tener dificultades para su respiración.

En lagunas de aguas duras que contienen grandes cantidades de iones de calcio, la substracción de anhídrido carbónico debido a la fotosíntesis produce la precipitación del carbonato de calcio (CaCO_3), el cual se acumula sobre las plantas o dentro de las mismas. Esto se ha observado en el alga acuática Potamogetón que presenta una apariencia blanqueca y arenosa sobre su superficie debido al carbonato de calcio. También en el alga Chara se - presenta en ocasiones un efecto similar, por lo que ha recibido el nombre de planta de piedra.

Los iones de calcio desempeñan una función importante en la permeabilidad de la membrana celular y en otros fenómenos fisiológicos de animales y plantas. Además el carbonato de calcio es el principal componente de las conchas de moluscos y gusanos, siendo incorporado además al exoesqueleto de los artrópodos dándoles mayor rigidez. Por lo anterior, dichos animales no pueden subsistir en aguas con bajo contenido de iones calcio y carbonato. Por lo general es de esperarse que en aguas de reacción ácida, la cantidad de moluscos que en él habiten sea reducida, y los que se encuentren en ese medio estarán adaptados para vivir en esas condiciones.

En cuanto a la relación que existe entre el contenido de anhídrido carbónico con la eutroficación, es necesario controlar el ingreso de materia orgánica a el sistema (lo cual produce CO_2 y elementos orgánicos) que permite un gran desarrollo de la vegetación.

De lo expuesto anteriormente, vemos que existe una relación estrecha entre el contenido de oxígeno y de anhídrido carbónico, por lo que comprueba por lo general que cuando abunda uno, escasea el otro, y que además las concentraciones de dichos gases es a menudo limitativa en condiciones de agua dulce.

pH

Como ya se mencionó anteriormente, el pH es función del contenido de anhídrido carbónico en los medios acuáticos, el cual es reducido por fotosíntesis y aumentado por respiración. Además el pH está también en función del contenido de otros solutos tanto orgánicos como inorgánicos.

Respecto a la influencia del pH en los medios acuáticos, Clarke (4) dice que "como cualquier alteración del pH de las aguas naturales está acompañado de cambios en otros aspectos fisicoquímicos del medio, el ecólogo debe estar prevenido constantemente frente a los efectos que se le atribuyen al pH, antes de determinar lo que pueden ser debidos a otras causas con él relacionadas". Agrega además que "Edmonson (1945) por ejemplo, demostró que algunos rotíferos sésiles quedan probablemente excluidos de los lagos con elevadas concentraciones de bicarbonatos, pero no necesariamente de todos los que tienen un pH elevado".

Se han suscitado diversas discusiones acerca del papel que juega el pH en la regulación de las actividades y en la distribución de las plantas y animales acuáticos. Al respecto dice Clarke (4) "la información de que en la actualidad disponemos indica que el efecto del pH como factor es real, pero limitado y altamente variable en su influencia de unos grupos a otros". Es así como se pueden encontrar individuos habituados a un pH determinado, fuera del cual sufren problemas en su actividad; así también otros organismos podrán adaptarse a condiciones variables en el pH. Al respecto Swingle, citado por Fernández (5) "considera que el rango de pH aceptable para la piscicultura es de 6.5-9.0".

Debido a la poca variación del valor del pH en los mares, en estos su influencia es reducida, lo que no ocurre en el agua dulce, en la cual por su poca capacidad amortiguadora, las variaciones en el valor del pH son amplias.

Los organismos vegetales frecuentemente modifican el pH del medio de agua dulce por medio de la secreción radical y de sus productos de descomposición. Esto explica el que en algunos casos, medios acuáticos de carácter alcalino, presenten valores de pH ácidos.

Para fines de nuestro estudio usaremos especialmente el pH como indicativo de otras características del medio acuático, como lo son el contenido de anhídrido carbónico, la dureza y el contenido de sales.

TEMPERATURA

Las variaciones de la temperatura son menores en el agua que en el aire, pero sin embargo puede constituir un factor limitativo debido a que muchos organismos presentan poca tolerancia a las variaciones térmicas. Bard, Kinpe, Lemasson y Lessent (3) dicen al respecto: "...la temperatura del agua en las regiones tropicales que varía generalmente entre 15 y 30° centígrados es muy favorable a la piscicultura. En regiones subtropicales donde las variaciones temporarias de la temperatura pueden ser mayores, hay que seguirlas con atención, a la vez en la superficie y en fondo de los estanques.

Talvez la mayor influencia de la temperatura en los lagos, sea que provoca los cambios en la circulación del oxígeno y nutrientes, como ya se mencionó anteriormente

TURBIDEZ

La turbidez del agua es debida a la presencia de materiales suspendidos y coloidales, y es causada por efectos de la erosión en zonas adyacentes y por la presencia de microorganismos y desperdicios orgánicos. Respecto a la turbidez causada por la erosión, ésta es relativamente fácil de identificar por medio de color "achocolatado" que provoca en el medio acuático.

Los efectos de la turbidez en el medio acuático, son el disminuir la claridad y la penetración de la luz, lo cual influye en la actividad fotosintética, y por lo tanto en la productividad del sistema. Al respecto, Langlies (1954) citado por Strobbe (14) dice que "la materia en suspensión en la zona occidental del lago Eric impidió el crecimiento de diatomeas en un área de 2940 Kms.". Vargas (19) expone que "la turbidez afecta a los peces de la siguiente manera:

- a) Por interferir en la penetración de la luz, disminuye la fotosíntesis y decrece la productividad primaria de la cual depende la alimentación de los peces y como consecuencia la producción de éstos disminuye.
- b) A muy altas concentraciones, las partículas de materia que producen turbidez pueden ser directamente letales.
- c) Modifica la estructura de la temperatura en los lagos. Las temperaturas del fondo son generalmente bajas en turbidez".

COLOR

El color es un parámetro físico que está en relación con la turbidez - "ya que el color es una forma de contaminación de la turbidez y de las partículas suspendidas en el agua", según Strobbe (14). Por lo tanto los efectos del color son similares a los producidos por la turbidez.

El color en el agua puede ser causado por materiales de origen mineral o de origen orgánico, tales como compuestos de hierro y magnesio, humus, algas, protozoos, etc. Los desechos industriales contribuyen también a darle color a los medios acuáticos. Por otro lado, el color en el agua potable es desagradable estéticamente, y además puede causar manchas en la ropa.

DUREZA

Según Vargas (19), "El término dureza del agua es aplicado a la capacidad que ésta tiene de neutralizar el jabón" y que "cualquier sustancia que formara una cuajada insoluble con jabón, causa dureza". La dureza del agua es debida principalmente a el calcio y al magnesio, aunque también puede ser provocada por otros elementos, pero estos se encuentran en concentraciones muy bajas en aguas naturales. Debido a esto, cuando se determina la dureza del agua, se hace en base a dos tipos de dureza: la dureza debida al calcio, y la dureza total que incluye tanto la debida a el calcio como la debida al magnesio.

Las fuentes de dureza pueden ser la acumulación de materiales en el medio, o por efectos de la deposición de desechos industriales en el agua.

Hasta la fecha no se ha demostrado que el agua dura sea dañina para el consumo humano, y su efecto principal en la economía doméstica es la excesiva cantidad de jabón que debe usarse en el lavado usando este tipo de agua.

Respecto a la influencia de este tipo de aguas en los peces, Vargas (19), dice que "el agua suave incrementa la sensibilidad de los peces a los metales tóxicos, en aguas duras los metales tóxicos pueden ser menos peligrosos".

La Doctora Alba Tabarini de Abreu, presenta la siguiente clasificación de dureza:

- Agua blanda, dureza hasta 50 ppm.
- Agua moderadamente dura, entre 50 y 150 ppm.
- Agua dura, entre 150 y 300 ppm.
- Agua muy dura, sobre 300 ppm.

El estudio de la dureza del agua tiene importancia, además de la ya

descrita, por la relación que guarda con el contenido de anhídrido carbónico y por el pH del agua.

CONDUCTIVIDAD ELECTRICA

Este es un parámetro físico de importancia para relacionarlo con otros parámetros como lo son el pH, el contenido de anhídrido carbónico y la dureza, los cuales en conjunto pueden dar una idea del contenido de sales disueltas en el medio acuático. Al respecto de la conductividad eléctrica, se sabe que las sales disueltas se disocian en iones en presencia de electricidad, y que en esta forma poseen la característica de conducir a la misma con relativa facilidad, por lo que a una alta conductividad eléctrica, se espera encontrar una alta concentración de sales disueltas.

SUSTANCIAS NUTRITIVAS

Es sabido que todos los vegetales necesitan de ciertas sustancias alimenticias para su buen crecimiento y desarrollo. Las necesidades alimenticias de las plantas del medio acuático son similares a las de las terrestres, siendo en el caso de las acuáticas, los nitratos y fosfatos los principales nutrientes, además del potasio, calcio, magnesio, etc., los cuales por lo general no constituyen problema en su abastecimiento. El nitrógeno y el fósforo son los elementos que con más frecuencia escasean en el agua dulce, según Odum y Clarke (9) (4), lo que no sucede con el potasio, el cual se encuentra en cantidades suficientes. Sobre los otros nutrientes, agrega Odum (9): "En los lagos y los ríos de agua blanda, es posible que el calcio y otras sales sean así mismo limitativos", lo que indica que en el caso de aguas blandas, el abastecimiento de algunos nutrientes puede ser problema.

Las cantidades de sustancias nutritivas varían de un lago a otro, e incluso pueden variar en un mismo lago, de acuerdo a el cambio de estaciones, ya que éste último provoca cambios en el crecimiento y desarrollo vegetal, y en la descomposición de la materia orgánica, lo que indica a la vez que en ciertas épocas del año el abastecimiento de nutrientes sea variable.

El nitrógeno como nutriente se encuentra principalmente en forma de nitrato, y en menor cantidad como nitrito. Los nitratos son el producto final de la descomposición que realizan los microorganismos aerobios sobre la materia orgánica, siendo los nitritos el estado anterior a los nitratos en

el mencionado proceso de descomposición. Debido a que las oxidaciones de nitritos hacia nitratos son bastante rápidas, la concentración de nitritos es insignificante en el agua.

Los nitratos son poco abundantes en el agua superficial natural, debido a que las plantas lo consumen constantemente transformándolo a nitrógeno orgánico en las células. Las fuentes de nitrógeno en el medio acuático, son la descomposición que sobre la materia orgánica, provenientes del drenaje de ciudades e industrias, realizan algunos microorganismos, el lavado de fertilizantes nitrogenados de zonas adyacentes hacia el cuerpo de agua, la extracción que del nitrógeno atmosférico y su posterior conversión a nitratos realizan algunos microorganismos (Ej. Cionophytas), la incorporación de desechos orgánicos provenientes de campos agrícolas, y finalmente su incorporación a través de la precipitación pluvial. Respecto a esta última forma de incorporación, Feth citado por Tabarini (6), "considera que la mayoría de nitrógeno disuelto en el agua pluvial parece ocurrir en forma de iones de amonio, porque la circulación en la atmósfera en esta forma, es facilitada por su volatilidad".

Muchas plantas y animales en los lagos, se hunden antes de descomponerse, hacia profundidades situadas por debajo de la zona eufótica. Cuando estos restos orgánicos ya han sido descompuestos y quedan liberados los nitratos y fosfatos, éstos no pueden ser aprovechados por la escasa o nula actividad fotosintética en esas profundidades debido a la falta de luz. Estas sustancias nutritivas podrán ser aprovechadas nuevamente, cuando se produzca su ascensión hacia zonas en las cuales la cantidad de luz sea suficiente para la actividad fotosintética. Esta ascensión de los nutrientes se realiza por medio de las corrientes verticales y la mezcla de aguas. Los nitratos, nitritos y el amonio son indicadores de polución en los medios acuáticos, principalmente en lagos.

Tanto los nitratos como los nitritos estimulan el crecimiento del fitoplancton en los lagos, y un exceso de estos nutrientes en aguas naturales puede producir una sobrefertilización o eutroficación. Al respecto opina The University of Wisconsin Press (17), "La descomposición de abundante vegetación producida por un excesivo crecimiento necesita gran cantidad de oxígeno, lo cual disminuye notablemente la cantidad de este elemento presente en el agua, lo que a su vez resulta en la muerte de los peces y en daños

a el valor económico y recreativo del agua".

Otro problema a causa del exceso de nitratos, es la influencia que ejerce sobre el ciclo del azufre. Al respecto, The University of Wisconsin Press (17) opina: "Se sabe que el nitrato disminuye la reducción del sulfato a sulfuro, y esto podría resultar en la disminución del pH de los suelos y de las aguas naturales".

Por último se sabe que el nitrito es venenoso.

El otro nutriente principal en el medio acuático, es el fósforo, el cual como nutriente se encuentra en forma de fosfatos. Los principales fosfatos que se encuentran en los medios acuáticos, son el metafosfato y el ortofosfato, siendo este último el producto final de la disociación de ácido fosfórico. Los fosfatos en la naturaleza provienen principalmente de rocas fosfatadas, de depósitos de guano y de depósitos de huesos fósiles. Estos fosfatos ya en forma disuelta, toman varios caminos, pero la mayor parte de ellos es arrastrado por efecto de la erosión hacia las profundidades de los mares y lagos, donde permanecen durante mucho tiempo sin ser utilizados debido a su inmovilidad. Además, la cantidad de fósforo aprovechable es pequeña, guardando una relación de 1 a 23 respecto al nitrógeno, según Odum (9). Respecto a la disponibilidad del fosfato en aguas naturales, Pomeroy citado por Odum (9) dice: "La medición de la concentración del fosfato disuelto en aguas naturales proporciona una indicación limitada de la disponibilidad del fosfato. Una gran parte del fosfato del sistema, o virtualmente todo, podrá encontrarse en cualquier momento dentro de los organismos vivos, pero se renovará acaso cada hora, con el resultado que habría un suministro constante de fosfato para los organismos capaces de concentrarlo a partir de una solución diluida. Tales sistemas podrían permanecer acaso biológicamente estables por períodos considerables, pese a la ausencia aparente del fosfato disponible. Las observaciones aquí expuestas sugieren que una rápida circulación del fosfato es típica de sistemas altamente productivos, y que la velocidad de circulación es más importante que la concentración en cuanto a mantener altas intensidades de producción orgánica".

Las fuentes de fosfato en los lagos, son los drenajes provenientes de las ciudades y fábricas, que son más ricas en este nutriente que de nitrógeno, la descomposición de la materia orgánica en el medio acuático que libera

los fosfatos, el lavado de fertilizantes fosfatados y pesticidas fosforados provenientes de la erosión de zonas adyacentes a los lagos, y el lavado de rocas fosfatadas hacia los mismos.

Respecto a la proporción en que el fosfato se renova en los medios acuáticos, Clarke (4) dice que se han obtenido valores medios sobre la relación de nitrógeno a fósforo, la cual es de 7 a 1, y que ésta relación es la misma para el plancton. Por consiguiente, dice Clarke, "El plancton toma las sustancias en la misma proporción en que se encuentra en el agua; cuando los organismos planctónicos mueren, estos materiales son restituidos al agua en la misma proporción. (Redfield, 1934)".

Respecto a la contaminación de los lagos por aguas de drenaje, dice The University of Wisconsin Press (17) que éstas favorecen el crecimiento de algas indeseables y de plantas acuáticas de mayor tamaño, debido a que "las algas verdes que son más comestibles y pasan a formar parte rápidamente de la cadena alimenticia, requieren de nitrato o de amonio en el agua, mientras que las algas azul-verde (indeseables R.A.P.) que a menudo no son comestibles y que por lo tanto tienden a acumularse, son capaces de fijar su propio nitrógeno". Los fosfatos son causantes en gran parte de la eutroficación de los lagos, debido a que como comenta The University of Wisconsin Press (17): "La mayoría de las masas de agua son relativamente deficientes en fósforo..." y que "además el fósforo es el recurso de más difícil renovación, y su ausencia evita la posibilidad del sobrecrecimiento de las algas".

Finalmente y siempre comentando la influencia de los nutrientes en el medio acuático, The Federal Water Pollution Control Administration (21) dice: "NUTRIENTES DE LAS PLANTAS. El subcomité desea enfatizar que las concentraciones sugeridas en esta publicación se hacen como una guía y mediante ellas pueden o no pueden prevenirse crecimientos indeseables. Todos los factores que inhiben y estimulan el crecimiento de las plantas y los niveles de cada una, no son conocidos exactamente.

1. Con el objeto de limitar crecimiento indeseables, debe ser cuidadosamente controlada la adición de cualquier desperdicio orgánico tales como desechos, alimentos procesados y desperdicios industriales conteniendo nutrientes, vitaminas y estimulantes de crecimiento.

Además, debe señalarse que la adición de sulfato u óxido de magnesio a un lago debe limitarse si el hierro se presenta en el Hypolimnion ya que ello puede incrementar la cantidad de fósforo disponible.

2. A un lago o reservorio no debe agregarse nada que cause un incremento de la zona de descomposición anaeróbica.
3. Las relaciones naturales y las cantidades de nitrógeno (particularmente NO_3 y NH_4) al fósforo total no deben radicalmente cambiarse por la adición de materiales. Como una guía, la concentración de fósforo total no debe ser incrementada a niveles que excedan $100 \text{ } \mu\text{g/l}$ en ríos o a $50 \text{ } \mu\text{g/l}$ donde los ríos entran a los lagos o reservorios.

CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE SUSTANCIAS INDESEABLES:

Todos los procesos biológicos terrestres, más la mayoría de las actividades del hombre, finalmente resultan en productos de desperdicio en varias etapas de descomposición.

Una porción de éstas tarde o temprano entran a las superficies de las aguas frescas. Estos productos de desecho incluyen una gran cantidad de nutrientes de plantas tales como nitrógeno, fósforo, carbono y otros elementos. Subsecuentemente éstos elementos son incorporados por las plantas acuáticas.

Las áreas de agua superficiales son similares a las áreas terrestres en el sentido de que algún tipo de vegetación puede ocupar cualquier habitat adecuado. De tal manera que a medida que hay más abastecimiento de nutrientes la vegetación va a ser más densa, asumiendo que son favorables los factores ambientales. En el habitat acuático estos crecimientos pueden ser de bacterias, hongos acuáticos, fitoplancton, algas filamentosas, sumergidas, emergidas, flotantes y plantas de agua marginal.

Prácticamente todas las plantas acuáticas pueden ser deseables a un tiempo u otro, o en un habitat u otro. Sin embargo, cuando ellas se vuelven muy densas interfieren con otros usos del agua o del habitat acuático, se transforman en plantas indeseables.

Algunas bacterias que forman pequeñas láminas son los primeros tipos -

de crecimiento indeseable en ríos, lagos y estanques. Un problema notable, asociado con este grupo de bacterias, ocurre en áreas sujetas a enriquecimiento orgánico. Las más comunes bacterias de este tipo pertenecen al género Sphaerotilus.

Estas bacterias prevalecen en áreas que usan desperdicios y domésticos sólidos, efluentes de papel, o efluentes conteniendo azúcares. Los crecimientos que ellas producen interfieren con los cordales de pesca, atarrayas, etc., y generalmente crean condiciones inadecuadas en el área.

La demanda metabólica de estas bacterias, mientras ellas están viviendo y mientras ocurre su descomposición después de la muerte, impone una alta demanda bioquímica de oxígeno en el agua y pueden severamente reducir el oxígeno disuelto. Se ha sugerido que las poblaciones de Sphaerotilus vuelven nocivo el habitat para animales y por lo tanto su presencia puede excluir peces e invertebrados deseables".

AZUFRE

Aunque el azufre cumple como principal función el ser nutriente de las plantas, su requerimiento por parte de las mismas no es muy grande y se encuentra en cantidades suficientes en el medio ambiente, por lo que en muchos casos su estudio se concreta más que todo a su aspecto contaminante.

La principal forma asimilable de azufre para las plantas son los sulfatos, siendo en esta forma reducido por los organismos autotrofos y luego incorporado a las proteínas. Por otro lado, el azufre es componente esencial de algunos aminoácidos. Otras formas en las cuales se encuentra el azufre, es como sulfuro de hidrógeno y como sulfitos, aunque en esta última forma es inestable. En aguas profundas de los lagos y mares el sulfuro de hidrógeno forma precipitados de hierro, o asciende hacia capas superiores oxigenadas, donde se oxida y forma sulfatos.

Existen datos sobre el incremento de sulfatos en lagos, lo que provoca a la vez un incremento en la acidez de los mismos. Al respecto The University of Wisconsin Press (17), presenta un ejemplo de la laguna Linsedley, Connecticut, en el cual se muestra un aumento en el contenido de sulfatos,

de 0.25 mg/l en 1937 a 7.0 mg/l en 1963.

Los organismos que viven en las zonas más profundas de lagos y mares, las cuales están desprovistas de oxígeno, realizan la descomposición de la materia orgánica liberando grandes cantidades de sulfuro de hidrógeno, por lo que una abundancia de esta sustancia puede ser indicativo de contaminación, ya que estaría mostrando que existe una gran cantidad de sustrato sobre el cual están trabajando los microorganismos. Por otro lado, el sulfuro de hidrógeno es venenoso para la mayoría de habitantes de los medios acuáticos.

Las fuentes de contaminación con azufre en los lagos, son los drenajes de las ciudades e industrias. En algunos casos es posible identificar la contaminación con azufre al sentir el olor a "huevos podridos" característica del proceso de descomposición.

CROMO

El cromo por lo común no se encuentra en aguas naturales, salvo en aquellos casos en que en estas aguas se depositen desechos de fábricas e industrias que usan este elemento para la elaboración de sus productos.

Según la American Water Works Association (1) "aunque las sales de cromo no trivalentes son inócuas, se sabe que las sales de cromo hexavalentes son irritantes. Por lo tanto, sin tomar en cuenta la modificación del cromo hexavalente en su forma trivalente, cambio que ocurre en aguas superficiales, y hasta que se tengan datos precisos sobre la toxicidad de la forma hexavalente, no debe agregarse cromo a las aguas potables en ninguna circunstancia".

5. CONTAMINACION EN LAGOS

Existen diversas definiciones de lo que es contaminación, y más específicamente contaminación del agua. Turk, Turk y Wittes (18) indican al respecto "... la contaminación del agua es la adición a la misma de materia indeseable que deteriora su calidad". La anterior definición no lleva a la vez a definir el término calidad del agua, y ésta es definida por los mismos autores "... como su aptitud para usos benéficos o que se ha venido dedicando en el pasado, esto es, para bebida del hombre y los animales, para sopor-

te de una vida marina sana, para riego de la tierra y para recreación". De lo dicho anteriormente podemos concluir que la contaminación del agua es debida a la adición de sustancias que alteran la calidad de la misma, y que su efecto es hacerla inadecuada para el uso que se le quiera dar a la misma. El material contaminado podrá ser materia inerte, como compuestos de mercurio, cromo o plomo, o materia viva como lo es la proveniente de los organismos. Estos materiales se pueden clasificar de acuerdo a su capacidad para ser descompuestos. Al respecto, Vargas (19) los clasifica en dos tipos: conservadoras y no conservadoras. Las conservadoras son "todas aquellas sustancias que no son alteradas por los procesos biológicos que ocurren en todas las aguas en su estado natural; generalmente son sustancias químicas inorgánicas y son afectadas cuantitativamente por la dilución pero no cualitativamente. Estas dependen de la dilución. Generalmente se deben a desechos industriales. Las no conservadoras "son sustancias que sí son alteradas cualitativamente y cuantitativamente por los procesos naturales. Estas son removidas por dilución y efectos naturales; son producidas generalmente por desagües domésticos". O sea que las materias conservadoras son aquellas que no son biodegradables, o sea que sus características químicas internas no son cambiadas, pero sí pueden ser afectadas por dilución, o sea estar más o menos concentradas. Vargas dice que generalmente estos materiales provienen de desechos industriales, pero creemos que es importante agregar que estos materiales también se encuentran en aguas provenientes del lavado de algunos insumos usados en la actividad agrícola, en incluso suelos lavados por la erosión. Los materiales no conservadores serían aquellos que sí son biodegradables, o sea que están sujetos a la acción biológica, y por lo tanto sus características químicas internas son cambiadas, y además también podrán estar sujetas a cambios en su concentración. Creo que además de mencionar que estos materiales provengan de desagües domésticos, habría que agregar también que algunos de ellos provienen del uso de la tierra, y además de la transformación de los productos de la misma.

Los materiales conservadores al no descomponerse, tienden a acumularse en el medio o en los organismos, siendo un caso típico de este tipo de materiales el DDT.

El principal agente contaminante es el hombre, por medio de uso, muchas veces irracional, que hace de la industria y de la agricultura, y además por

la necesidad que tiene de eliminar los desechos provenientes del uso doméstico que hace de algunos productos y alimentos.

En relación a la eutrofización artificial como una forma de contaminación los efectos más notables de la misma, son el provocar con mayor intensidad el fenómeno de la sucesión ecológica, con sus consiguientes trastornos en el medio ambiente, la desaparición de la flora y fauna natural de estos cuerpos de agua, y lo más importante, la pérdida de un recurso natural no renovable.

Turk, Turk y Wittes (18), hacen la siguiente clasificación de las clases de impurezas de agua, de acuerdo al volumen de sus partículas, "porque es este volumen el que con frecuencia condicionan la eficacia de los diversos métodos de purificación".

- a) Partículas suspendidas. Estas son las de mayor volumen, con un diámetro aproximado de un micrómetro. Son los bastante grandes para depositarse a velocidades razonables y ser retenidas por los filtros comunes. Son también de tamaño lo suficientemente grande como para absorber la luz y por lo tanto provocar turbidez y suciedad al agua.
- b) Partículas coloidales. Son partículas pequeñas, con una velocidad de depósito insignificante, pasan a través de los agujeros de la mayoría de filtros (por lo que no es posible eliminarlas por sedimentación, por filtros ordinarios). Los colores del agua de lagos y mares son debidos en su mayoría a este tipo de partículas.
- c) Material disuelto. Esta no se deposita, no es retenida por ningún tipo de filtro y no enturbia el agua. Tienen un diámetro aproximado de $1/1000$ de micrómetro. Si esas partículas eléctricamente neutras se denominan moléculas, y si están cargadas eléctricamente se llaman iones.

Los mismos autores presentan el siguiente cuadro sobre las impurezas del agua, siempre basado en el tamaño de las partículas:

IMPUREZAS EN AGUAS NATURALES

ORIGEN	CLASIFICACION DEL TAMAÑO DE LAS PARTICULAS				
	Suspendidas	Coloidales	Disueltas		
Atmósfera	← Polvos →		Moléculas	iones positivos	iones negativos
			Bióxido de carbono Bióxido de azufre Oxígeno Nitrógeno	Hidrógeno	Bicarbonato Sulfatos
Tierra mineral y piedras	← Arena →		Bióxido de carbono	Sodio Potasio Calcio Magnesio Hierro Manganeso	Cloruro Fluoruro Sulfato Carbonato Bicarbonato Nitrato Diversos fosfatos
	← Arcilla →				
	← Partículas de tierra mineral →				
Organismos vivos y sus productos de descomposición.	Algas		Bióxido de carbono Oxígeno Nitrógeno Sulfuro de hidrógeno Metano y diversos desechos orgánicos, algunos de los cuales producen color y olor.	Hidrógeno Sodio Amonio	Cloruro Bicarbonato Nitrato
	Diatomeas Bacterias				
	← Tierra orgánica →				
	Peces y otros organismos.	Virus Materia colorante orgánica			

Las normas que se exigen de la calidad del agua, varían según el uso que se destinó a la misma. Las siguientes son las normas internacionales para el agua potable dadas por la Organización Mundial de la Salud.

NORMAS INTERNACIONALES PARA EL AGUA POTABLE (+)
(Organización Mundial de la Salud, Ginebra 1964)

CALIDAD FISICA

Sustancia	Concentración máxima aceptable	Concentración máxima tolerable
Color	5 unidades	50 unidades
Turbidez	5 unidades	25 unidades
Sabor	no rechazable	-----
Olor	no rechazable	-----

CALIDAD QUIMICA

a) Compuestos que influyen sobre la potabilidad del agua

Sustancia	Concentración máxima aceptable	Concentración máxima tolerable
Sólidos totales	500 mg/l	1500 mg/l
Hierro	0.3 "	1.0 "
Manganeso	0.1 "	0.5 "
Cobre	1.0 "	1.5 "
Zinc	5.0 "	15.0 "
Calcio	75.0 "	200.0 "
Magnesio	50.0 "	150.0 "
Sulfatos	200.0 "	400.0 "
Cloruros	200.0 "	600.0 "
Grado de pH	7.0-8.5	inf. a 6.5 sup. 9.2
Magnesio-sulfato sódico	500.0 mg/l	1000.0 mg/l
Compuestos fenólicos (referidos a fenol)	0.001 "	1.002 "
Extracto de carbón con Cloroformo (ECC; contaminantes orgánicos)	2.0 "	0.5 "
Sulfatos alquibencilo (SAB; sustancias terciarias)	0.5 "	1.0 "

b) Componentes peligrosos para la salud

Sustancia	Concentración máxima tolerable
Nitrato referido a NO ₃	45.0 mg/l
Fluoruros	1.5 mg/l

(+) Tomado de parámetros de calidad de aguas naturales de la República de Guatemala

c) Sustancias tóxicas

Sustancias	Concentración máxima aceptable
Compuestos fenólicos	0.0002 mg/l
Arsénico	0.05 "
Bario	1.0 "
Cadmio	0.01 "
Cromo	0.05 "
Cianuros	0.2 "
Plomo	0.05 "
Selenio	0.01 "
Radiomolidos (actividad Beta total)	1000 c/l

d) Indicadores químicos de contaminación

Indicador	Límite mínimo de contaminación
Demanda química de oxígeno (QO)	10 mg/l
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	6 "
Nitrógeno total, excluido el NO_3	1 "
Amoníaco	0.5 "
Extracto de carbón con cloroformo (ECC: contaminantes orgánicos)	0.5 "
Grasa	1.0 "

NORMAS BACTERIOLÓGICAS

Clasificación	NMP/100 ml. de bacterias coliformes
I. Calidad bacteriológica que no exige más que un tratamiento de desinfección.	0-50
II. Calidad bacteriológica que no precisa la aplicación de los métodos habituales de tratamiento (coagulación, filtración, desinfección).	50-5000
III. Contaminación muy intensa, que hace necesarios tratamientos más activos	5000-50000
IV. Contaminación muy intensa que hace inaceptable el agua a menos que se recurra a tratamientos especiales, estas fuentes sólo se utilizan en último extremo.	más de 50000

Para usos recreativos, Federal Water Pollution Control Administration (21), dice que el contenido de coliforme fecal, ya sea determinado por fermentación de tubo múltiple o técnica de membrana con filtro no debe exceder un log. medio de 1000-100 n. Esto se refiere para el contacto secundario con las aguas. Para el contacto primario se recomiendan los siguientes parámetros:

- a) Coliforme total, determinado por tubo múltiple de fermentos o procedimientos de membrana con filtro, deben estar basados en un mínimo de 5 muestras tomadas en un período no mayor de 30 días, el contenido no debe exceder un log. medio de 200/100 ml. y un 10% del total de las muestras sobre un período de 30 días no debe exceder de 400/100 ml.
- b) El pH debe estar en un rango de 6.5 a 8.3 excepto cuando debido a causas naturales puede llegar tan bajo como 5 o tan alto como 9.

El mismo autor da las siguientes normas respecto a la calidad del agua en lagos para fines de piscicultura de la vida acuática y animales silvestres:

1. Materiales disueltos. En ningún caso la concentración de materiales disueltos debe exceder de 50 millón mole (el equivalente de 1500 mg/l de NaCl).
2. El pH debe estar entre 6 y 9 y no deben agregarse carbonatos en suficiente cantidad como para bajar la alcalinidad a menos de 20 mg/l con el fin de proteger la productividad del sistema.
3. Temperatura: 5-20°C
4. Las siguientes condiciones son consideradas esenciales para mantener una población nativa de pescado y otras vidas acuáticas:

Para una biota diversificada de agua tibia, incluyendo peces, la concentración de oxígeno disuelto debe estar arriba 5 mg/l asumiendo que las variaciones idearias de la estación estén arriba de esta concentración. Bajo condiciones extremas sin embargo, ellas puede oscilar —

entre 5 y 4 mg/l por períodos cortos durante cualquier período de 24 horas, considerando que la calidad del agua es favorable en otros aspectos. En lagos estratificados los requerimientos de oxígeno disuelto podrá no ampliarse al Hipolimnión.

Para la biota de agua fría, es deseable que la concentración de oxígeno disuelto esté cerca de la saturación.

Los niveles de oxígeno disuelto en el Hipolimnión de pequeños lagos oligotróficos y en grandes lagunas no debe ser menor de 6 mg/l a cualquier tiempo.

5. Dióxido de carbono. La concentración de anhídrido carbónico libre no debe exceder de 25 mg/l.
6. Turbidez. La turbidez en las aguas receptoras o descarga de desperdicios no debe exceder de 50 unidades Jackson en corrientes de agua fría. No debe haber descarga en lagos de agua tibia que podría causar exceso de turbidez en 25 unidades Jackson. La turbidez en lagos de agua fría y oligotróficos no debe exceder de 10 unidades Jackson.
7. Para la producción fotosintética de oxígeno, es requerido que el 10% en la luz incidente alcance el fondo de cualquier zona fotosintética."

Respecto a las sustancias colorantes, dice el mismo autor "todos los materiales que produzcan olor o sabor al pescado o a otros invertebrados deben ser excluidos de recibirse a niveles que produzcan coloración o mal olor".

Con respecto a la eutroficación como una forma de contaminación, interesa conocer los parámetros limitativos sobre fosfatos y nitratos. Al respecto dice Tabarini (16) "... las cantidades de fosfatos obtenidos son difíciles de relacionar con estándares limitativos, sin embargo Sawyer (1947) sugiere que 0.015 mg/l de fósforo inorgánico, da origen a niveles críticos para la producción del florecimiento de algas. Considerando que de una molécula de fosfato total da como resultado un valor de 0.1 mg/l de fósforo inorgánico, lo que implica que hay suficiente fósforo nutriente para alcanzar niveles críticos de eutroficación..." Los datos que la autora presenta

están referidos a el estudio hecho por ella en el lago de Amatitlán, y el valor de 0.1 mg/l de fósforo inorgánico, creemos que fue calculado en base a la relación que existe entre los pesos moleculares y atómicos del radical fosfato y del fósforo inorgánico. Respecto a parámetros limitativos sobre nitrógeno, Swayer citado por Tabarini (16), sugiere "que 0.3 mg/l de nitrógeno total, es un nivel crítico para la eutroficación".

III. MATERIALES Y METODOS

1. Localización

La laguna Chichoij se encuentra localizada a orillas de la villa de San Cristóbal Verapaz, específicamente al sureste de la misma villa, siendo ésta la cabecera del municipio de San Cristóbal Verapaz, en el departamento de Alta Verapaz. Su localización geográfica es: 15° 21' 30" latitud norte y 90° 28' 40" longitud oeste. El área de la laguna reportada en el año de 1946 (7) por la Dirección General de Recursos Naturales Renovables es de 150 hectáreas, y su altura sobre el nivel del mar es de 1390 metros.

De acuerdo a los datos meteorológicos de la estación zona vial 7 del INSIVUMEH, ubicada a 7 Kms de la laguna, la precipitación pluvial total anual en base a 5 años de registro, es de 1646 mm., notándose que existe lluvia durante todo el año, siendo los meses más lluviosos los de julio y septiembre, y los de menor lluvia los de marzo y abril; la temperatura media anual es de 23.1°C siendo los meses más fríos los de noviembre y diciembre, y los de mayor temperatura marzo y junio. La humedad relativa anual, tomada de la estación de Cobán, por no existir dicho dato en la estación zona vial 7, es de 87.2% siendo los meses de septiembre, octubre, noviembre, diciembre y enero los de más alta humedad, y los de marzo, abril y mayo, de más baja humedad. Se nota además que la humedad relativa se mantiene bastante alta durante todo el año, con un valor mínimo de 82.8% y un valor máximo de 91%. En el sistema de clasificación del clima de Thornthwaite, la región es semicálida, con invierno benigno, muy húmeda, con vegetación natural característica de selva y sin estación seca bien definida. En la clasificación de zonas de vida de Holdridge, esta región pertenece a bosque muy húme-

do, subtropical frío.

2. Etapas del estudio

El estudio se hizo en tres fases:

De gabinete,
De campo, y
De laboratorio

- 2.1 FASE DE GABINETE: Esta fase se realizó en el mes de octubre y consistió en la elaboración de mapas de campo escala 1:10,000, determinación de la cuenca de la laguna, uso de la tierra, erosión, vegetación, - área de la laguna, afluentes y puntos de muestreo en la laguna y ríos afluentes, por medio de uso de mapas cartográficos 1:50,000, fotografías aéreas escala 1:40,000, estereoscópicas de gabinete y de bolsillo y equipo de ofículo y dibujo.
- 2.2 FASE DE CAMPO: Esta se realizó en los meses de noviembre, diciembre y parte de enero, y consistió en lo siguiente:
- a- Determinación de las posibles fuentes de contaminación de la laguna, chequeo de los puntos de muestreo del agua, comprobación del uso de la tierra y erosión, vegetación y afluentes, por medio de caminamientos y el uso de mapas de campo.
 - b- Recolección y conservación de vegetación acuática y terrestre de la zona, por medio del uso del herbario.
 - c- Determinación de las especies de peces existentes en la laguna, - por medio de entrevistas con pescadores.
 - d- Realización de entrevistas con personas del lugar para conocer la historia y origen de la laguna, así como la opinión sobre el manejo actual de la misma.

- e- Se realizó un sondeo de la laguna, usando un cordel con una plomada en el extremo, lancha y rapa de la laguna, con el fin de determinar la profundidad y fisionomía de la misma.
- f- Se hizo la toma de muestras de agua de la laguna y del río afluente en los puntos de muestreo previamente seleccionados en la siguiente forma:

Río Chijuljé. Se hicieron cuatro muestreos; tres en la mañana y uno por la tarde, tomados con una semana de diferencia entre cada uno de ellos, en los siguientes puntos de muestreo (Mapa No. 1)

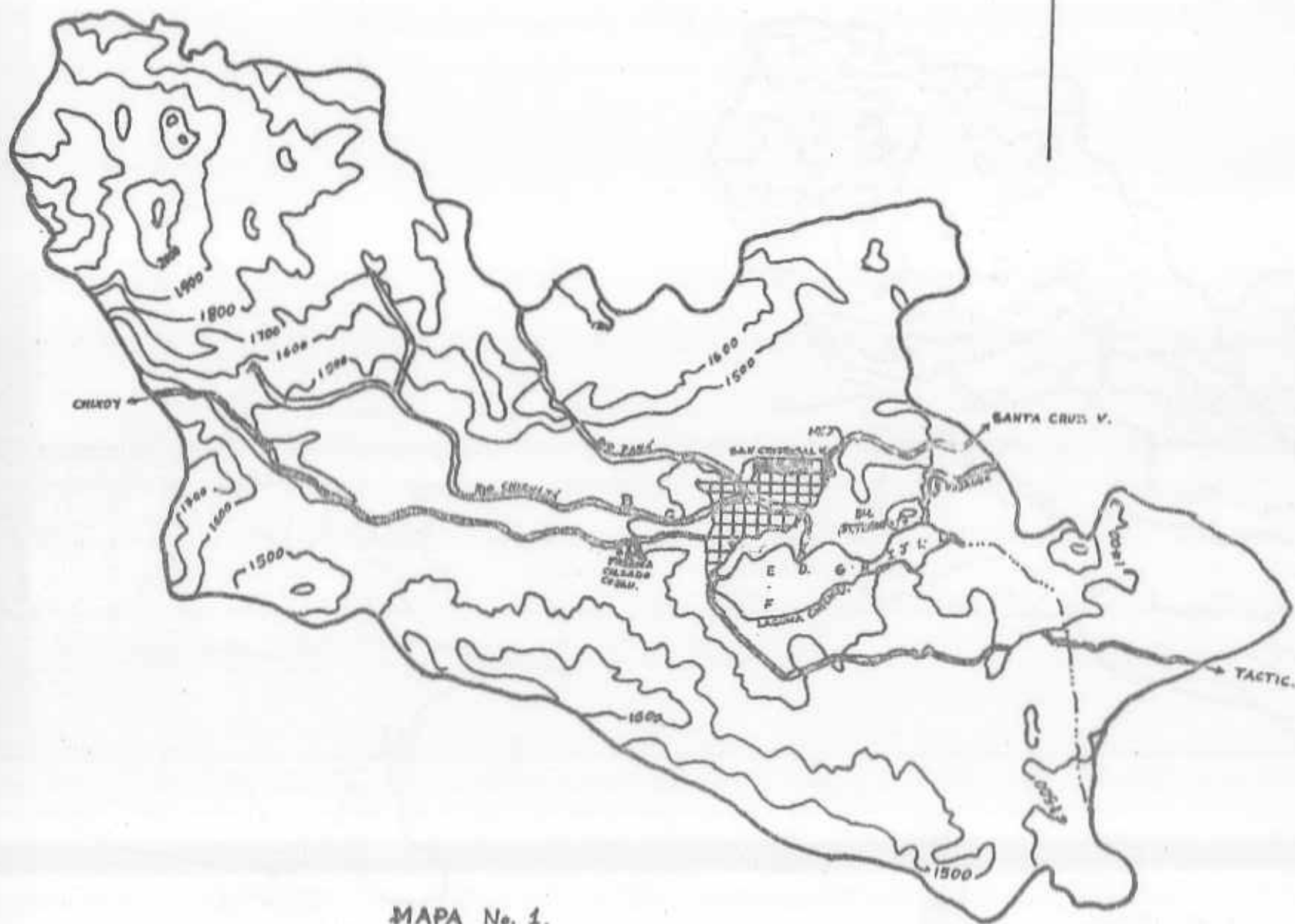
Laguna. Se hicieron cuatro muestreos; dos superficiales y dos a una profundidad de cinco metros, tomadas también las muestras con una semana de diferencia entre muestreos, en nueve puntos según se aprecia en la Mapa No. 1.

Se usó lancha, rapa de campo, botellas plásticas y muestreador especial para toma de muestras a profundidad.

- g- Realización de los siguientes análisis físico-químicos: Oxígeno disuelto, bióxido de carbono, pH, turbidez, color, dureza calcio y dureza total, ortofosfatos, metafosfatos, nitratos, nitritos y sulfatos por medio del equipo de campo Hach; se determinó además la temperatura ambiente y del agua por medio de un termómetro de escala centígrada, conductividad eléctrica por medio del puente de conductividad y transparencia por medio del disco de Secchi.
- h- Medición del caudal de los ríos por medio de flotador.

2.3 FASE DE LABORATORIO: Esta se realizó durante el mes de diciembre y parte del mes de enero y consistió en la realización de los análisis de pH por medio de un potenciómetro Beckmann con electrodo de vidrio, conductividad eléctrica por medio del puente de conductividad, sólidos en solución por evaporación en crisoles de platino, calcio, magnesio,

MAPA QUE MUESTRA LA CUENCA
DE LA LAGUNA CHICHÓJ Y LOS
PUNTOS DE MUESTREO ESCOGIDOS.



MAPA No. 1.

sodio y potasio por espectrofotometría de absorción atómica, carbonatos por medio del indicador fenoftaleína y titulación con ácido sulfúrico, bicarbonatos por medio del indicador amaranjado de metilo y titulación con ácido sulfúrico, cloruros como precipitado de nitrato de plata e indicador cromato de potasio y sulfatos como precipitado de sulfato de Bario, usando sulfato de Bario al 10%.

Finalmente se realizó la identificación y clasificación de las plantas acuáticas y terrestres, mediante el método de comparación con fotografías y auxiliándose con algunos herbarios existentes. La nomenclatura usada es la de Standley y Steyermark.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

A continuación se presentan y discuten los resultados obtenidos en la realización de las diferentes fases.

1. Origen e Historia de la Laguna

Como resultado de las entrevistas sostenidas con habitantes del lugar y, especialmente con el Sacerdote Ricardo Terga, se conocieron diversas historias sobre el origen de la laguna, casi todas ellas de carácter religioso. La más común de estas historias es la siguiente, transcrita tal como el Padre Terga la recogió: "Había un pueblo con iglesia, al padre no lo querían, le iban a pegar, huyó y se fué a la cumbre y al hijo al pueblo, al irse empezó a llover y llover hasta que el pueblo desapareció y se lleno de agua y se convirtió en laguna; el padre tenía una serpiente que quedó hundida". Otra historia es la siguiente: "Se cree que había un pueblo con una iglesia, 'San Andrés', el pueblo fue hundido por un terremoto y se lleno de agua".

El dato que consideramos más importante sobre el origen de la laguna, es el proporcionado por el cura inglés Tomás Gage, quien anduvo por estas tierras más o menos en los años de 1625-1637. En el libro "Los viajes de Tomás Gage en la Nueva España" se dice lo siguiente:

"Desde este lugar hasta la Vera Paz, o a Cobán, que es la capital no hay nada de considerable más que un pueblo llamado San Cristóbal, donde hay ahora un gran lago que no se le puede encontrar fondo según se dice.

Antiguamente no había lago pero por un gran temblor de tierra, ésta se abrió y sumergiendo muchas casas, dejó un lago que ha permanecido siempre en aquel lugar".

Al analizar las historias apuntadas, es importante encontrar lo que pueda haber de verídico en las mismas, a pesar del carácter mítico que pueda existir en algunas de ellas. Las historias de tipo religioso, que son varias, de las cuales aquí sólo se han anotado algunas, en general son similares, cambiando sólo en algunos aspectos. En todas ellas se encuentran dos principales similitudes: a) que antes no existía laguna, y b) que ésta se formó después de la conquista. Esto lo explicamos así: respecto a lo primero, es importante recordar que en toda historia existe algo verídico, que es lo que cabalmente da origen a la historia, y que éstas con el tiempo van siendo transformadas según la forma en que se transmiten, pero en el fondo subsiste el dato verídico. En el presente caso, todas las historias coinciden en que antes existía un pueblo, y se diferencian en lo relacionado a explicar la causa por la cual dicho pueblo desapareció. Descartando la explicación de tipo religioso que se le da a dicho fenómeno, nos queda como única explicación la destrucción del pueblo por un terremoto. Esto confirma lo dicho por Odum (9) respecto al origen catastrófico de los lagos. La explicación del terremoto como causa de la desaparición del pueblo, nos parece que podría ser real debido a que en la zona se localizan fallas geológicas que pudieron ser activadas en esos tiempos. Además llama la atención que "más Gage mencione "que desde este lugar (se refiere a Rabinal) hasta la Vera Paz, o a Cobán". no existía nada de considerable, más que el pueblo de San Cristóbal. Creemos que lo considerable que llamó la atención a el autor, haya sido un suceso extraordinario, y que éste fuera un gran lago donde antes existió un pueblo que fué destruido por un fenómeno natural poco común.

En relación a lo dicho de que la laguna se formó después de la conquista de Guatemala, creemos que es así puesto que en todas las historias que cuenta la gente, se habla de un cura, de una iglesia, e incluso del nombre de esta iglesia (San Anirés), lo cual sólo pudo haber existido como resultado de la presencia política de los españoles. En base a lo anterior, podemos situar el origen de la laguna entre los años 1524 (Conquista) y 1625 (venida de Gage a Guatemala). Lo dicho tiene gran importancia puesto que -

nos indicaría que la laguna Chichojo es de reciente formación, o sea que es una laguna "joven". La laguna Chichojo (boca de rata en Pocomchi) es sagrada para los indígenas del lugar, y al respecto, se dice que antiguamente cuando los niños indígenas nacían con una mancha atrás, estos podrían estar predestinados a ser grandes hombres. Para probar esto, introducían a los niños en una cueva que se encuentra en los alrededores de la laguna (Pancon sul) durante tres días, y si resistían la prueba, indicaba que eran fuertes y que eran los encargados de sumergirse en la laguna cuando fueran mayores, con el fin de amarrar a la serpiente mencionada en la primera historia, cuando ella se soltara. Se dice también que antiguamente introducían los ongligos de los niños en la mencionada cueva para darles fortaleza. En la actualidad se pueden encontrar en los alrededores de la laguna, sitios en los cuales los indígenas realizan sus ritos.

Según la opinión de los habitantes del lugar, antiguamente el área de la laguna era mayor e indican que la zona que rodea a el "Petencito" estaba rodeada de agua y que el ingreso al mismo sólo era posible a través del agua. En la actualidad, se puede ingresar a este bosque por tierra por medio de un relleno. Dicen además que es la invasión de vegetación la que está causando el desplazamiento de áreas cubiertas de agua de la laguna por áreas cubiertas de vegetación terrestre, y que anteriormente se realizaban limpiezas de esta vegetación para impedir el proceso. Se nos informó además que estas limpiezas se realizaban en el tiempo de Ubico, y que consideran que el área más afectada por la invasión de vegetación es la garganta de la laguna. Mencionan también los habitantes del lugar que varias especies de aves migratorias llegan a la laguna, y que son éstas las que traen en sus cuerpos las semillas de las plantas que están causando la invasión de la laguna. Al respecto, es importante mencionar que dicho fenómeno sucede con frecuencia en la naturaleza; además es también importante observar como los habitantes encuentran una explicación sencilla y lógica del fenómeno, sin recurrir a fantasías como sucede frecuentemente. Sin embargo, aún cuando el fenómeno sucediera, sería necesario que dichas semillas encontrasen un medio muy favorable para germinar y desarrollarse hasta el grado en que se encuentra la vegetación actualmente. O sea que no descartamos la explicación que tienen los habitantes sobre el fenómeno, si no más bien creemos que es el medio acuático el que se encuentra altamente fertilizado como para poder permitir el desarrollo de vegetación acuática o hidrófita adaptada a di

chas condiciones.

2. Descripción de la Cuenca de la Laguna.

Se determinó que el área de la cuenca es de 2549 hectáreas, siendo en su mayoría de conformación montañosa. La Villa de San Cristóbal Verapaz se encuentra ubicada a orillas de la laguna, en dirección norte, siendo la única población de importancia que se encuentra dentro de la cuenca.

El área en la que se encuentra la laguna es una hondonada a la cual van a dar las aguas de la cuenca. Las más importantes son las de los ríos Chijuljé y Paná que se unen un poco antes de la laguna e ingresan posteriormente a ella, y otro río llamado "Desagüe", que sale de la laguna y se une más adelante al río Cahabón en una zona fuera de la cuenca (Mapa No. 1). En entrevistas sostenidas con algunos habitantes del lugar, se nos manifestó la creencia de que existen fuentes subterráneas de agua que alimentan la laguna, así como otras que le sirven como desagüe. Otra forma de desagüe, es un río intermitente localizado en el extremo este de la laguna (Mapa No. 1), aunque al mismo los habitantes no le dan mucha importancia.

El caudal del río Chijuljé, tomando después de unirse al río Paná y a una distancia aproximada de 500 metros de la laguna, es de $0.53 \text{ m}^3/\text{seg.}$, y el del río Desagüe tomado a una distancia aproximada de 700 metros de la laguna es de $0.33 \text{ m}^3/\text{seg.}$ La diferencia de caudal entre ambos ríos, la atribuimos a formas subterráneas de desagüe, como es reconocido por los vecinos. Otra diferencia que presentan ambos ríos, es que en el río Chijuljé la vegetación acuática es escasa o casi nula y que sus aguas son turbias; por el contrario, en el río Desagüe la vegetación es abundante, lo que provoca una menor velocidad del agua, y además ésta es bastante clara.

Respecto a el uso de la tierra, se determinó que el 18% del área de la cuenca está ocupada por cultivos anuales, y el resto con bosques, pastos y café en ese orden. Esto indica que la mayor parte del área de la cuenca tiene buena cubierta vegetal, lo que impide que se produzca erosión. Además por el chipi-chipi (lluvia de tipo orográfico que se da en la zona) también

creemos que no se dé la erosión. Por otro lado, y en apoyo a lo dicho, no se encontraron cárcavas que indiquen que se dé dicho fenómeno en la zona. - La única forma de erosión observada es la producida por el lavado de las ca- lles de la villa, cuyas aguas ingresan al río Chijuljé; sin embargo este - tipo de erosión es ocasional. En base a lo anterior, podemos descartar a la erosión como fuente importante de contaminación en la laguna.

3. Descripción y Desarrollo de la Laguna.

La laguna tiene en la actualidad una forma irregular, semejándose apro- ximadamente a la forma de un "ocho", con dos grandes áreas de agua, unidas por una especie de garganta estrecha (Foto No. 2). La laguna es poco profun- da, con una profundidad promedio de 12 metros, una máxima de 25 metros (en la parte oeste) y una mínima de 4 metros (en la garganta); su longitud má- xima es de 1750 metros, su ancho máximo en el lado oeste es de 500 metros, y 350 metros en el lado este (Gráfica No. 1). El dato de profundidad da - lugar a deducir que la laguna es eutrófica por ser poco profunda, según lo expuesto por Odum (9). La mayor parte del área de la laguna se encuentra - rodeada por pastizales, a excepción del bosque situado en el extremo este, y el del bosque del "Petencito" situado al lado norte y a orillas del río - Desague (Foto No. 2). La vegetación litoral es abundante, lo cual apoya lo dicho en cuanto que la laguna es eutrófica, como también lo menciona Odum - (9), respecto a las características de este tipo de lagunas.

El área de la laguna en 1954 era de 49 hectáreas y en 1964 de 46 hec- táreas, de acuerdo a la estimación hecha en base a fotografías aéreas de - esos años (fotografías Nos. 1 y 2). Ello indica que en diez años se despla- zaron tres hectáreas de la laguna. Por otro lado, la Dirección General de Recursos Naturales Renovables (7), en el estudio de los años 1946-47, re- porta que el área de la laguna, en ese período, era de 150 hectáreas. Si - nos atenemos a dicho dato encontramos una drástica reducción de 101 has., en el área de la laguna en un período de 8 años (hasta 1954) y de 104 has. en un período de 18 años (hasta 1964). Nosotros, sin embargo, no coincidimos con la información proporcionada por DIGERENARE ya que nos parece - dicho dato demasiado alto. Podría pensarse que ellos consideran que el - área descubierta alrededor de la laguna mostrada en la fotografía No. 2, - era agua. Pero cuando nosotros planimetráramos dicha área, obtuvimos 110 hec



Fotografías No. 1 (arriba) y No. 2 (abajo).

La fotografía No. 1 es de 1954 y la No. 2 de 1964. Nótese el desplazamiento del área indicado por las flechas de la fotografía No. 2. La región punteada de la fotografía No. 2, corresponde a la que se supone era el área anterior de la laguna (las fotografías no están a la misma escala).

táreas, lo cual está en todo caso debajo del dato reportado por DIGEREMARE.

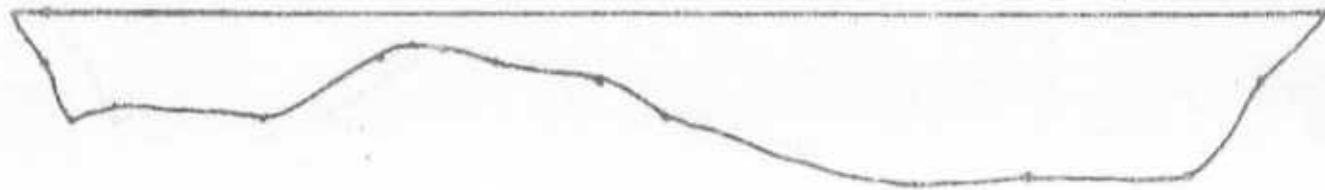
En relación al área descubierta alrededor de la laguna, de la cual hicimos referencia anteriormente y que fué planimetrada, estimamos que si era parte del cuerpo de agua formado por la laguna. Esta estimación la hacemos basándonos en que es posible observar algunas zonas, tanto en la fotografía aérea como en el campo, con rastros dejados por el agua. Es explicable que esa zona haya sido primeramente invadida por la vegetación debido a que era la parte más baja de la laguna.

La inferencia anterior coincide con afirmaciones de los habitantes del lugar, en el sentido de que esta área estaba cubierta por agua y de que la laguna era más grande. Los habitantes además, al ser entrevistados, indicaron que ellos entienden por Petencito "un lugar rodeado de agua". Ello sugiere que los habitantes asociaron el nombre Petencito con la isla de Flores, en El Petén, y que el lugar al que nombraron estaba rodeado de agua conformando una pequeña laguna.

Por otro lado, en la actualidad, es posible notar perfectamente los tres pasos de sucesión ecológica que se dan en los lagos y lagunas, siendo estos: laguna, pantano y pradera (Odum). En la fotografía No. 2, el área pantanosa corresponde al lado norte de la laguna y el área de pradera al lado sur, principalmente.

Si tomamos como área inicial de la laguna 110 has., y si consideramos que ésta sería el área real reportada por DIGEREMARE en 1946-47, encontraríamos un desplazamiento de 61 has., en 8 años y de 64 has., en 18 años; esto indicaría que en el período de 8 años se produjo un severo desplazamiento del área de la laguna, y que luego en un período de 10 años el desplazamiento fué mucho más lento. No se pudo realizar la medición del área actual de la laguna, lo cual nos hubiera dado mejor información para fines de comparación. Sin embargo ese desplazamiento de 61 has., en 8 años nos parece excesivo, aunque creemos que si se dió dicho desplazamiento, pero en un período mayor de tiempo. En vista de lo anterior, nos quedaría como único dato real y seguro el desplazamiento de 3 has., en 10 años, lo cual creemos que sigue siendo una pérdida importante de área de la laguna, como para poder decir que la velocidad del proceso de sucesión ecológica se ha acelerado.

GRAFICA No. 1
PERFIL LONGITUDINAL
DE LA LAGUNA CEICHOJ



PERFIL LATERAL LADO OESTE



PERFIL LATERAL LADO ESTE



ESCALA HORIZONTAL 1:10000
ESCALA VERTICAL 1:1000

Además hay que tomar en cuenta según se dijo anteriormente que, la laguna es de reciente formación; por otro lado, Gage habla en su narración de un gran lago, y aunque nos parecieran algo exageradas sus observaciones respecto al tamaño de la laguna, aún así la misma sería de mayores dimensiones que en la actualidad. Esto último apoya también la teoría de que el proceso de sucesión ecológica se ha acelerado.

Si el área de la laguna era anteriormente mayor, creemos que también lo era su profundidad, máxime si aceptamos que la laguna se formó por efecto de un terremoto. La reducción en la profundidad de la laguna, puede explicarse por la acumulación paulatina de sedimentos y por la precipitación de material en suspensión.

Lo expuesto anteriormente, muestra que la laguna ha seguido el proceso natural de estos cuerpos de agua, o sea que empezó por ser oligotrófica y - en la actualidad ha pasado a ser eutrófica.

En relación al desplazamiento de la laguna, actualmente se nota que la tendencia de la misma es a cerrarse en la garganta, y como resultado de esto se producirá la formación de dos cuerpos de agua separados.

El volumen de la laguna calculado en base a una área de 46 has., (1964) y una profundidad promedio de metros, es de 5,760,000 m³.

Respecto a las especies de peces existentes en la laguna, se determinó por medio de entrevistas sostenidas con pescadores del lugar, que las especies criollas eran la mojarra y el pez dorado, y que luego se introdujeron el guapote y la carpa, y más recientemente la lobina. Actualmente es muy raro encontrar mojarra o pez dorado y se estima que su población disminuyó debido a la introducción de los peces carnívoros.

4. Vegetación.

Los principales géneros y especies de vegetación terrestre encontrados son los siguientes:

Entre los árboles de mayor tamaño están Pino (*Pinus pseudostrobus* Lindley) de la familia Pinaceae; encino (*Quercus* sp.) de la familia Fagaceae; liquidámbar (*Liquidambar styraciflua*, L.) de la familia Hamamelidaceae y llama

del bosque (Spatodea campamulata) de la familia Bignoniaceae; como árbol de menor tamaño se encontró el de manzana rosa (Syzygium jambus (L) Alston) de la familia Mirtaceae.

Las principales hierbas terrestres son árnica (Arnica sp.) de la familia Compositaceae y chispa o helecho (Pteridium sp.) de la familia Dennstaedtiaceae.

La vegetación acuática litoral encontrada es la siguiente:

- a) Emergente: carrizal (Scirpus sp.) de la familia Cyperaceae, tifa (Typha latifolia) de la familia Typhaceae, cebolleta de agua (Eleocharis sp.) de familia Cyperaceae, navajuela (Rhynchospora sp.) de la familia Cyperaceae, Cyperus sp. de la familia Cyperaceae y viborana (Asclepias cusassavica) de la familia Asclepiaceae.
- b) Plantas de raíz con hojas flotantes: solamente se encontró lirio acuático (Eichhornia crassipes (Mart) Solms) de la familia Pontederiaceae.
- c) Vegetación sumergente: Potamogetón (Potamogeton sp.) de la familia Potamogetón y Chara (Chara sp.) de la familia Characeae.

El pino, el encino y el liquidámbar es la vegetación terrestre dominante en la cuenca, y la chispa o helecho la hierba dominante.

Dentro de la vegetación que se encuentra a orillas de la laguna sobre todo en áreas pantanosas, es abundante el carrizal, tifa, la cebolleta de agua y la navajuela, pero el dominante es el carrizal.

En el área donde se inicia el río Desague, hasta una distancia bastante grande en el recorrido del río, es abundante el lirio acuático, potamogetón, chara, y en menor cantidad viborana. Esta gran cantidad de vegetación en el río provoca que el agua del mismo circule muy lentamente.

En la laguna el alga chara es dominante como vegetación sumergente, y es la que está causando mayores problemas y se desarrolla con mayor rapidez. Se encuentra desde el extremo este, hasta la garganta, atravesando toda la orilla norte. También se encuentra aunque en menor cantidad en la orilla sur.

En el lado oeste de la laguna y a orillas de la misma, se encuentra en forma abundante el lirio acuático y también chara.

Los posibles pasos generales en el proceso de sucesión ecológica en las primeras etapas creemos que son los siguientes: 1) Diferentes bacterias y algas microscópicas (fitoplancton); 2) Chara y potamogeton, 3) Cyperus, 4) Cebolleta de agua, 5) Carrizal, navajuela y tifa, 6) Viborana.

5. Contaminación.

Se determinó que las aguas negras de la villa y los desechos industriales de la fábrica de calzado Cobán son lanzados al río Chijuljé y luego transportados hacia la laguna.

La fábrica de calzado Cobán se encuentra localizada a una distancia aproximada de 1600 metros de la laguna, calculada respecto al recorrido del río Chijuljé. En relación a el proceso de fabricación de calzado en la fábrica, se tuvo oportunidad de conocer un dictamen hecho por el Inspector de Saneamiento Ambiental, Profesor Carlos H. Ponce Flores, en el año de 1975 y con número de providencia 332. En dicho dictamen se dice lo siguiente:

"I. En el departamento de curtición se encuentran instaladas varias máquinas que efectúan el siguiente proceso:

1. Dos bombas o pipas para el pelambre que funcionan alternativamente teniendo una capacidad de 75 a 100 quintales de cueros y 162 galones de agua, con un proceso de 16 a 20 horas, utilizando cal hidratada y sulfuro de sodio. Al efectuarse las descargas de este proceso que caen directamente a la quebrada Chijuljé es cuando se producen los olores fétidos, inundando de este mal olor a todas las viviendas por donde atraviesa dicha quebrada, y finalmente desembocan en la laguna.
2. Don bombas o pipas para suelos, utilizando para este proceso extragto de quebracho; aquí también sus aguas servidas desembocan al mismo lugar.
3. Tres bombas o pipas para curtir, utilizando para tal proceso sales de cromo (que en el comercio se llama Cromo-Sal).
4. Dos máquinas para dividir piel.
5. Dos máquinas para descarnar, sus residuos son sólidos.
6. Una máquina para exprimir pieles, saliendo de este proceso agua en abundancia, que es conducida en buena forma hacia el mismo riachuelo o quebrada.

II. En el departamento de recurtisión se encuentran instaladas otras máquinas y todo su proceso lo efectúan en seco, por lo que se considera innecesario contemplarlas en el plano, a excepción de:

7. Dos máquinas de teñido de cuero, utilizando para este proceso únicamente añilina, de este proceso salen en abundancia desperdicios líquidos que desembocan al mismo lugar.
8. En este mismo departamento se encuentra instalado el servicio sanitario con (3) tres inodoros, un orinal y una ducha para (30) treinta empleados que laboran en la tenería".

Respecto al tipo de sal de cromo utilizada en el proceso, Rogers (12) dice que la sal utilizada para curtir cueros es el dicromato de sodio ($\text{Cr}_2\text{O}_7\text{Na}_2$). No se pudo conocer si éste es el tipo de sal usado por la fábrica, pero si fuera éste, se podría estar causando un grave problema en el medio acuático, y específicamente en los peces, debido al efecto acumulativo del cromo. Además hay que recordar que en el dicromato de sodio, el cromo actúa como hexavalente, o sea del tipo de cromo tóxico.

En el mismo expediente citado, se dice además:

"Se hace mención que los vecinos del municipio de San Cristóbal V., no utilizan el agua de la quebrada para consumo, ni para el lavado de ropa; en el trayecto del riachuelo o quebrada por el área urbana, la mayoría de los habitantes lanzan sus aguas servidas; así como también un sector de la población incluyendo municipalidad, mercado, iglesia y escuelas, sus cloacas van a desembocar a la laguna".

De acuerdo a esto, y también como se pudo observar, además de que lanzan aguas negras y desechos a el río, en algunas ocasiones también se lanzan directamente a la laguna, por lo que sería difícil localizar en la laguna puntos definidos de contaminación.

6. Análisis Físico-Químicos.

Los resultados de los análisis físico-químicos realizados por el Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrometría, (INSIVUMEH) y el Laboratorio de Suelos de DIGERENARE, se presentan en los cuadros 1, 2, 3, 4, 5 y 6, y en las gráficas del 2 al 17.

Los resultados de los análisis en el río Chijuljé, se separan por la mañana y por la tarde, debido a que se encontraron variaciones de los resultados en dichos períodos. Así mismo los resultados de los análisis en la laguna, se separan en muestreo superficial y en muestreo a profundidad, debido también a que se encontraron variaciones.

Es necesario mencionar que los resultados de los análisis que se presentan, no son definitivos, debido a que el período en el que se tomaron y analizaron las muestras es relativamente corto. Por lo tanto, los datos que se discuten a continuación, son válidos solamente para el período estudiado. Sin embargo, para fines de este estudio son de utilidad para apoyar la hipótesis planteada.

6.1 Río Chijuljé.

Al analizar los resultados de los análisis en el río Chijuljé, notamos que existe una gran diferencia en las concentraciones de los diferentes parámetros analizados, en la mañana y en la tarde. Esto creemos que se explica por el hecho de que es en la mañana cuando la fábrica descarga sus desechos. Así se observa que por la mañana las gráficas muestran una gran variación; en cambio por la tarde muestran una relativa estabilidad.

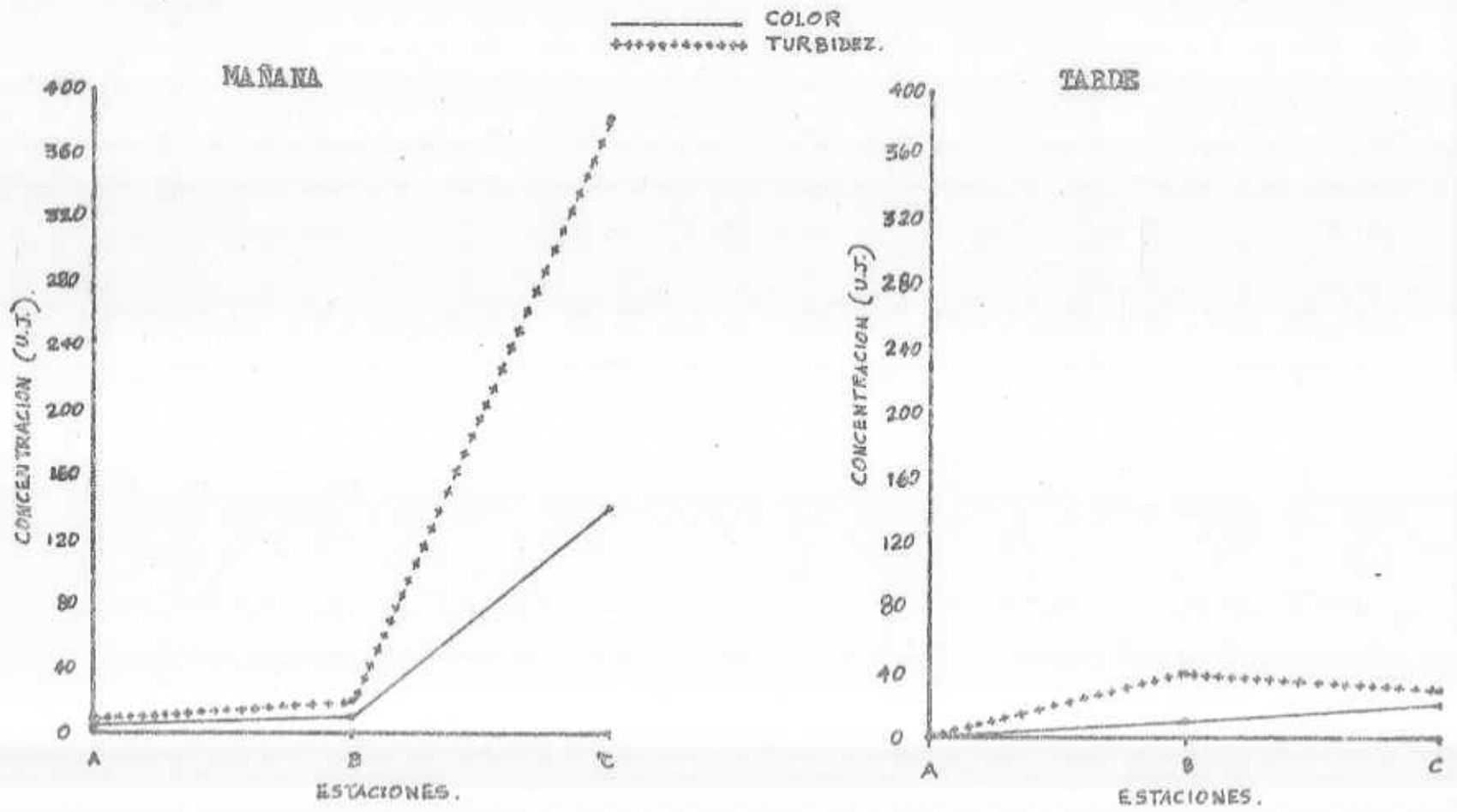
También las gráficas muestran que es a partir de la estación "C" (después de pasar el río por la fábrica) donde se produce un incremento en la concentración de la mayoría de los parámetros analizados.

En las siguientes secciones se presentan y discuten los parámetros analizados en las diferentes zonas de muestreo.

a) Turbidez y Color.

En el caso de estos parámetros, se observa que por la mañana se produce un incremento en la concentración del color (gráfica No. 2), de 20 unidades Jackson (u.j.) antes de pasar por la fábrica, a 383 u.j., después de la fábrica; en el caso de la turbidez (gráfica No. 2) se produce también un incremento en su concentración de 10 u.j., a 140 u.j. Lo anterior muestra un incremento excesivo en dichas concentraciones, lo que indica el efecto contaminante producido por la fábrica. Por el contrario, en la tarde la gráfica muestra una relativa estabilidad.

GRAFICA No. 2
VARIACION EN LA CONCENTRACION DE
TURBIDEZ Y COLOR EN EL RIO
CHIJULIA



b) Oxígeno Disuelto y Anhidrido Carbónico.

En la gráfica No. 3, se observa que por la mañana se produce una reducción a "cero" en la concentración de ambas sustancias. Esto nos muestra un agotamiento total del oxígeno, lo que indica un alto grado de descomposición de material orgánico. Sin embargo no nos explicamos la reducción en la concentración de anhidrido carbónico, ya que se espera que al existir una disminución en la concentración del oxígeno, se produzca un aumento en la concentración de anhidrido carbónico.

Por la tarde se produce una gran variación en la concentración de ambas sustancias respecto a la mañana, permaneciendo estable la concentración de anhidrido carbónico a valores normales, y produciéndose una recuperación en la concentración del oxígeno.

Todo lo anterior nos parece que muestra también que la fábrica ejerce un efecto contaminante sobre el río.

c) Conductividad Eléctrica.

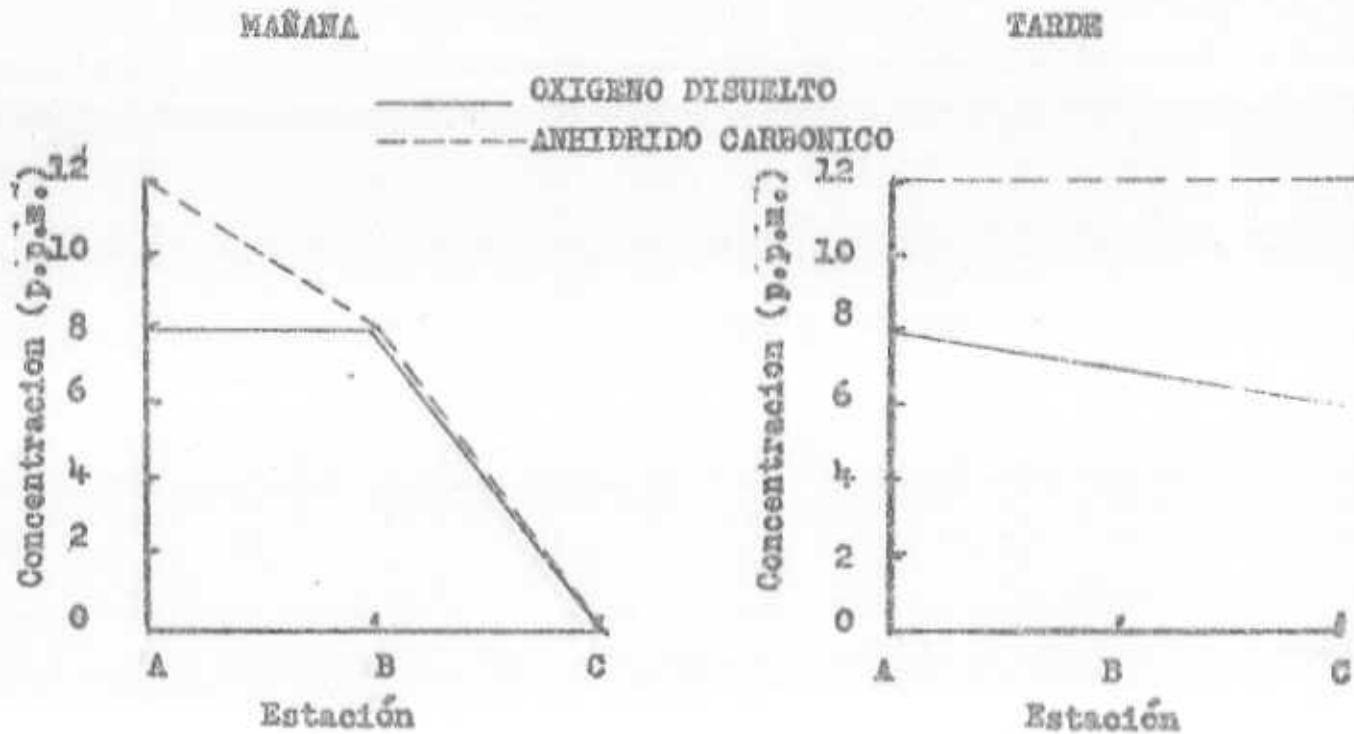
En este caso notamos también un incremento en su valor en la mañana, de 347 micromhos/cm antes de la fábrica, a 1166 micromhos/cm después de la fábrica (gráfica No. 4). Por el contrario, en la tarde, la variación es menos brusca, aunque siempre se observa un incremento en el valor de la conductividad eléctrica. Lo anterior indica, si se toma en cuenta que un incremento en la conductividad eléctrica corresponde a un incremento de la salinidad, que la fábrica por medio de sus desechos provoca un aumento en la concentración de sales en el río, entre las cuales se encuentran las de cromo y otras que se utilizarán en la fábrica.

d) Nutrientes.

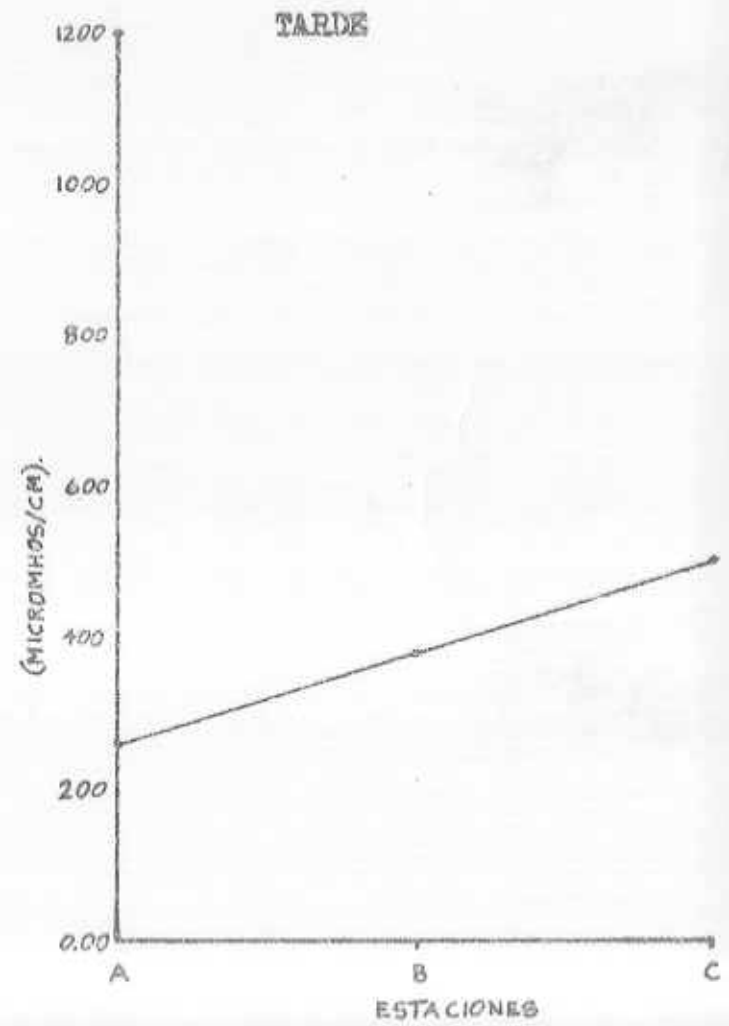
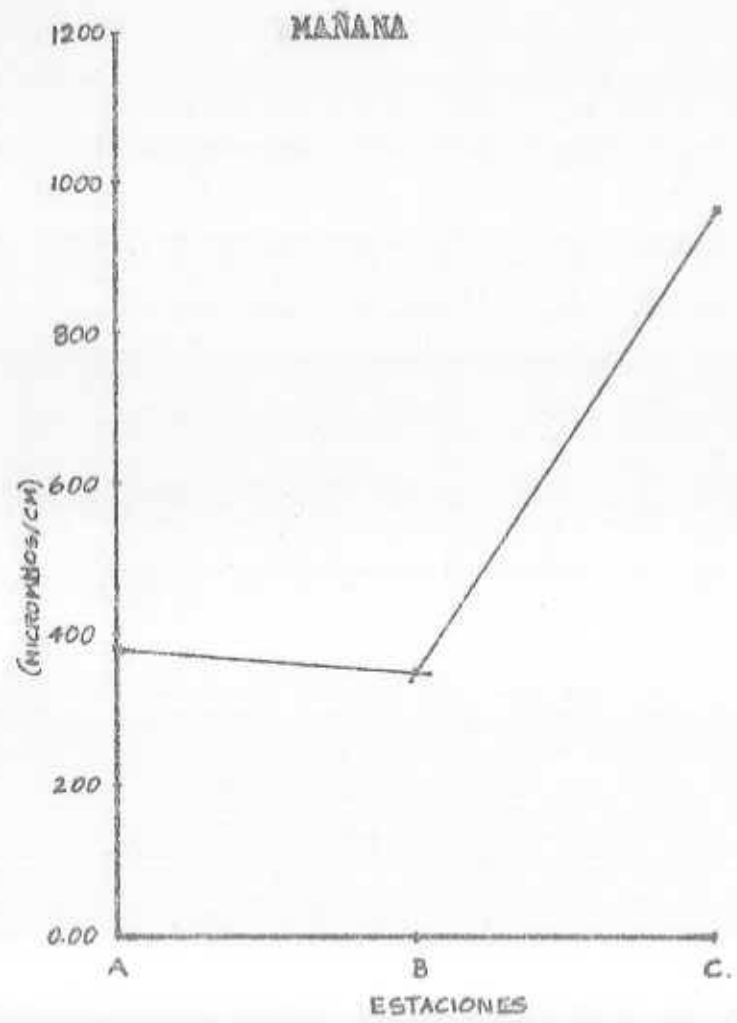
En la concentración de nitrógeno y fosfatos se observa también un incremento en su concentración por la mañana (gráfica No. 5). En el caso del nitrógeno, este incremento es altamente brusco, de 0.567 mg/l antes de la fábrica, a 12 mg/l después de la fábrica. Hay que agregar, que este dato -- corresponde a un solo muestreo, ya que en los otros dos que se hicieron, no se pudo realizar el análisis por el hecho de que la concentración era tan alta, que hubieran tenido que hacerse varias diluciones. Por el contrario,

GRAFICA No 3

VARIACION EN EL CONTENIDO DE OXIGENO DISUELTO
Y ANHIDRIDO CARBONICO POR ESTACION
EN EL RIO CHIJULJA

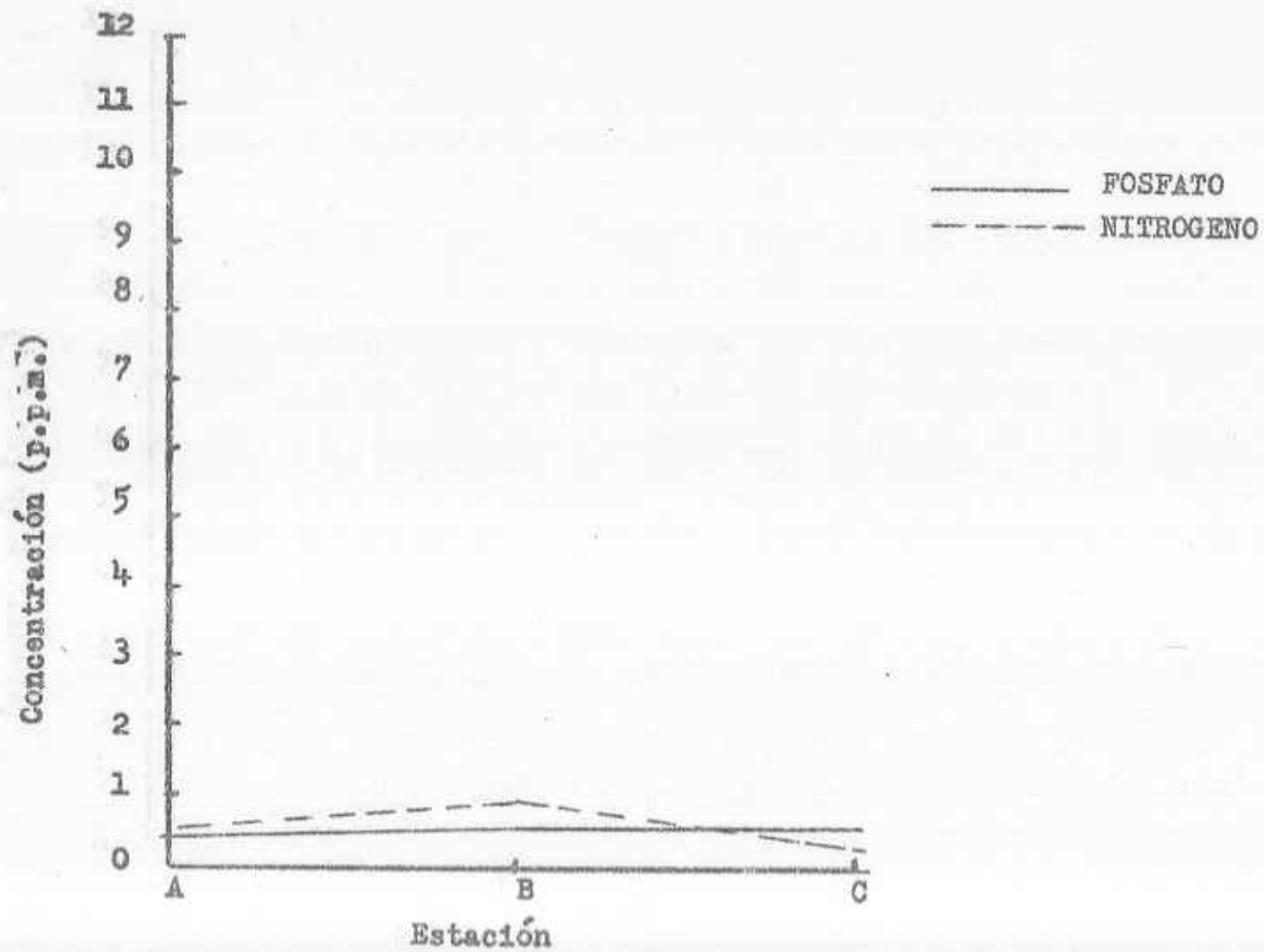


GRAFICA No. 4
VARIACION EN EL VALOR DE LA
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA EN EL
RIO CHILJULJA



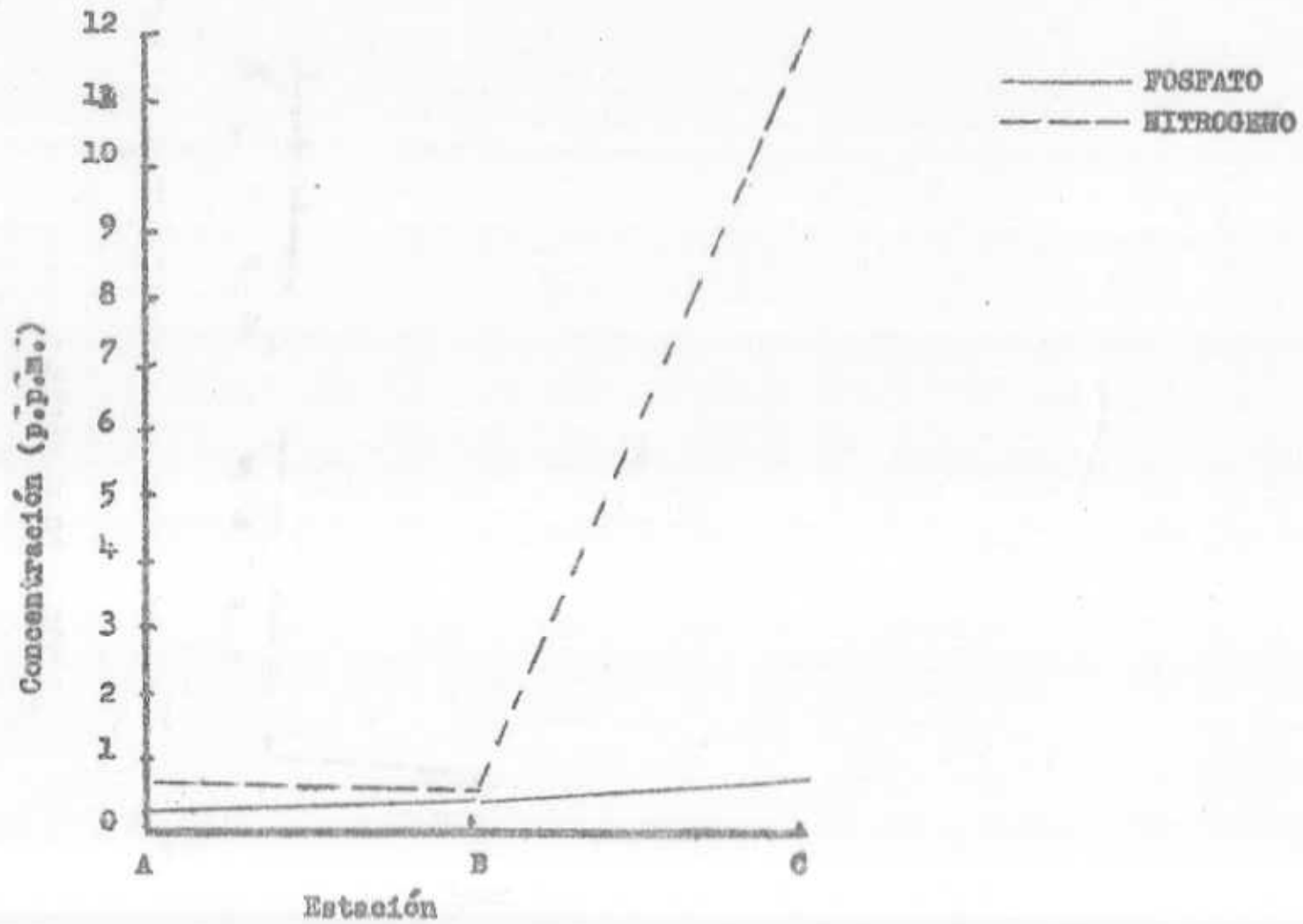
GRAFICA No 5

VARIACION CONTENIDO DE NUTRIENTES
POR LA TARDE EN EL RIO CHIJULJA



GRAFICA No 5a

VARIACION CONTENIDO DE NUTRIENTES
POR LA TARDE EN EL RIO CHIJULJA



en la tarde, la variación cambió notablemente, e incluso se produjo una dis-
minución en la concentración del nitrógeno, de el punto situado antes de -
la fábrica al situado después de la misma.

En el caso de los fosfatos también se nota un incremento en su concen-
tración por la mañana, aunque mucho menor que la del nitrógeno. La varia-
ción es de 0.490 mg/l a 0.799 mg/l: por el contrario, en la tarde, la con-
centración se mantuvo constante entre ambos puntos.

De acuerdo a lo expuesto, podemos observar que los desechos de la fá-
brica producen un gran incremento en la concentración de los nutrientes, -
principalmente de nitrógeno.

e) Cationes.

En relación a los cationes, (gráfica No. 6), se observó que en el perío-
do de la mañana el sodio muestra incremento de concentración del punto ante-
rior a la fábrica al punto posterior a la misma. Las concentraciones de -
calcio, potasio y magnesio, a diferencia del sodio, mostraron poca variación
entre ambos puntos.

La misma gráfica muestra que en el período de la tarde, la concentra-
ción de calcio, potasio y magnesio sigue permaneciendo con poca variación;
en el caso del sodio se produce también un incremento en su concentración a
la salida de la fábrica, aunque mucho menor que en la mañana.

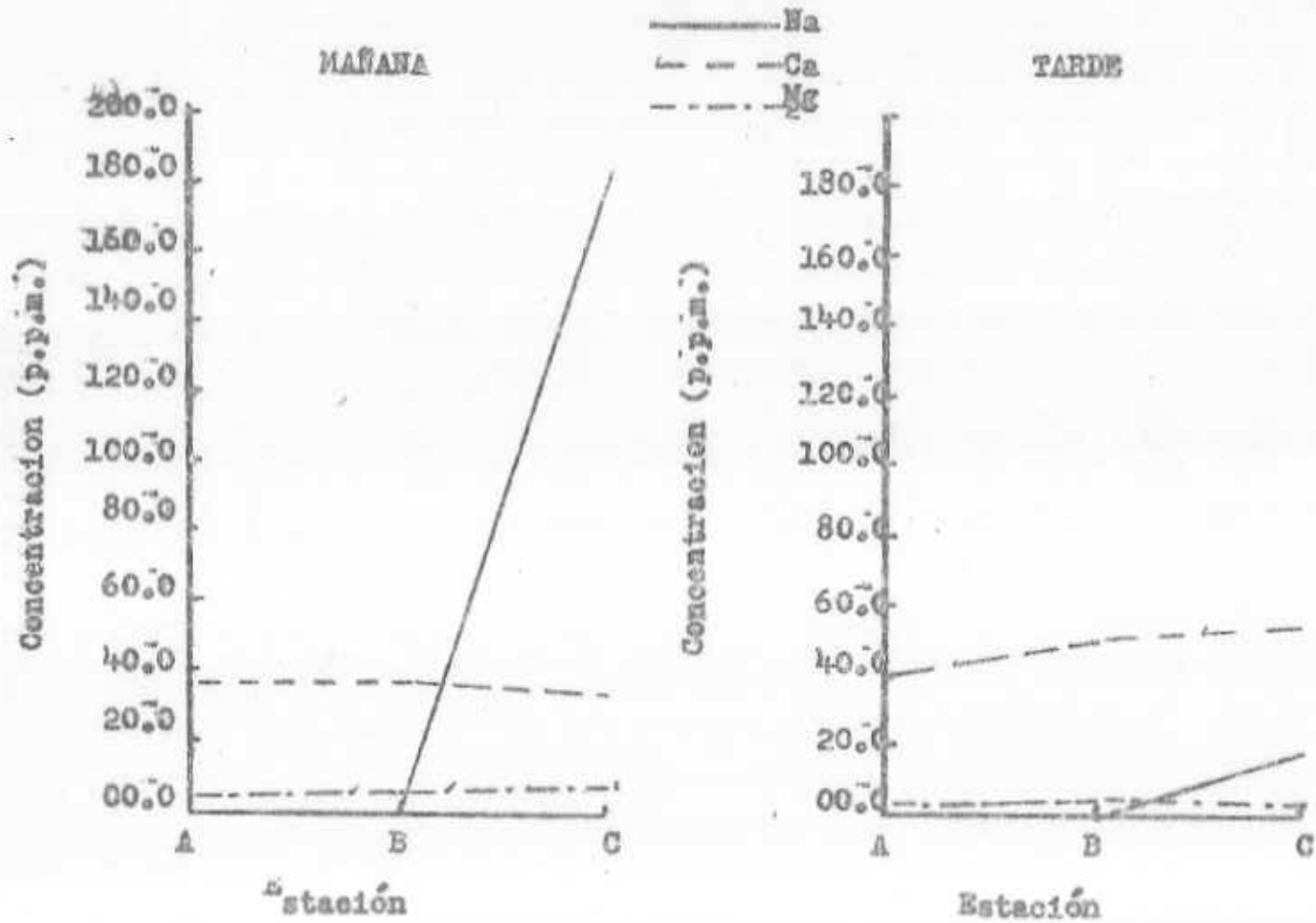
f) Aniones.

Los aniones también presentan variaciones en la concentración por la -
mañana y por la tarde (Figura No. 7). Así tenemos que por la mañana se pro-
duce un incremento brusco de cloruros; de 3.15 mg/l a 174.07 mg/l; el incre-
mento de los sulfatos es de 1.91 mg/l a 93.76 mg/l (dato de DIGERENARE). En
el caso de carbonatos y bicarbonatos no se observan variaciones en su con-
centración. El incremento en la concentración de cloruros y sulfatos, nos
parece que correlaciona con el incremento en la salinidad del río después -
de pasar por la fábrica.

Por la tarde la situación cambia en relación a cloruros y sulfatos, -
aunque en el caso de los primeros siempre se aprecia un incremento, pero me-
nor que por la mañana; en el caso de los sulfatos su concentración se redu-

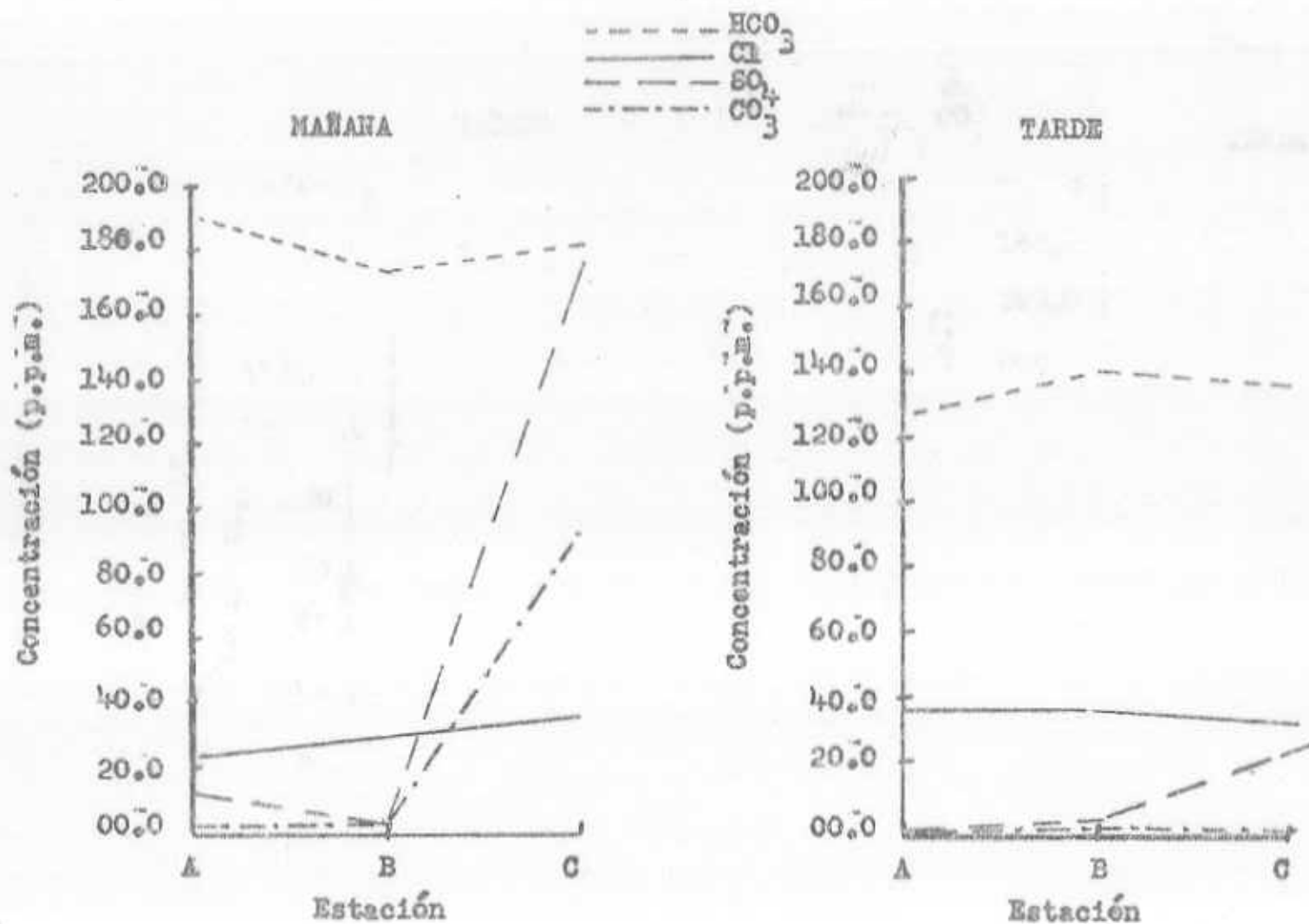
GRAFICA No 6

VARIACION POR ESTACION EN LA CONCENTRACION DE
CATIONES EN EL RIO CHIJULJA



GRAFICA No 7

VARIACION POR ESTACION EN LA
CONCENTRACION DE ANIONES EN EL RIO CHIJULJA



ce notablemente permaneciendo en forma estable.

El incremento de sulfatos en el río, lo atribuimos a la posible oxidación que sufre el sulfuro al ingresar al mismo.

g) Dureza.

La dureza debida al calcio y la dureza total (Cuadro No. 1) presenta poca variación en los períodos de la mañana y la tarde, e incluso antes y después de pasar el río por la fábrica.

6.2 Laguna Chichoj.

A manera de introducción queremos indicar que algunas de las concentraciones de los diferentes parámetros pueden ser mayores o iguales en el río que en la laguna. Sin embargo, hay que tomar en cuenta que en el caso de la laguna se trata de un gran volumen de agua relativamente estancada; por el contrario, en el río el volumen es menor y el agua circula. Además para que exista en la laguna una concentración similar o mayor, en relación al río, es necesario que exista en el primero, una fuente "extra", no natural, que aporte las sustancias que mantengan la concentración a esos niveles. De lo contrario, de no existir esa fuente extra, la concentración de las sustancias tendería a disminuir en la laguna, por estarse diluyendo constantemente.

6.2.1 Muestreo Superficial

a) Oxígeno Disuelto y Anhídrido Carbónico.

La concentración de oxígeno disuelto y anhídrido carbónico muestran diferencias según vemos en la gráfica No. 8. La concentración de oxígeno permanece casi constante alrededor de la media de 8.03 mg/l. Dicha concentración la podemos considerar normal, y es lógico que sea así, debido a que la superficie del agua está en contacto con la atmósfera, por lo que la provisión del gas no es problema. Por el contrario, la curva de concentración del anhídrido carbónico es más variable, pudiéndose apreciar que en la estación "J" su concentración es bastante mayor que el valor de la media -- (8.78 mg/l). Respecto a esto, si la concentración de anhídrido carbónico aumenta, debería esperarse una disminución en la concentración de oxígeno, lo cual podría mostrar que en esa zona existiera descomposición de material orgánico. Sin embargo, no podría esperarse que existiera descomposición en

CUADRO No. 1

PROMEDIOS DE RESULTADOS DE ANALISIS EN EL RIO CHIJULJA

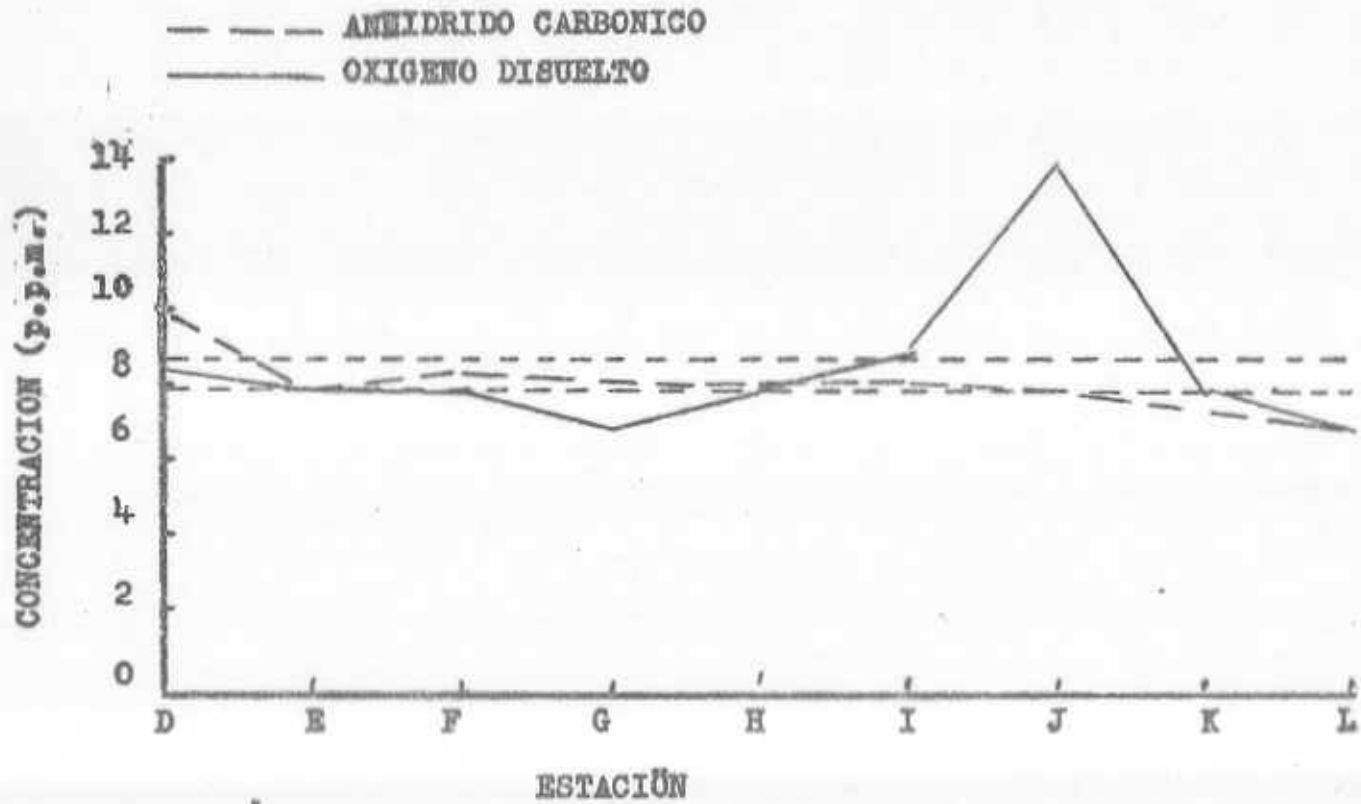
DATOS DE INSIVUMEN Y DIGEREMARE

EST.	TEMPERATURA °C		COND. ELEC. Microhm/cm		pH		OXIGENO DISUELTO p.p.m.	BIOXIDO DE CAR- BONO p.p.m.	TURBIDEZ U. J.	COLOR U. J.	DUREZA p.p.m.		ORTOFOS- FATOS p.p.m.	METAPOS- FATOS p.p.m.	TOTAL FOSFA- TOS p.p.m.	NITRA- TOS p.p.m.	NITRI- TOS p.p.m.	TOTAL NITRO- GENO p.p.m.	SULFATOS p.p.m.	
	AGUA	AMB.	CAMPO	LAB.	CAMPO	LAB.					CAI	TC- TAL								
MAÑANA																				
A	16.67	14.16	380	350	8.00	7.58	8.00	12.00	6.66	10.00	30	43	0.130	0.150	0.280	0.689	0.064	0.733	4.00	
B	16.50	16.67	347	356	8.00	7.86	8.00	8.33	10.00	20.00	22	37	0.105	0.385	0.490	0.523	0.044	0.567	3.00	
C	16.67	18.00	1166	1156	9.27	7.70	0.00	0.00	140.00	383.00	23	37	0.466	0.333	0.799	+	++	12.083	114.00	
TARDE																				
A	17.50	19.50	260	325	8.00	7.49	8.00	12.00	0.00	0.00	34	42	0.000	0.400	0.400	0.434	0.066	0.500	5.00	
B	18.00	19.50	380	360	7.80	7.81	7.00	12.00	10.00	40.00	34	38	0.100	0.500	0.600	0.967	0.033	1.000	6.00	
C	18.00	19.00	500	460	9.40	7.69	6.00	12.00	20.00	30.00	32	42	0.150	0.450	0.600	0.234	0.066	0.300	13.00	

(+) No pasó filtro en un muestreo
 (++) No pasó filtro en dos muestreos

GRAFICA No 8

VARIACION POR ESTACION EN LA CONCENTRACION
DE OXIGENO DISUELTO Y ANHIDRIDO CARBONICO
EN LA LAGUNA (MUESTREO SUPERFICIAL)



la superficie de la laguna. Pero en general, existe un equilibrio entre ambos gases para toda la laguna, si analizamos las medias de los mismos.

b) Nutrientes.

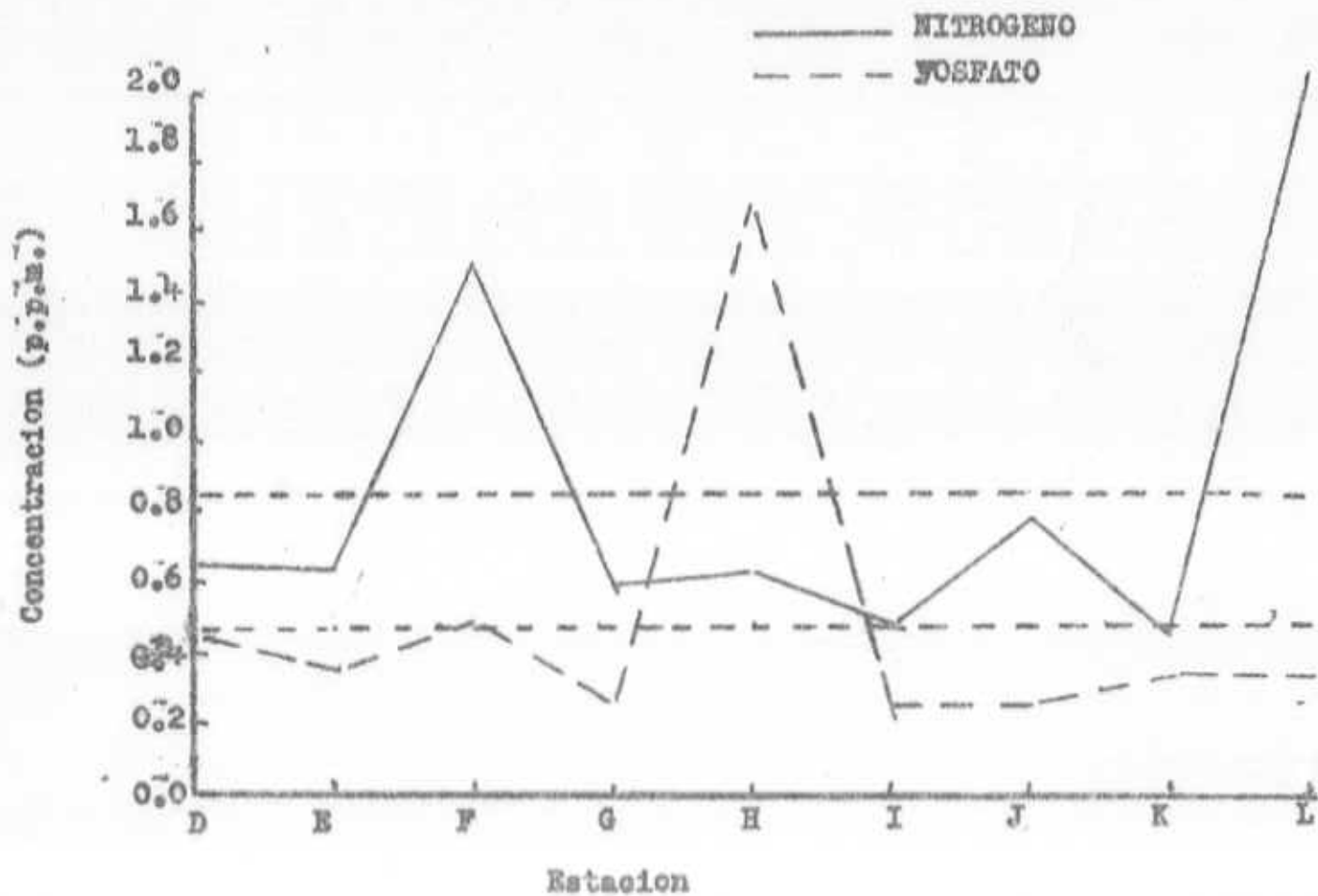
La gráfica de concentración de nutrientes (No. 9) muestra que ambas son bastante variables. Así tenemos que en el caso del nitrógeno, puede notarse una mayor concentración en la estación "F" (1.5 mg/l) y en la estación "L" (2.001 mg/l), las cuales superan al promedio de la laguna (0.850 mg/l). En relación a los fosfatos, su concentración presenta también variaciones (gráfica No. 9), aunque menos bruscas que las del nitrógeno, notándose que es en la estación "H" donde se encuentra la mayor concentración de fosfatos, con un valor de 1.67 mg/l., el cual supera en exceso a el promedio de la laguna (0.48 mg/l).

Las concentraciones de nutrientes son bastante elevadas y superan a los parámetros limitativos sugeridos por Sawyer, citado por Tabarini (17) y los establecidos por Federal Water Pollution Control Administration (21). Sawyer sugiere un valor limitativo de 0.015 mg/l, de fosfato inorgánico, y en nuestro caso tuvimos un valor medio de 0.48 mg/l de fosfatos que corresponde a 0.15 mg/l de fósforo inorgánico; esto supera al valor sugerido por Sawyer. Si nos basamos en el parámetro establecido por Federal Water Pollution Control Administration que es de 50 ~~mg~~ mg/l (0.05 mg/l) vemos que también dicho valor es superado por el encontrado en la laguna.

Respecto al nitrógeno, y adoptando el criterio sugerido por Sawyer, el cual da un valor de 0.30 mg/l de nitrógeno total como nivel crítico para la eutroficación, encontramos que también dicho valor es superado por el promedio encontrado en la laguna, que es de 0.850 mg/l (sin tomar en cuenta el amoníaco que no fue determinado).

Lo anterior indica que las concentraciones de fosfatos y nitrógeno son bastante altas, y que por lo tanto están ocasionando un crecimiento y floración excesivos de la vegetación acuática, lo cual es evidente a simple vista en la laguna. De manera que las altas concentraciones de fosfatos y nitrógeno constituyen la causa de la aceleración del proceso de sucesión ecológica que se observa actualmente en la laguna.

GRAFICA No 9
VARIACION POR ESTACION EN LA
CONCENTRACION DE NUTRIENTES EN LA
LAGUNA (MUESTREO SUPERFICIAL)



c) Cationes.

La gráfica No. 10 muestra que la concentración de cationes no presenta variación apreciable, a excepción del calcio. Además, la concentración de calcio es más alta en la estación "E" y más baja en las estaciones "K" y "L".

A nuestro juicio la concentración de calcio en la laguna podría ser más alta que la reportada. Ello se sugiere ya que pudo observarse en el alga potamogetón la apariencia blanqueca y arenosa sobre su superficie, lo cual de acuerdo a Odum (9) es producto de la precipitación del carbonato de calcio por efecto de la subtracción de anhídrido carbónico debido a la fotosíntesis, fenómeno que sucede en lagos de aguas duras que contienen grandes cantidades de calcio. Sin embargo, en nuestro caso el agua de la zona en estudio no es dura, sino más bien blanda. Pese a lo anterior, es significativo el fenómeno de la apariencia blanqueca y arenosa en el alga mencionada, el cual se observó con mayor intensidad en el área donde se localizan las estaciones "K" y "L", donde coincidentemente la concentración de calcio disminuye (gráfica No. 10). Por otro lado se podría explicar la no coincidencia entre la dureza del agua y la concentración de calcio, analizando que por efecto de una alta actividad fotosintética (lo cual sucede en la laguna), se está produciendo una gran subtracción de anhídrido carbónico que provoca a su vez una rápida precipitación del carbonato de calcio.

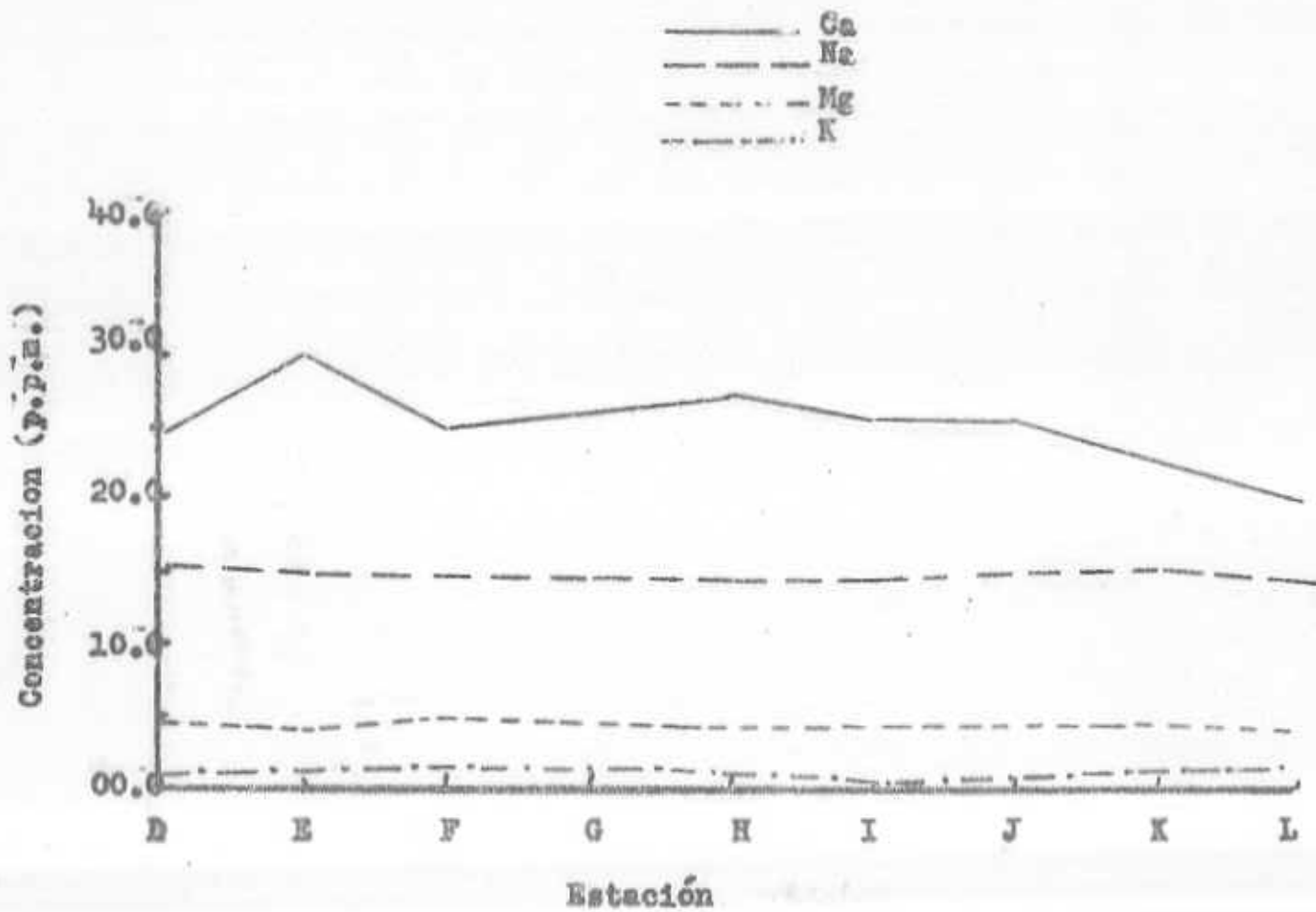
Siempre en relación al calcio, se puede notar que la concentración de dicho catión varía por la mañana y por la tarde, según se muestra en la figura No. 11. Esto podría deberse a que es en la mañana cuando la fábrica de calzado realiza sus descargas de desechos. Al respecto, hay que recordar que en el proceso de fabricación del calzado Cobán, se usa cal hidratada.

d) Aniones.

Con respecto a la concentración de aniones (gráfica No. 12) se observa que las más altas son las de carbonatos y bicarbonatos, y que a la vez ésta última es la más variable. Así observamos que en las estaciones "E", "F" y "G" las concentraciones de bicarbonatos superan a el valor medio, y que en las estaciones "I", "J", "K" y "L" se produce una reducción progresiva en la concentración.

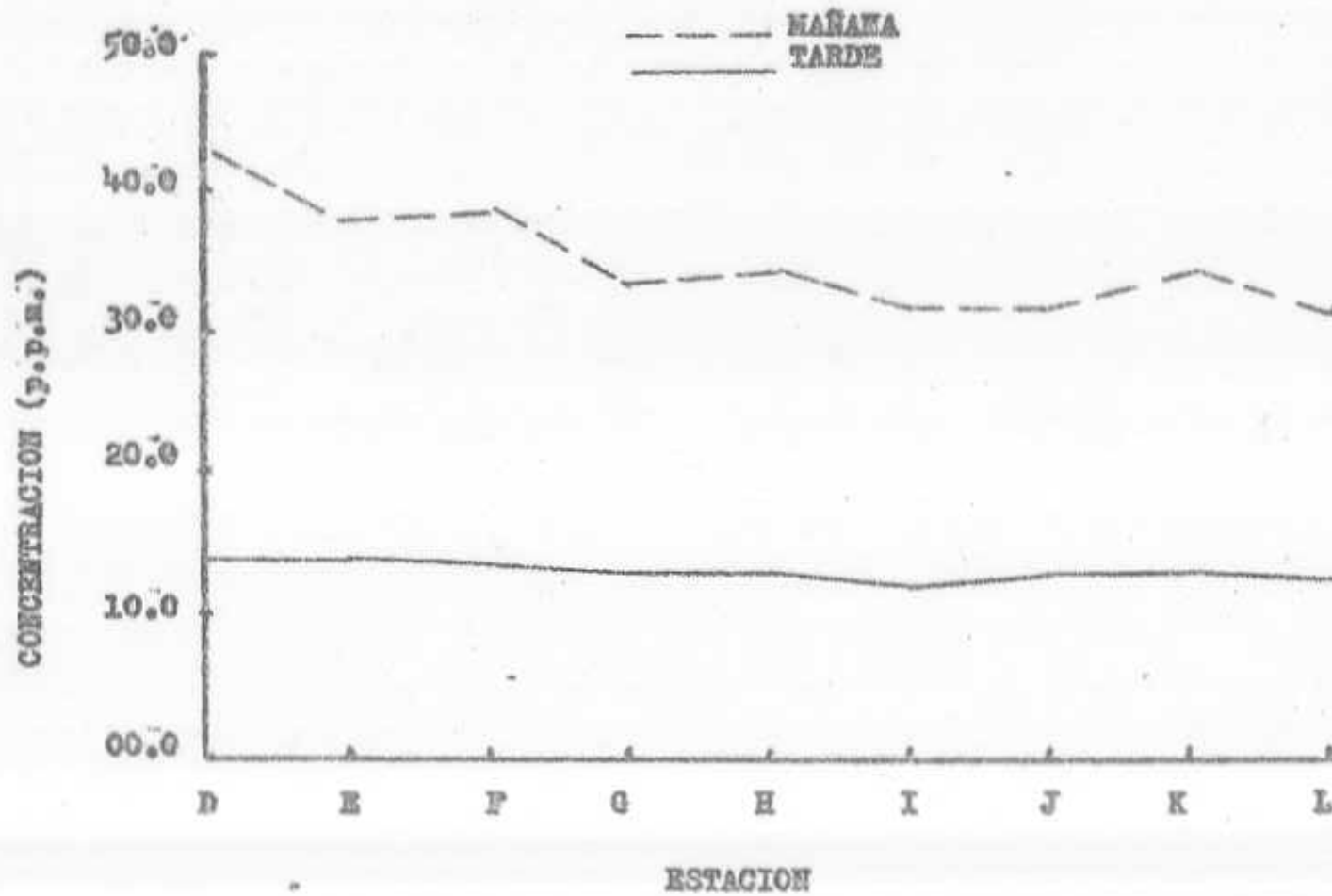
GRAFICA No 10

VARIACION POR ESTACION EN LA
CONCENTRACION DE CATIONES EN
LA LAGUNA (MUESTREO SUPERFICIAL)



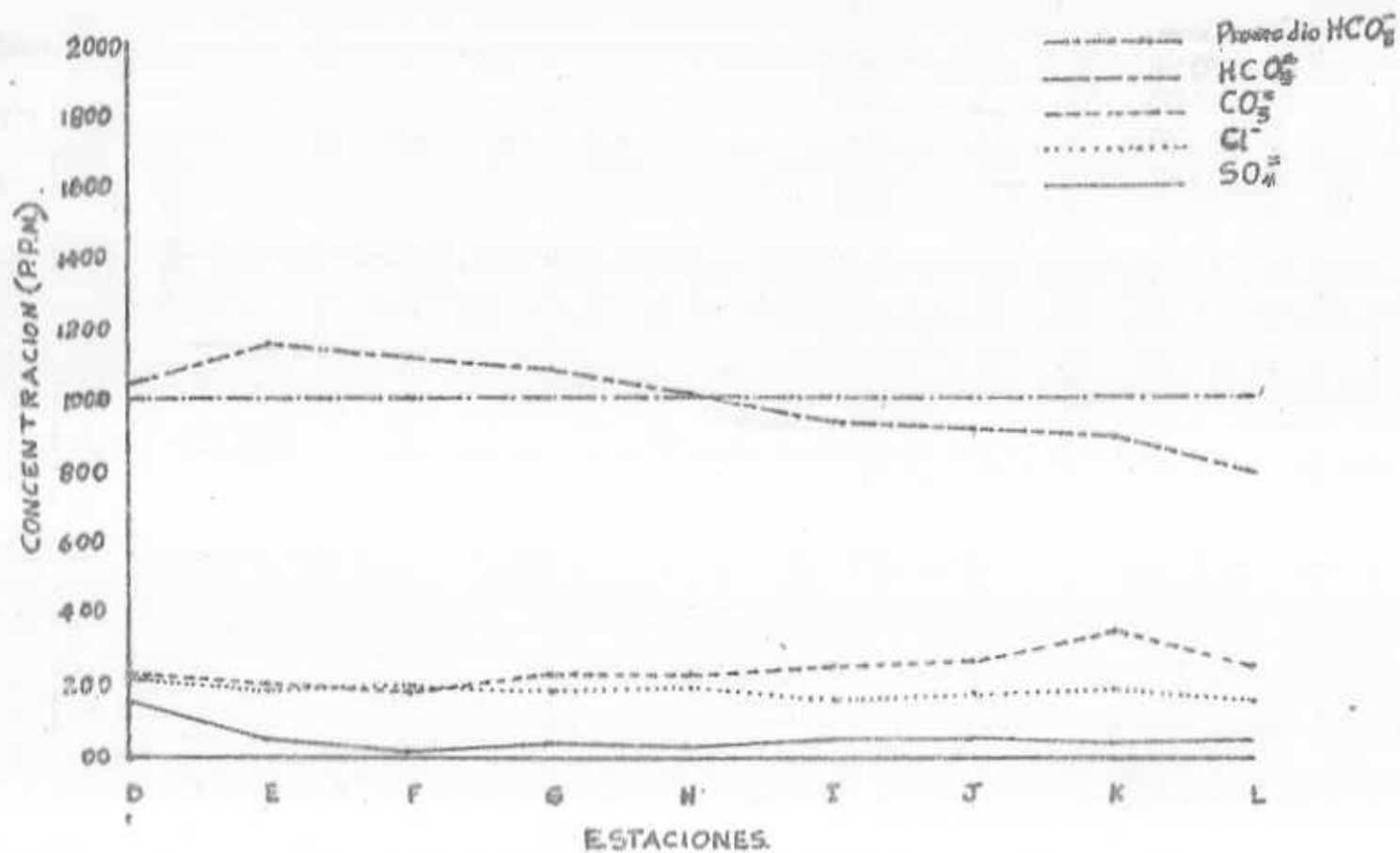
GRAFICA No 11

VARIACION EN LA CONCENTRACION DE CALCIO
POR LA MAÑANA Y POR LA TARDE EN LA LAGUNA
(MUESTREO SUPERFICIAL)

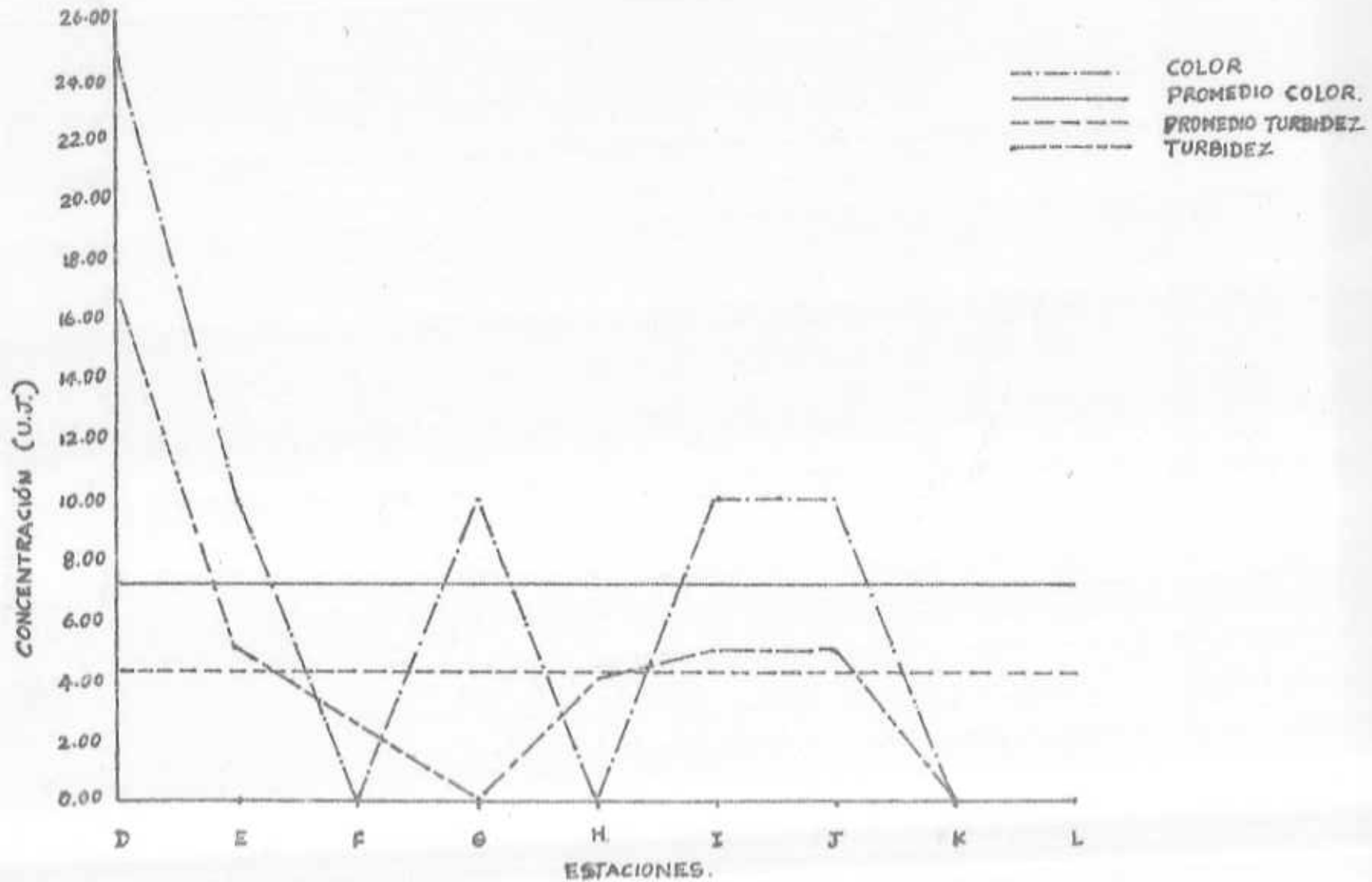


GRAFICA No. 12

VARIACION POR ESTACION EN LA
CONCENTRACION DE ANIONES EN
LA LAGUNA (MUESTREO SUPERFICIAL)



GRAFICA No. 13
 VARIACION EN LA TURBIDEZ Y COLOR
 POR ESTACION EN LA LAGUNA
 (MUESTREO A PROFUNDIDAD)



La presencia de los iones carbonatos y bicarbonatos como ya se mencionó anteriormente, constituye una fuente de reserva de anhídrido carbónico, y además tiene relación con el pH. Al analizar esto último cabría esperar que la cantidad de carbonatos fuera mayor que la de bicarbonatos debido al pH (7.99) alcalino (cuadro No. 2). Sin embargo, si aceptamos que se está produciendo una alta precipitación del carbonato de calcio por efecto de la fuerte actividad fotosintética, nos explicaríamos el porque de la menor cantidad de carbonatos. Por otro lado, el valor del pH no es tan alcalino como para que no se pudiera producir una posible "convivencia" entre carbonatos y bicarbonatos. En todo caso, interesa saber que existe una fuente adicional de anhídrido carbónico, lo cual indica que existe a la vez una cantidad adicional de sustrato para el proceso fotosintético.

e) Conductividad Eléctrica.

Esta no presenta muchas variaciones (cuadro No. 2). En base a el valor de la misma, se estima que el agua es moderadamente salina.

f) Temperatura.

La temperatura superficial promedio es de 22.02°C, la cual se considera como adecuada para la piscicultura, según Bard y otros (3).

g) Turbidez y Color.

Respecto a estos parámetros (cuadro No. 2), no se calculó un valor promedio para la laguna debido a que en la mayoría de estaciones no se presentaron concentraciones de los mismos. Sin embargo hay que hacer notar que en las estaciones donde existe turbidez, esos valores no rebasan la concentración máxima aceptable (5 u.j.) establecida para el agua potable. Por el contrario, en las estaciones donde se detectó color, se observa que entre éstas, la "D", "G", "H" e "I", (desde la desembocadura del río hasta la salida de la garganta en el lado este), muestran valores que están en la concentración máxima aceptable (5 u.j.).

h) Transparencia.

Este parámetro muestra un valor promedio de 3.39 metros (cuadro No. 2) y solamente en la estación "D" se observa una disminución considerable en

CUADRO No. 2

PROMEDIO DE RESULTADOS DE ANALISIS EN LA LAGUNA CHICHGJ

DATOS DE INSIVUMH Y DIGEREMARE

(Muestreo Superficial)

EST.	TEMPERATURAS °C		COND. ELEC. Microhm/cm		pH		OXIGENO DISUELTO p.p.m.	DIOXIDO DE CAR- BONO p.p.m.	TURBIDEZ U. J.	COLOR U. J.	DUREZA p.p.m.		ORTOFOS- FATOS p.p.m.	META-FOS- FATOS p.p.m.	TOTAL FOSFA- TOS p.p.m.	NITRA- TOS p.p.m.	NITRI- TOS p.p.m.	TOTAL NITRO- GENO p.p.m.	SULFA- TOS p.p.m.	TRANSPA- RENCIA DISCO SECCHI Mts.
	AGUA	AIRE	CAMPO	LAB.	CAMPO	LAB.					C.L.	TOTAL								
D	22.00	20.88	313	314	8.20	7.83	8.50	10.00	2.50	5.00	21	34	0.05	0.40	0.45	0.617	0.033	0.650	7.50	1.21
E	22.25	21.33	317	312	8.05	7.93	8.00	8.00	2.50	0.00	21	31	0.08	0.27	0.35	0.593	0.033	0.626	6.25	3.33
F	22.25	21.33	313	314	7.60	7.95	8.50	8.00	2.50	3.50	21	31	0.06	0.35	0.41	1.467	0.033	1.500	18.00	3.32
G	22.00	21.28	309	308	7.98	7.88	8.25	7.00	0.00	8.75	21	30	0.07	0.18	0.25	0.526	0.050	0.576	6.00	3.26
H	22.00	21.28	312	300	8.15	7.92	8.25	8.00	2.25	5.00	19	30	0.58	1.09	1.67	0.568	0.058	0.626	6.75	3.65
I	22.25	21.38	309	294	8.03	7.87	8.25	9.00	3.75	5.00	20	29	0.09	0.17	0.26	0.451	0.025	0.476	7.25	3.91
J	22.13	21.50	293	296	8.05	7.97	8.00	14.00	0.00	0.00	20	30	0.07	0.19	0.26	0.726	0.050	0.776	5.00	3.51
K	21.63	21.75	288	300	7.95	7.93	7.50	8.00	0.00	0.00	19	29	0.10	0.23	0.33	0.417	0.033	0.450	9.00	3.73
L	21.70	21.88	273	273	7.90	7.93	7.00	7.00	0.00	0.00	16	26	0.12	0.20	0.32	1.959	0.042	2.001	12.25	3.86
PROME- DIO	22.02	21.40	303	301	7.99	7.91	8.03	8.78			20	30	0.14	0.34	0.48	0.81	0.040	0.850	8.66	3.39

dicho valor (1,91 metros). En base a lo anterior, podemos decir que la zona limnética en la laguna se encuentra a una profundidad de 3.39 metros.

6.2.2. Muestreo a Profundidad.

a) Turbidez y Color

La gráfica No. 13 nos muestra una gran variación en la concentración de turbidez y color. El valor máximo de turbidez (17.50 u.j.) se localiza en la estación "D", lo cual es lógico ya que dicha estación está ubicada cerca de la entrada del río a la laguna. Además, en las estaciones "E", "I" y "J" también existe turbidez (5 u.j.). Todos estos valores son iguales o superan a la concentración máxima aceptable para agua potable. Por otro lado, el promedio de turbidez (4.33 u.j.) se encuentra muy cerca a la concentración máxima aceptable.

En relación a el color, éste tiene un valor máximo de 25 u.j., en la estación "D", lo cual se explica del mismo modo como se explicó lo relativo a la turbidez en esta estación. Además en las estaciones "E", "G", "I" y "J", existe también color con un valor de 10 u.j. Todos los valores de color encontrados, superan a la concentración máxima aceptable para agua potable.

En general se comprueba que en las estaciones donde existe turbidez - existe también color; creemos que ello se debe a materiales provenientes de los desagües y desechos de la Villa y de la fábrica Cobán, lo que muestra - el efecto contaminante de las mismas.

Finalmente se observa que a profundidad existe mayor turbidez y color que en la superficie.

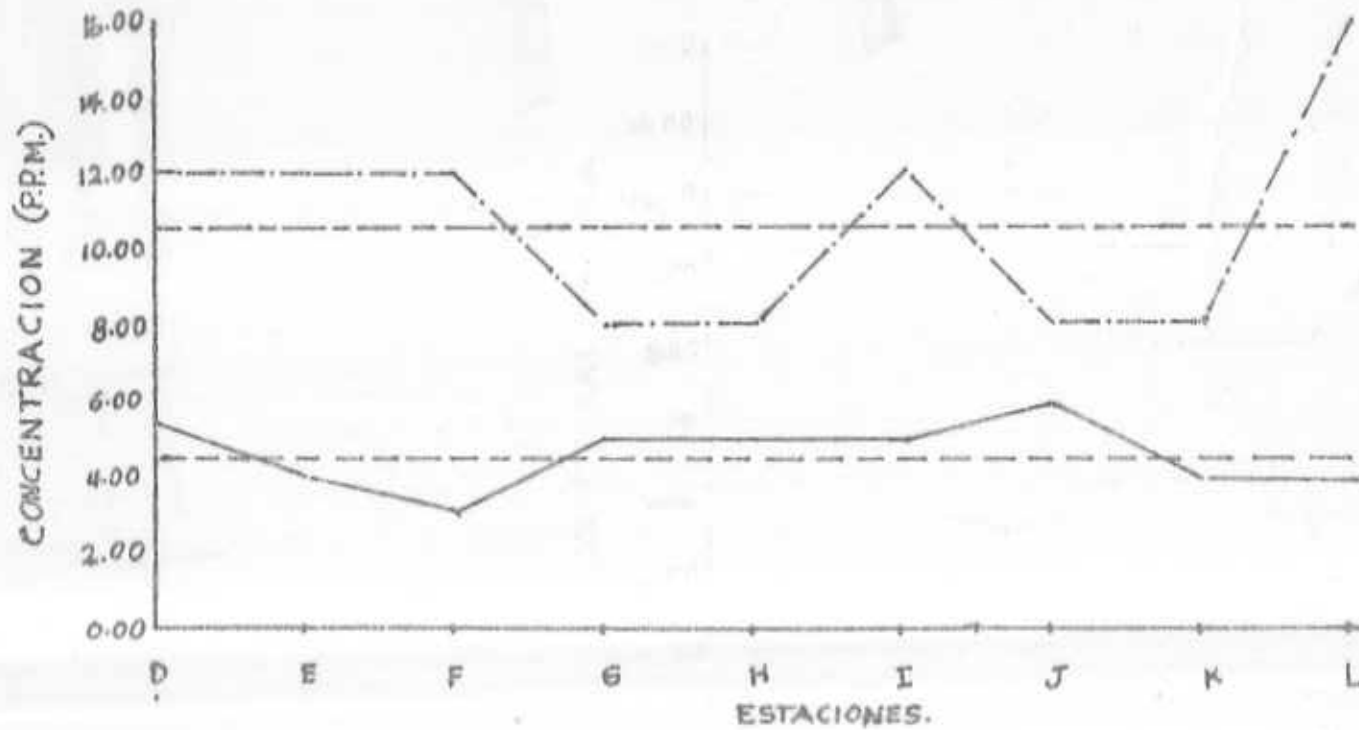
b) Oxígeno Disuelto y Anhídrido Carbónico.

Los resultados de los análisis de oxígeno disuelto y anhídrido carbónico se muestran en la gráfica No. 14, y se observa una gran variación respecto a los resultados encontrados superficialmente. Así tenemos que en el caso del oxígeno, su valor promedio bajó a 4.61 mg/l. Esta concentración se encuentra por debajo de la establecida por Federal Water Pollution Control Administration (21), que es de 5 mg/l, para mantener una población nativa -

GRAFICA No. 14

VARIACION POR ESTACION EN LA
CONCENTRACION DE OXIGENO DISUELTO
Y ANHIDRIDO CARBONICO EN LA LAGUNA
(MUESTREO A PROFUNDIDAD)

----- ANHIDRIDO CARBONICO.
----- PROMEDIO ANHIDRIDO CARBONICO.
----- PROMEDIO OXIGENO DISUELTO.
----- OXIGENO DISUELTO.



de peces y otras vidas acuáticas. Se observa también que en la estación "F" se encuentra la mínima concentración (3.00 mg/l), y que además en las estaciones "E", "K" y "L", también existen valores bajos en la concentración (4.00 mg/l). Por otro lado, solamente en las estaciones "D" y "J", la concentración supera en pequeña cantidad a el mínimo establecido.

En relación a el anhídrido carbónico, éste muestra un incremento en su concentración respecto a la concentración encontrada superficialmente. Por otro lado, también se produce un incremento en la concentración, respecto a la del oxígeno en esta zona profunda, tal como era de esperarse. Así tenemos que el promedio de concentración de oxígeno es 4.51 mg/l, contra -- 10.67 mg/l de anhídrido carbónico.

El máximo valor en la concentración de anhídrido carbónico se localiza en la estación "L" (16 mg/l) y es seguido por valores de 12 mg/l, en las estaciones "D", "E", "F" e "I".

El incremento en el valor de la concentración de anhídrido carbónico con respecto a la del oxígeno, probablemente se deba a un aumento en la respiración causado por un exceso de vegetación y a la descomposición de material orgánico (que produce CO_2) proveniente de los desagües. De acuerdo a esto podríamos decir que es en las estaciones "D", "E", "F" y "J" donde existe mayor descomposición de material orgánico y a la vez donde existe mayor intensidad en la respiración de las plantas.

Los valores de la concentración de anhídrido carbónico no llegan a ser tóxicos para los animales acuáticos, debido a que el exceso de producción del gas es usado en las plantas para la fotosíntesis. Esto a la vez se traduce en una mayor producción de estas mismas. Por otro lado, los niveles de oxígeno disuelto, abajo de lo recomendado por los expertos, sugiere que la población de peces y otros componentes de la fauna acuática estén decreciendo significativamente. Definitivamente, si el proceso continúa, el oxígeno disuelto tenderá a decrecer y por lo tanto ocurrirá lo mismo con la fauna acuática.

Finalmente, creemos que las concentraciones de oxígeno disuelto y anhídrido carbónico en esta zona, indican que existe contaminación y por lo tanto, un excesivo crecimiento de los organismos vegetales.

c) Nutrientes.

La gráfica No. 15 nos indica que las concentraciones de nutrientes son menores que las encontradas superficialmente (gráfica No. 9). La variación en la concentración de nitrógeno (sin incluir amoníaco) es poco variable en esta zona, y se observa que sólo en las estaciones "D" y "J" las concentraciones son menores que el valor promedio (0.598 mg/l) y que solo en la estación "L" se produce un valor por encima del promedio.

En relación a los fosfatos, la concentración es más variable que la del nitrógeno, observándose que en las estaciones "E", "C", "X" y "L" es donde se presentan valores máximos de concentración, y que en las estaciones "H", "I" y "J" se producen valores mínimos. El promedio de fosfatos para la laguna es de 0.37 mg/l.

Al analizar los promedios de concentraciones de nutrientes, observamos que éstas superan a los valores mínimos establecidos. Así tenemos que en el caso de los fosfatos 0.37 mg/l de fosfatos equivale a 0.12 mg/l de fósforo inorgánico, que supera a el valor sugerido por Sawyer que es de 0.015 mg/l. También el valor limitativo establecido por Federal Water Pollution Control Administration (21) que es de 0.05 mg/l de fosfato es superado.

En el caso del nitrógeno, sucede algo similar, ya que 0.598 mg/l supera al valor limitativo sugerido por Sawyer (0.30 mg/l).

Basados en lo dicho, creemos que las concentraciones de nutrientes son altas, y que esto está produciendo un excesivo crecimiento en el fitoplancton, y esto a su vez un mayor crecimiento de las algas chara y potamogeton en la escala de la sucesión ecológica, lo que al final se traduce en una aceleración del proceso indicado.

d) Cationes.

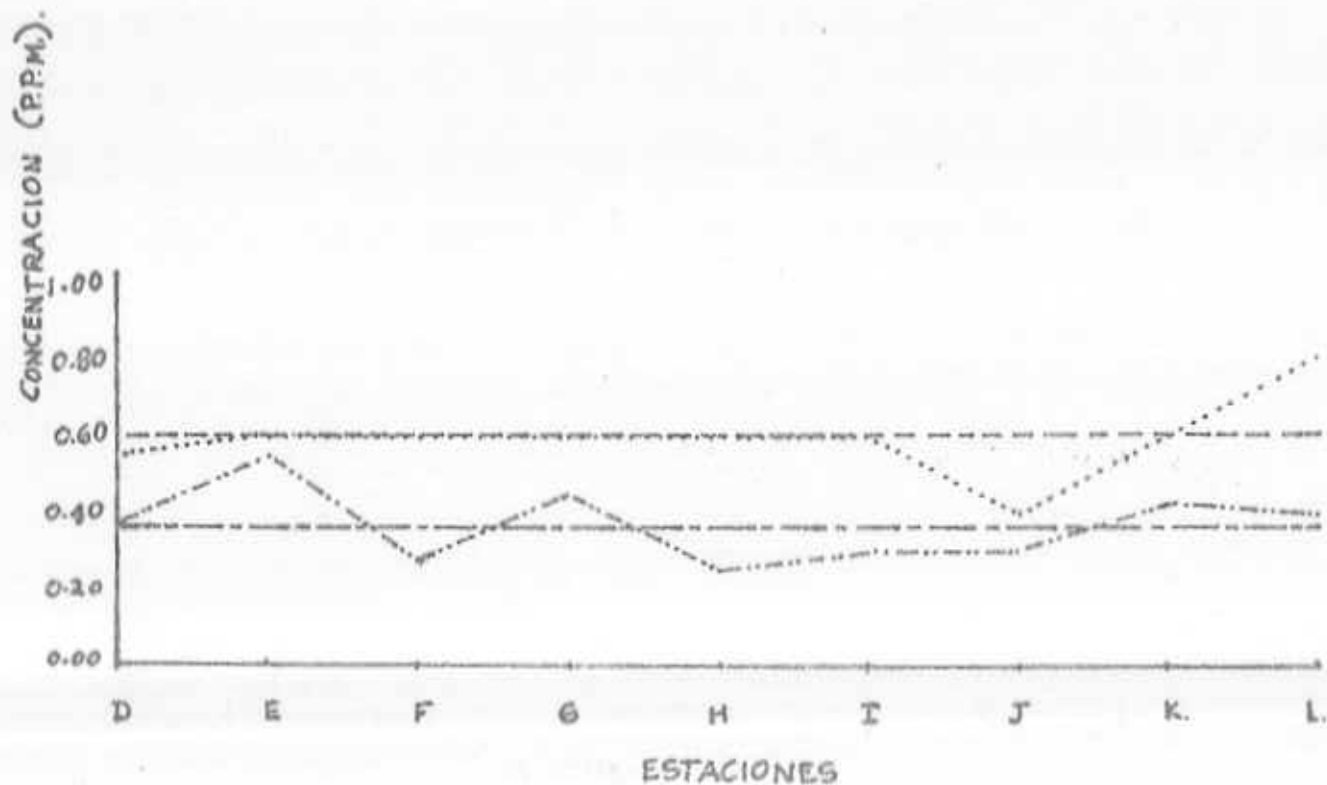
En relación a los cationes (gráfica No. 16) se observa que solamente las curvas del calcio y del sodio presentan variación, y que las del magnesio y potasio permanecen más o menos estables. Además se observa en las curvas del calcio y del sodio una tendencia general a disminuir en su concentración.

En el caso del calcio, creemos que también estaría produciéndose una

GRAFICA No. 15

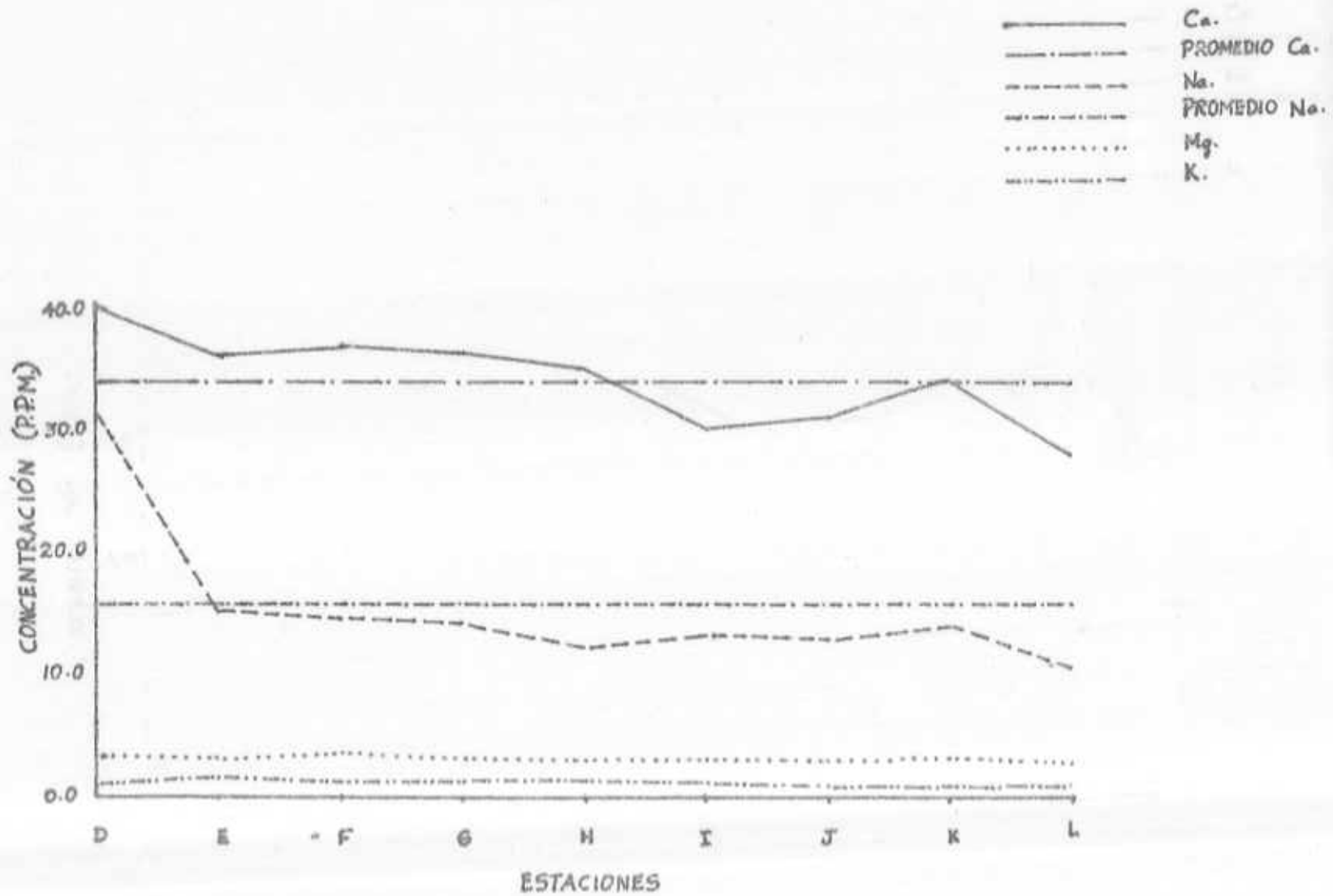
VARIACION POR ESTACION EN LA
CONCENTRACION DE NUTRIENTES EN LA LAGUNA
(MUESTREO A PROFUNDIDAD)

----- PROMEDIO NITRÓGENO
..... NITROGENO
..... FOSFATOS.
----- PROMEDIO FOSFATOS.



GRAFICA No. 16

VARIACION POR ESTACION EN LA
CONCENTRACION DE CATIONES EN LA LAGUNA
(MUESTREO A PROFUNDIDAD)



rápida precipitación del mismo debido a una alta actividad fotosintética - como ya se mencionó anteriormente. Esto a pesar de no ser el agua dura.

Finalmente también se observa en la gráfica de los cationes, que las - concentraciones de calcio y sodio son mayores en la estación "D", y esto es debido a que esta estación está ubicada cerca de la desembocadura del río a la laguna.

e) Aniones.

En la gráfica de los aniones (No. 17) se observa una variación aprecia - ble en los bicarbonatos, y además que la concentración de los mismos en general, tiende a disminuir progresivamente. Por otro lado, se observa que - la concentración de bicarbonatos es mayor que la de carbonatos, lo cual de - bería indicar que el pH fuera neutro. Sin embargo, tal como se dijo para el caso del muestreo superficial, el valor del pH (7.73) no es tan alcalino como para no permitir una "convivencia" entre ambos iones. Además hay que hacer notar como se dijo también para el caso del muestreo superficial, que estos aniones constituyen una fuente de reserva de anhídrido carbónico.

f) Conductividad Eléctrica.

Los valores de conductividad eléctrica se muestran en el cuadro No. 3 y se observa que no muestran mayores variaciones, a excepción de la esta - ción "D" donde el valor es máximo, debido a que esta estación está ubicada cerca de la desembocadura del río.

g) Temperatura.

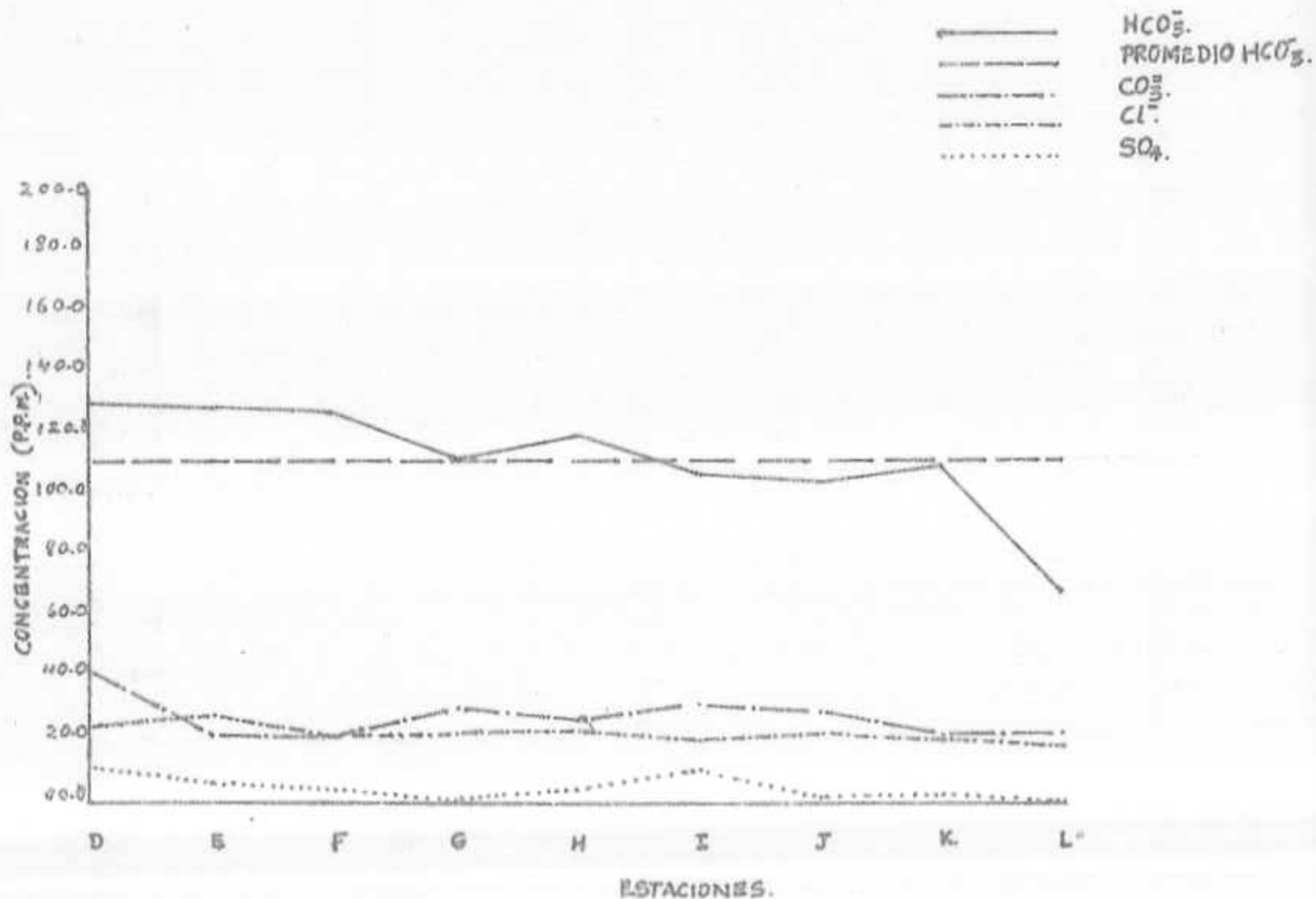
Esta se considera adecuada para la piscicultura, según lo establecido por Bard y otros (3) (cuadro No. 3).

h) pH.

De acuerdo a Federal Water Pollution Control Administration (21), el - pH (cuadro No. 3) se considera adecuado para fines de mantener una población nativa de pescado y otras vidas acuáticas. Así mismo también se considera adecuado para fines de recreación.

GRAFICA No. 17

VARIACION POR ESTACION EN LA
CONCENTRACION DE ANIONES EN LA LAGUNA
(MUESTREO A PROFUNDIDAD)



CUADRO No. 3

PROMEDIOS DE RESULTADOS DE ANALISIS EN LA LAGUNA CHICHOJ

DATOS DE INSIVUMEN Y DIGERENARE

(Muestreo a Profundidad)

EST.	TEMPERATURA °C		COND. ELEC. Microhm/cm		pH		OXIGENO DISUELTO p.p.m.	BICXIDO DE CAR- BONO p.p.m.	TURBIDEZ U. J.	COLOR U. J.	DUREZA		ORTOPOFOS FATOS p.p.m.	METAPOFOS FATOS p.p.m.	TOTAL POSFOS- FOS p.p.m.	NITRA- TOS p.p.m.	NITRI- TOS p.p.m.	TOTAL NITRO- GENO p.p.m.	SULFATOS p.p.m.
	AGUA	AIB.	CAMPO	LAB.	CAMPO	LAB.					CALITO-	TOTAL							
~	21.00	21.75	440	413	8.30	7.84	5.50	12.00	17.50	25.00	23	31	0.16	0.21	0.37	0.517	0.033	0.550	13.0
B	20.00	22.00	360	335	7.80	7.89	4.00	12.00	5.00	10.00	22	26	0.25	0.30	0.55	0.534	0.066	0.600	10.0
P	21.00	21.75	355	330	7.70	7.74	3.00	12.00	2.50	0.00	23	32	0.07	0.21	0.28	0.534	0.066	0.600	6.0
G	20.00	22.00	370	340	7.80	7.78	5.00	8.00	0.00	10.00	20	28	0.20	0.25	0.45	0.567	0.033	0.600	8.0
H	20.00	22.00	360	330	7.80	7.99	5.00	8.00	4.00	0.00	20	30	0.10	0.15	0.25	0.567	0.033	0.600	9.0
I	20.00	22.00	360	325	7.70	8.08	5.00	12.00	5.00	10.00	20	38	0.15	0.15	0.30	0.534	0.066	0.600	8.0
J	20.00	21.50	320	310	7.80	7.90	6.00	8.00	5.00	10.00	20	28	0.10	0.20	0.30	0.367	0.033	0.400	8.0
K	20.90	21.75	315	303	7.40	7.73	4.00	8.00	0.00	0.00	20	34	0.18	0.25	0.43	0.534	0.066	0.600	8.50
L	19.00	21.00	300	260	7.30	7.96	4.00	16.00	0.00	0.00	18	28	0.01	0.39	0.40	0.767	0.033	0.800	5.00
PRO- MEDIO	20.21	21.75	353	327	7.73	7.87	4.61	10.67	4.33	7.22	21	29	0.14	0.23	0.37	0.550	0.048	0.598	8.38

V. RESUMEN Y CONCLUSIONES

El estudio se realizó en la laguna Chichej, ubicada en el municipio de San Cristóbal Verapaz, en el departamento de Alta Verapaz, a solicitud de las autoridades municipales de la localidad. En dicha solicitud se manifestaba la preocupación de las autoridades, debido a que observaban que el área de la laguna se estaba reduciendo.

Como hipótesis del estudio se planteó que la laguna se encuentra contaminada, lo que provoca un enriquecimiento de nutrientes que tiende a acelerar el proceso de sucesión ecológica.

Como objetivo general del estudio se pretende conocer las condiciones ecológicas de la laguna a fin de determinar su manejo adecuado.

El trabajo se desarrolló en tres fases: de gabinete, de campo y de laboratorio.

En la fase de gabinete se elaboraron mapas de campo escala 1:10,000, se determinó el área de la cuenca de la laguna, vegetación, erosión, afluentes y puntos de muestreo preliminares.

En la fase de campo se determinaron las posibles fuentes de contaminación, se chequearon los puntos de muestreo de agua, se hizo la comprobación de la vegetación, erosión y afluentes, se recolectó vegetación acuática y terrestre, se determinaron las especies de peces existentes, se realizaron entrevistas para conocer el origen e historia de la laguna, se realizó el sondeo de la misma, se tomaron las muestras de agua en el río Chijuljé y en la laguna, y se realizaron los análisis físico químicos de los diferentes parámetros, por medio del equipo Hach. Se realizó además la medición del caudal de los ríos.

La fase de laboratorio consistió en la realización de diferentes análisis físico químicos por medio de los distintos métodos de laboratorio. Además se realizó la identificación de las plantas acuáticas y terrestres.

Como conclusiones del estudio se obtuvieron las siguientes:

1. Origen e historia de la laguna.

1.1 La mayoría de historias recogidas sobre la laguna coinciden en -

señalar que la laguna es de reciente formación y que su origen es por efecto de un terremoto. Esto nos parece cierto debido a que en el lugar se localizan algunas fallas geológicas.

1.2 Los habitantes del lugar han observado la invasión de plantas en la laguna y en distintas épocas han tratado de detener dicha invasión. Esto ecológicamente ha significado detener el proceso de sucesión.

2. Cuenca de la Laguna.

2.1 La laguna se encuentra en una hondonada, y su cuenca en su mayoría de conformación montañosa, tiene una extensión superficial aproximada de 2549 hectáreas.

2.2 Por la relación de su cubierta vegetal y el tipo de lluvia se determinó que existe poca erosión. Ello descarta a este factor como fuente significativa de contaminación.

3. Descripción y Desarrollo de la Laguna.

3.1 Por ser poco profunda y con abundante vegetación litoral, la laguna ha pasado a ser eutrófica.

3.2 El área de la laguna anteriormente era mayor y se ha producido un rápido desplazamiento del área de la misma.

3.3 La población de especies criollas de peces se ha reducido debido a la introducción de especies carnívoras.

4. Vegetación.

4.1 La vegetación terrestre dominante en la cuenca está compuesta por Pino, Encino y Liquidámbar. Como vegetación acuática sumergente es dominante el alga Chara. A orillas de la laguna es dominante el carrizal.

5. Contaminación.

5.1 Los desechos de la fábrica de calzado Cobán y los drenajes de la población están contaminando las aguas del río Chijuljá y de la laguna Chicho, lo cual se manifiesta en la alteración de la calidad del agua para fines de usos recreativos y piscícolas.

5.2 En el río Chijuljé después de pasar el mismo por la fábrica de calzado, se produce en el período de la mañana un incremento considerable en la concentración de turbidez, color, nitrógeno, fosfatos, sodio, cloruros, sulfatos y también un incremento en la salinidad; así mismo se produce una reducción a "cero" en la concentración de oxígeno disuelto y anhídrido carbónico.

En el período de la tarde las concentraciones y valores de los distintos parámetros presentan en general poca variación.

5.3 En el muestreo superficial de la laguna los distintos parámetros analizados muestran lo siguiente:

a) El oxígeno disuelto y el anhídrido carbónico en general guardan un equilibrio en sus concentraciones, lo cual indica que en esta zona dichas concentraciones son normales.

b) Las concentraciones de nitrógeno y fosfatos superan a los límites reconocidos internacionalmente, provocándose como consecuencia un excesivo crecimiento de la vegetación acuática; esto se estima que es lo que produce la aceleración en el proceso de sucesión ecológica que actualmente se observa en la laguna.

c) Entre los cationes, el calcio presenta la concentración más alta y variaciones en su valor por la mañana y por la tarde.

d) En relación a los cationes, los bicarbonatos presentan la mayor concentración, y a continuación los carbonatos.

e) En relación a la turbidez, en ninguna de las estaciones donde se detectó, se supera la concentración máxima aceptable para el agua potable.

f) El color se detectó en la franja que va desde la desembocadura del río hasta la salida de la garganta en el lado este de la laguna. Además las concentraciones encontradas son iguales o superan a la concentración máxima aceptable para el agua potable.

g) Respecto a la dureza, se encontró que el agua es blanda.

h) La zona limnética se localiza a una profundidad promedio de 3.39 metros.

- 5.4 En el muestreo de la profundidad, se detectó que los parámetros - de nitrógeno, fosfatos y oxígeno disuelto, han superado a los límites recomendados internacionalmente, y por lo tanto están contaminándola significativamente. Ello se explica de la manera siguiente:

Los desagües proporcionan materiales que al descomponerse liberan nitrógeno y fosfatos, los cuales fertilizan a la laguna, provocándose una estimulación en el incremento de la vegetación acuática; ello a su vez reduce la concentración de anhídrido carbónico, sustrato básico para la fotosíntesis. Dado a que un fenómeno biológico no es aislado, la interacción continúa: la reducción de la concentración de oxígeno disuelto es un factor determinante en el descenso de las poblaciones de la fauna acuática.

VI. RECOMENDACIONES

1. A la Municipalidad de San Cristóbal Verapaz, impedir el ingreso a la laguna de los desechos y las aguas negras de la fábrica de calzado Cobán y de la Villa. Si se decidiera cambiar el curso de los drenajes hacia el río Desagüe, deberán tratarse las aguas antes de ingresar al río, a fin de no provocar un desequilibrio en el sistema del río. También se le recomienda a la Municipalidad, eliminar la vegetación que está provocando la invasión de la laguna.
2. A la División de Fauna, asesore a la Municipalidad del lugar, en la limpieza de la vegetación de la laguna, utilizando para tal fin métodos que no provoquen alteración en la ecología del lugar.
3. Al Centro Universitario del Norte en colaboración con la Escuela - Regional de Ingeniería Sanitaria, INSIVUMEH y la División de Fauna de DIGEHENARE, se le recomienda continuar con el estudio de la laguna a fin de determinar lo siguiente:
 - a) La variación anual de la temperatura para detectar si se produce el fenómeno de circulación de agua.
 - b) Paralelamente a lo anterior, estudiar los parámetros de Nutrientes, Oxígeno Disuelto, Anhídrido Carbónico y otros que se consideren adecuados para conocer su variación anual y su relación con la circulación.

4. A la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y a la División de -
Puzos, estudiar el parámetro de cromo, a fin de conocer el rol que
juega el mismo en la laguna, y su efecto sobre los organismos.

5. A la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria, se le sugiere diseñar
una planta de tratamiento para las aguas de desecho de la fábrica
de la Villa.

VII. BIBLIOGRAFIA.

1. American Water Works Association. Agua, su calidad y tratamiento. Trad. por Jack M. Verrey. México, Centro Regional de Ayuda Técnica, AID/RTAC, 1968. 564 p.
2. Bristow, J. M., J. Córdova, T. M. Fullerton y J. Sierra. Malezas Acuáticas. Colombia, CIBA-GEIGY, S. A. 's.f.' 116 p.
3. Bard, J., P. de Kinpe, J. Lamason y P. Lessent. Manual de Piscicultura destinado a la América Tropical. 2a. Ed. Trad. por Cristian Berger C. Francia, Ministerio de Asuntos Exteriores, 1975. 164 p.
4. Clarke, George L. Elementos de Ecología. 5a. ed. Trad. por Miguel Pusté. Barcelona, Ediciones Omega, 's.f.' 637 p.
5. Fernández P., C. R. Estudio Ecológico de la Laguna Coubilá para su Habilitación con Fines de Piscicultura Extensiva. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía, 1976. 55 p. (Tesis Ing. Agr.)
6. Gage, T. Los Viajes de Tomas Gage en la Nueva España. Guatemala, Ministerio de Educación Pública, 's.f.' 133 p.
7. Guatemala, Dirección General de Recursos Naturales Renovables. Los Peces y la Vida Silvestre. Guatemala, Dir. Gral. de Rec. Nat. Ren., 's.f.' 295 p.
8. Guatemala, Instituto Geográfico Nacional. Atlas Nacional de Guatemala. Guatemala, I.G. N., 1972. 's.p.'
9. Odum Eugene P. Ecología. 3a. ed. México, Editorial Limusa, 1973. 639 p.
10. Real Academia Española. Diccionario de la Lengua Española. Madrid, Editorial Espasa Calpe, 1976. 1424 p.
11. Richards, L. A. Ed. Diagnóstico y Rehabilitación de Suelos Salinos y Sódicos. 6a. ed. Ed. por L. A. Richards. Trad. por Nicolás Sánchez B. y otros. México, AID/RTAC, 1973. (Mun. Agr. No. 60).
12. Rogers, A. Métodos Modernos y Prácticos para la Fabricación de Cueros y Pieles. Barcelona, Editorial Osaó, 's.f.' 236 p.
13. Sociedad Americana para la Conservación del Suelo. Conservación, Clave del Progreso y la Paz Mundiales. México, Centro Regional de Ayuda Técnica, AID/RTAC, 1965. 's.p.'

14. Strobbe, M. A. Orígenes y Control de la Contaminación Ambiental. México, Centro Regional de Ayuda Técnica, AID/RMAC, 1973. 483 p.
15. Standley, P. C. y Steyermark. Flora of Guatemala. Chicago, Natural History Museum, 1964. Vol. I-II.
16. Tabarini de A., Alba. Eutrofización del Lago de Amatitlán. Guatemala, Universidad de San Carlos, Esc. Reg. de Ing. Sanitaria, 1975. 's.p.' (Mimeografiado).
17. The University of Wisconsin Press. El Hombre en el Medio Ambiente. México, Compañía Editorial Continental, 1975. 271 p.
18. Turk A., J. Turk y J. T. Wittes. Ecología, Contaminación Medio Ambiente. México, Editorial Interamericana, 1974. 227 p.
19. Vargas R., S. A. Parámetros de Calidad de las Aguas Naturales de la República de Guatemala. Guatemala, Universidad de San Carlos, Facultad de Ingeniería, 1969. 50 p. (Tesis Ing. Civ.).
20. Villee, Claude A. Biología. 14a. ed. Trad. por Jorge E. Wright. Buenos Aires, EUDESA, 1973. 719 p.
21. Washington, Federal Water Pollution Control Administration. Water Quality Criteria. Washington, (U. S. Government Printing Office.), 1968. 234 p.

Vo. Bo.

Palmira R. de Quan
Bibliotecaria

CUADRO No. 4

PROMEDIO DE CONCENTRACIONES DE CATIONES Y ANIONES POR LA MAÑANA Y POR LA TARDE

EN EL RIO CHIJULJA

DATOS DE DICERENARE

EST.	SOLIDOS EN SOLUCION P.P.M.	SUMA DE CATIONES P.P.M.	SUMA DE ANIONES P.P.M.	Ca P.P.M.	Mg P.P.M.	Na P.P.M.	K P.P.M.	CO ₃ ⁼ P.P.M.	HCO ₃ ⁼ P.P.M.	Cl ⁻ P.P.M.	SO ₄ ⁼ P.P.M.	CLASIFICACION S.LINIDAD
<u>MAÑANA</u>												
A	217.67	42.66	227.59	37.00	5.00	0.54	0.13	24.00	189.51	12.48	1.60	C ₂ S ₁
B	192.00	45.16	207.34	38.73	5.40	0.77	0.26	29.50	172.77	3.15	1.92	C ₂ S ₁
C	726.00	227.45	486.92	35.60	7.44	182.85	1.56	36.50	182.59	174.07	93.76	C ₃ S ₁
<u>TARDE</u>												
A	190.00	44.83	190.84	41.00	3.60	0.23	0.00	58.20	129.93	1.75	0.96	C ₂ S ₁
B	210.00	55.72	203.31	50.00	4.80	0.92	0.00	58.20	140.91	4.20	0.00	C ₂ S ₁
C	270.00	77.43	219.28	53.00	4.56	19.09	0.78	54.60	137.25	26.95	0.48	C ₂ S ₁

CUADRO No. 5

EDIO DE CONCENTRACION DE CATIONES Y ANIONES EN LA LAGUNA CHICHOJ

DATOS DE DIGERENARE
(Muestreo Superficial)

Est.	SOLIDOS EN SOLUCION p. p. m.	SUMA DE CATIONES p. p. m.	DE NES . m.	Ca p.p.m.	Mg p.p.m.	Na p.p.m.	K p.p.m.	CO ₃ ⁼ p.p.m.	HCO ₃ ⁻ p.p.m.	Cl ⁻ p.p.m.	SO ₄ ⁼ p.p.m.	CLASIFICACION SALINIDAD
D	195.00	45.72	.37	24.60	4.50	15.64	0.98	25.05	106.45	22.73	15.12	C ₂ S ₁
E	179.66	50.38	.55	30.00	4.24	15.10	1.04	21.00	116.71	19.72	5.12	C ₂ S ₁
F	188.00	45.61	.79	24.80	4.80	14.84	1.17	19.80	113.46	20.83	1.68	C ₂ S ₁
G	219.33	47.06	.02	26.60	4.36	14.80	1.30	23.30	109.19	19.36	4.16	C ₂ S ₁
H	173.00	47.28	.81	27.33	4.36	14.41	1.17	23.70	102.48	19.95	3.68	C ₂ S ₁
-	157.66	45.01	.30	25.46	4.40	14.49	0.65	25.30	94.75	17.97	5.28	C ₂ S ₁
J	159.33	45.69	.93	25.60	4.36	14.95	0.78	27.20	92.73	18.08	5.92	C ₂ S ₁
K	169.00	44.09	.66	23.00	4.62	15.30	1.17	37.85	89.98	19.78	4.56	C ₂ S ₁
L	146.33	44.51	.26	25.20	3.88	14.26	1.17	27.60	80.92	16.10	4.64	C ₂ S ₁
PRO- MEDIO	176.37	46.13	.29	25.84	4.39	14.86	1.04	25.59	100.74	19.39	5.57	C ₂ S ₁

CUADRO No. 6

PROMEDIOS DE CONCENTRACION DE CATIONES Y ANIONES EN LA LAGUNA CHICHOJ

DATOS DE DIGERENARE
(Muestreo Profundidad)

Let.	SOLIDOS EN SOLUCION p. p. m.	SUM. DE CATIONES p. p. m.	SUM. DE ANIONES p. p. m.	Ca p.p.m.	Mg p.p.m.	Na p.p.m.	K p.p.m.	CO ₃ ⁼ p.p.m.	HCO ₃ ⁻ p.p.m.	Cl p.p.m.	SO ₄ ⁼ p.p.m.	CLASIFICACION SALINIDAD
N	247	77.43	209.75	40.00	3.60	32.66	1.17	25.05	130.54	42.88	11.28	C ₂ S ₁
E	193	56.73	186.99	36.00	3.60	15.18	1.95	28.20	129.32	22.75	6.72	C ₂ S ₁
F	188	56.49	177.09	36.50	3.90	14.72	1.37	22.65	127.19	22.93	4.32	C ₂ S ₁
G	265	55.65	167.80	36.00	3.60	14.49	1.56	31.50	112.24	23.10	0.96	C ₂ S ₁
H	180	52.81	176.45	35.00	3.60	12.65	1.56	27.90	120.78	23.45	4.32	C ₂ S ₁
I	190	48.50	172.84	30.00	3.60	13.34	1.56	32.70	107.97	20.65	11.52	C ₂ S ₁
J	173	48.65	160.63	31.00	3.60	12.88	1.17	30.30	105.53	22.40	2.40	C ₂ S ₁
K	169	53.23	157.62	34.00	3.72	14.15	1.37	22.65	111.33	21.00	2.64	C ₂ S ₁
L	155	43.14	110.53	28.00	3.00	10.58	1.56	23.40	68.93	18.20	0.00	C ₂ S ₁
PRO-MEDIO	196	54.74	168.86	34.06	3.58	15.63	1.47	27.15	112.65	24.15	4.91	C ₂ S ₁