



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ZARAGOZA

"ESTUDIO CUALITATIVO Y CUANTITATIVO DE LOS
PROTOZOARIOS ZOOFLAGELADOS PRESENTES EN
LAS AGUAS NEGRAS ALMACENADAS EN UNA
LAGUNA DE ESTABILIZACION FACULTATIVA"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

B I O L O G O

P R E S E N T A :

ALFONSO LUGO VAZQUEZ

MEXICO, D. F.

1984



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I N D I C E

| | Pág. |
|---|------|
| RESUMEN..... | 1 |
| INTRODUCCION..... | 2 |
| LAGUNAS DE ESTABILIZACION..... | 4 |
| Historia..... | 4 |
| El proceso de estabilización..... | 4 |
| Condiciones ambientales: Influencia sobre el funcionamiento de las lagunas... | 6 |
| Lagunas facultativas..... | 6 |
| Lagunas anerobias..... | 6 |
| Lagunas de estabilización y aplicación en México..... | 7 |
| LOS PROTOZOARIOS ZOOFLAGELADOS | |
| Características generales..... | 9 |
| Clasificación..... | 9 |
| Zooflagelados dulceacuícolas de vida libre: Ecología | |
| Los protozoarios zooflagelados en los sistemas de tratamiento biológico..... | 12 |
| METODOLOGIA..... | 14 |
| DESCRIPCION DEL SISTEMA ESTUDIADO Y DE LA ZONA EN QUE SE UBICA..... | 20 |
| OBJETIVOS..... | 23 |
| RESULTADOS..... | 24 |

DISCUSION..... 54

 Condiciones físicas y químicas del
 agua de las lagunas..... 54

 Los protozoarios zooflagelados en-
 el sistema de lagunas..... 59

CONCLUSIONES..... 67

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS..... 68

APENDICE..... 74

LAMINAS..... 85

RESUMEN

Este trabajo se llevó al cabo en un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas formado por dos lagunas de estabilización ubicadas en el poblado de Sto. Tomás Atzingo, Edo. de México, para investigar el tipo y frecuencia de los protozoarios-zooflagelados presentes, así como su relación con algunos factores físicos y químicos tales como temperatura del aire, temperatura del agua, oxígeno disuelto, CO_2 libre, alcalinidad total, acidez, dureza total, pH, transparencia del agua, amoníaco, nitritos, nitratos y ortofosfatos.

Se realizaron 15 muestreos en el lapso entre el mes de junio de 1981 y abril de 1982, aproximadamente dos cada mes.

Las especies encontradas fueron siete: Bodo edax, Bodo caudatus, Trepomonas agilis, Pleuromonas-jaculans, Bodo saltans, Bodomorpha minima y Enteromonas hominis. Todas, con excepción de la última, que es comensal, son de vida libre. Además, las cuatro primeras están consideradas como especies indicadoras de condiciones polisaprobias, y la quinta, de condiciones mesosaprobias. Con base en la frecuencia de estas especies se construyeron gráficas de la calidad del agua a lo largo del nivel superficial del sistema.

El agua del sistema presenta condiciones predominantemente anaerobias. La temperatura parece ser el factor que más influye sobre la frecuencia de los protozoarios zooflagelados.

I N T R O D U C C I O N

Los crecientes niveles de contaminación de las aguas marinas y continentales (33) disminuyen -- la disponibilidad del líquido para una población mundial en constante aumento (51). Gran parte de la contaminación acuática es causada por las aguas de desecho que se descargan en el medio sin tratamiento previo (30). Otros efectos nocivos de la descarga de las aguas negras son: el desequilibrio ecológico de los cuerpos de agua naturales, con la consiguiente desaparición de especies (27); la disminución de la producción agrícola y pesquera (18); pueden ensuciar mantos acuíferos subterráneos limpios (30) y, finalmente, son factor muy importante en la transmisión de enfermedades (55).

Para disminuir o evitar los efectos de las descargas de aguas de desecho es necesario tratarlas adecuadamente antes de su liberación en el medio ambiente (30). Uno de los sistemas que se utilizan para este objetivo son las lagunas de estabilización de desechos, las cuales consisten en grandes estanques poco profundos limitados por diques de tierra, en los cuales las aguas negras son tratadas mediante un proceso totalmente natural que involucra principalmente algas y bacterias (30), y también otros microorganismos, entre ellos protozoarios y hongos (41). Entre los protozoarios que se encuentran frecuentemente en los estanques de estabilización están numerosos representantes del grupo de los zooflagelados (17).

El papel de estos organismos dentro de los sistemas de tratamiento es discutido (17); pero como la mayoría de los que se encuentran en las aguas negras son bacteriófagos (16), se supone que colaboran en la reducción del número de bacterias. Además, -

junto con otros tipos de protozoarios bacteriofágos, constituyen un eslabón en la transferencia de energía hacia los niveles tróficos superiores de la cadena de alimentos (48).

LAGUNAS DE ESTABILIZACION

Historia

Al parecer, las lagunas de estabilización de desechos ya se usaban en la región asiática del Indostán hace varios siglos (10). En el mundo occidental, las primeras observaciones sobre la purificación de las aguas almacenadas en lagunas se produjeron hasta finales del siglo XIX (10). En 1924 se descubre, de manera occidental en Sta. Rosa, California, el valor de las lagunas en el tratamiento del agua (3). En 1946, gracias a los trabajos de Caldwell se establecen las bases científicas del funcionamiento de estos sistemas y se construyen los primeros estanques, inicialmente en los E.U.A. y posteriormente en otros países (10). Al empezar la década de los setentas las lagunas de estabilización se utilizaban en 39 diferentes naciones del mundo cuya latitud se encontraba desde el Ecuador hasta los polos, y tan sólo en los E.U.A., existían más de 3500 estanques para el tratamiento de las aguas de desecho de origen doméstico (15). En esa misma época México contaba con 14 sistemas de tratamiento de este tipo (14).

El proceso de estabilización

El proceso de estabilización transforma la materia orgánica de los desechos de un estado altamente putrescible a un estado muy estable en forma de células de algas (7); otra parte de la materia orgánica que ingresa al sistema sale por el efluente en forma de productos inorgánicos finales (3). La estabilización de los desechos es efectuada por una asociación simbiótica entre algas y bacterias: las bacterias descomponen la materia orgánica de los desechos en compuestos simples como CO_2 , PO_4^{3-} y NO_3^- , que son indispensables para el crecimiento de las algas; estas últimas, al realizar la fotosíntesis, -

liberan oxígeno que es utilizado por las bacterias - en los procesos de descomposición oxidativa de los - desechos (3) (30).

La estabilización de la materia orgánica tiene como propósito más importante la reducción en la D.B.O. (Demanda Bioquímica de Oxígeno: la cantidad - de oxígeno requerida por los microorganismos para la oxidación de un desecho específico) del agua, lo que disminuye el peligro de una fuerte baja en la concentración de oxígeno del cuerpo de agua receptor - del líquido tratado (27).

Condiciones ambientales: Influencia sobre el funcionamiento de las lagunas.

Siendo las lagunas de estabilización un sistema totalmente natural, en el que el hombre sólo dispone de un lugar adecuado para que se efectúe el proceso, las condiciones ambientales son determinantes para la velocidad de la purificación (3). Latitud y altitud, que influyen sobre componentes del clima como radiación solar, temperatura y corrientes de aire, deben tenerse muy presentes al diseñar las lagunas (4). La radiación solar es de gran importancia, ya que determina el área y la profundidad requeridas para el buen funcionamiento de los estanques; además, la penetración de la luz incidente determina el volumen de la laguna capaz de participar en la producción de oxígeno (4).

La temperatura del agua, establecida principalmente por la cantidad de radiación solar incidente, rige la velocidad de las reacciones químicas que producen la purificación y selecciona las poblaciones de microorganismos que se establecen (34).

Considerando su actividad biológica, las lagunas de estabilización de desechos pueden calificarse en (10): 1) Lagunas aerobias de algas; 2) Lagunas fa

cultativas; 3) Lagunas anaerobias; 4) Lagunas aireadas mecánicamente. Nosotros nos ocuparemos únicamente de las lagunas anaerobias y facultativas, que son - las más relacionadas con el tipo de sistema estudiado.

Lagunas Facultativas

Es el tipo de lagunas usado más frecuentemente. Generalmente reciben aguas crudas o que han sido tratadas de manera preliminar, aunque también se emplean para recibir afluentes asentados de tanques sépticos o de lagunas anaerobias de pretratamiento - (3) (18).

Los estanques facultativos presentan una concentración de oxígeno estratificada, con la zona superior aerobia y condiciones anaerobias cerca del fondo (30). Los organismos que descomponen y estabilizan los desechos son aerobios, aerobios facultativos y anaerobios. La permanencia de la zona aerobia está determinada en gran parte, por la capacidad de las algas para producir un exceso de oxígeno con respecto a la cantidad del mismo requerida por las bacterias (3).

Con las lagunas de estabilización facultativas se pueden llegar a obtener remociones de la D.B.O. de 75 a 90%, y la eliminación del 95 al 99%, o más en el número de bacterias coliformes (4).

Lagunas anaerobias

Las lagunas anaerobias se diseñan para recibir una alta carga orgánica (es decir, altas concentraciones de materiales orgánicos por volumen de agua) y, debido a esto su profundidad es mayor que la de las lagunas facultativas (más de 2.5 m) (18). Las condiciones anaerobias se producen por la elevada carga orgánica y el corto tiempo que permanece el agua en las lagunas (18). En las lagunas anaerobias-

las algas no tienen un papel importante (3), sino que son las poblaciones microbianas anaerobias, compuestas principalmente por bacterias formadoras de ácidos orgánicos y bacterias formadoras de metano, las encargadas de la estabilización de los desechos (30); los productos finales principales son CH_4 , CO_2 , H_2S y NH_3 .

Para el adecuado funcionamiento de las lagunas anaerobias se requiere que el agua sea alcalina (pues las bacterias formadoras de metano son sensibles a las condiciones ácidas) (30). Además, la temperatura del agua debe ser superior a los 15°C , pues de lo contrario estos sistemas funcionan exclusivamente como tanques de sedimentación (10).

Las lagunas de tipo anerobio se usan principalmente para el pretratamiento de desechos con alto contenido de sólidos, generalmente junto con lagunas facultativas (10). Cuando las temperaturas son elevadas pueden obtenerse con estos sistemas remociones de la D.B.O. de hasta un 80% (10), pero a temperaturas menores el valor promedio no supera el 70% (18).

Lagunas de estabilización: aplicación en México.

El uso de las lagunas de estabilización es especialmente ventajoso en lugares en donde el terreno es abundante y barato, las cargas orgánicas presentan variaciones amplias y existe escasez de recursos económicos y de personal especializado (14). Estas condiciones las encontramos en numerosos poblados del medio rural mexicano en los cuales habitaban, hasta el año 1970, casi 20 millones de mexicanos. En ese mismo año la población rural contribuía con 11 800 toneladas de D.B.O. anuales a la contaminación de origen doméstico. Para el año 2000 se calcula que la población rural mexicana será de entre 28- y 32 millones de personas, las cuales demandarán mayores volúmenes de agua y producirán más desechos.

(43). Estos datos nos indican que las lagunas de---
estabilización son una herramienta útil para comba -
tir la contaminación acuática en México y que su uso
potencial en un futuro cercano es también amplio.

LOS PROTOZOARIOS ZOOFLAGELADOS

Características generales.

Los zooflagelados o zoomastigóforos son - un grupo heterogéneo de protozoarios cuyos miembros tienen como principales características comunes la - posesión de uno o más flagelos y la ausencia funda - mental de pigmentos asimiladores (16); este último - rasgo los diferencia de los organismos fitoflagela - dos que han perdido, temporal o definitivamente, sus cloroplastos; además, el aparato flagelar de los zoo - mastigóforos es, por lo general, más complejo que el de los fitoflagelados (29), pues junto con el flage - lo y su blefaroplasto (llamado también gránulo basal o cinetosoma), se encuentran otras estructuras rela - cionadas con este orgánulo, como el cinetoplasto, el cuerpo parabasal, el axostilo y la costa (54), mis - mas que aunque no se presentan todas en la generali - dad de los zooflagelados, si llegan a ser, algunas - de ellas, rasgos conspicuos en determinados órdenes - (26). En aspectos como forma y simetría el grupo des - pliega una amplia variedad (52).

Numerosos zooflagelados son de vida libre y habitan en el suelo, aguas dulces o marinas (16) - (20) (24), pero otros muchos viven en el interior de diferentes organismos (tanto vertebrados como inver - tebrados) con los que establecen relaciones de sim - biosis, comensalismo o parasitismo (16) (20) (26); - los zoomastigóforos de vida libre y muchos de los - endobiontes se reproducen asexualmente por plasmoto - mía longitudinal (16) (29). (26), pero algunas otras de las especies endobiontes presentan formas de se - xualidad (26) (48). Se considera que los organismos - que componen esta clase tuvieron un origen polifíle - tico (26).

Clasificación de los Zooflagelados

En el año de 1980 la Sociedad Internacio - nal de protozoólogos revisó y corrigió la clasifica - ción anterior (26), la cual había sido elaborada en 1964

(20) y que todavía es muy usada. Debido a que en esta última revisión la clase Zoomastigoforea cambió - notablemente, y a que fue la clasificación usada en el presente trabajo, creemos de interés incluirla - aquí.

FILUM: SARCOMASTIGOFORA

Clase: Zoomastigoforea Calkins, 1909.

Orden 1: Coanoflagellida Kent, 1880

Orden 2: Kinetoplastida Honigberg, 1963 modif. de Vickerman, 1976.

Suborden 1: Bodonina Hollande, 1952 modif. de Vickerman, 1976

Suborden 2: Trypanosomatina Kent, 1880.

Orden 3: Proteromonadida Grassé, 1952 modif. de Vickerman, 1976.

Orden 4: Retortamonadida Grassé, 1952.

Orden 5: Diplomonadida Wenyon, 1926 modif. de Brugerolle, 1975.

Suborden 1: Enteromonadina Brugerolle, 1975. modif. de Kulda y Nohynkova, 1978.

Suborden 2: Diplomonadina Wenyon, 1926 modif. de Brugerolle, 1975.

Orden 6: Oxymonadida Grassé, 1952.

Superorden 1: Parabasalidea Honigberg, 1973.

Orden 7: Trichomonadida Kyrby, 1947 modif. de Honigberg, 1974.

Orden 8: Hypermastigida Grassi y Foa, 1911.

Suborden 1: Lophomonadina Light, 1927

Suborden 2: Trychonymphina Poche, 1913.

Zooflagelados dulceacuícolas de vida libre: Ecología.

La mayoría de las especies de zooflagelados - dulceacuícolas de vida libre se ubican en los órdenes Coanoflagellida, Kinetoplastida (únicamente suborden Bodonina) y Diplomonadida (suborden Diplomonadina) (26). La mayor parte de estos zooflagelados -- son holozoicos y su principal fuente de alimentación

son las bacterias (16), aunque también existen especies que se alimentan con partículas de materia orgánica (11).

Durante el proceso de autodepuración de las aguas que sigue a la adición de compuestos orgánicos degradables, después de una fase inicial de gran desarrollo de bacterias descomponedoras, continúa otra fase en la que aparecen grandes cantidades de zooflagelados acompañados por diversas especies de algas flageladas incoloras heterótrofas (1). Los estudios de Sládecek, que investigó a los productores, consumidores y descomponedores en el transcurso de la contaminación del agua, mostraron que el número de zooflagelados y algas incoloras aumenta conforme el grado de contaminación orgánica es mayor (grado metasaprobio de la fase de Eusaprobiedad), y disminuye al decrecer la cantidad de materia orgánica y aparecer otros grupos de consumidores (grado isosaprobio de la fase de Eusaprobiedad y grado polisaprobio de la fase de Limnosaprobiedad) (47) (1). Esto confirma el punto de vista de que la importancia de los organismos consumidores de bacterias, entre ellos los zooflagelados, es mayor en las aguas contaminadas debido a que juegan un papel significativo en los ciclos alimentarios (48).

Los factores ecológicos más importantes para los zooflagelados dulceacuícolas de vida libre son los mismos que para el resto de los protozoarios de agua dulce y comprenden la temperatura, la concentración de oxígeno disuelto, el pH y la salinidad; cuando estos factores tienen valores dentro de los límites de tolerancia de una especie determinada, la existencia o abundancia de la especie dependerá de la cantidad de alimento disponible (48).

Para los zoomastigóforos la concentración de oxígeno disuelto en el agua es de gran importancia.

pues varias especies son sensibles a las bajas concentraciones (11), aunque otras son totalmente anaerobias (6); numerosas especies habitan en lugares -- donde existen grandes cantidades de materia orgánica en descomposición y son capaces de vivir con concentraciones muy bajas de oxígeno disuelto (17).

En lo que se refiere a la temperatura, el pH y la salinidad, existen especies capaces de soportar variaciones amplias de estos parámetros (especies "euri"), mientras que otras no logran sobrevivir si los valores de los parámetros mencionados varían más allá de ciertos límites estrechos (especies "esteno") (34).

Los protozoarios zooflagelados en los sistemas de tratamiento biológico.

Se ha observado la presencia de numerosos -- protozoarios zooflagelados en diversos sistemas de -- tratamiento biológico de aguas de desecho tales como tanques Imhoff, plantas de lodos activados, filtros de percolación y zanjas y lagunas de estabilización (6) (17).

A pesar de que la ecología de las diferentes especies de zooflagelados de vida libre es más o menos conocida, el papel de estos organismos dentro -- de los sistemas de tratamiento de aguas de desecho -- no se conoce bien y es objeto de controversia (17). -- La función principal de los zoomastigóforos sería la de disminuir el número de bacterias, ya que la mayoría son fagótrofos; sin embargo, al competir con -- otros organismos más eficaces en la captura de las -- bacterias, como los ciliados, pronto son desplazados y substituídos por otros grupos de organismos, como se ha observado en experimentos in vitro y en plantas de lodos activados (6) (1) (5); las especies saprotróficas de zoomastigóforos colaborarían en la degradación de los complejos orgánicos disueltos en --

las aguas de desecho, pero compiten por este subs - trato con las bacterias heterótrofas, las cuales, -- gracias a que se reproducen con mucha mayor veloci - dad, logran llegar a ser dominantes (6). Estas son - las razones que se aducen para dudar de la importan - cia de la contribución de los protozoarios zooflage - lados en el proceso de purificación del agua.

Existe un protozoario zooflagelado cuya pre - sencia en los efluentes de los sistemas de tratamien - to puede ser peligrosa. Se trata de Giardia intesti - nalis, parásito que en nuestro país tiene la mayor - frecuencia de aparición e infecta inclusive a niños - de muy corta edad, a los que puede causar un daño ma - yor (32). Los quistes de este protozoario se elimi - nan con las heces (24) y soportan inclusive la clora - ción del agua, por lo que este elemento es una de - las principales fuentes de infección del parásito - (46).

Otro aspecto importante de los zooflagelados - en las aguas negras estriba en que muchas especies - forman parte del grupo de protozoarios utilizados co - mo especies indicadoras en los diferentes métodos - usados para la caracterización biológica de la cali - dad del agua (17). La mayoría de los métodos para - caracterizar biológicamente la calidad del agua es - tán basados en el denominado "sistema de los sapro - bios", propuesto originalmente por Kolkwitz y Mar - sson (1908) (55); entre los métodos derivados o re - lacionados con el anterior podemos citar la revisión efectuada por Liebmann (1962) (47), el sistema de - Fjerdingstad (1960) (55) y el sistema de Sládecek - (1961) (47).

METODOLOGIA

Mensualmente se hicieron uno o dos muestreos en el período comprendido entre el 26 de junio de 1981 y el 10 de abril de 1982. En aquéllos realizados antes del 25 de septiembre de 1981 los puntos de muestreo fueron los que aparecen marcados con una cruz en la figura 3; posteriormente, al llenarse la segunda laguna, se variaron y aumentaron las estaciones de muestreo con el fin de abarcar todo el sistema (sitios marcados con puntos negros en la figura 3). En las estaciones ubicadas dentro de las lagunas se tomaron muestras tanto en la superficie como en el fondo. Los muestreos se efectuaron entre las 9.00 y las 13.00 A.M.

Para la recolección de las muestras en el interior de las lagunas se hizo uso de una lancha inflable de goma. Las muestras de superficie, afluente y efluente se obtuvieron llenando directamente los frascos de vidrio en los que quedaban almacenadas; las del fondo se extrajeron usando una botella Van Dorn de 2 l de capacidad y se vaciaron a botellas de vidrio. Para obtener las muestras destinadas a la determinación de oxígeno disuelto se emplearon botellas para D.B.O. introducidas en un muestreador tipo Winkler.

Las muestras recolectadas en cada estación y nivel fueron: 1) Aproximadamente 500 ml. de agua en un frasco de vidrio de boca ancha (38) para la observación en vivo de protozoarios y la siembra de los medios de cultivo; estos frascos eran transportados a temperatura ambiente y, en el laboratorio, colocados en un lugar sombreado, también a temperatura ambiente (15 a 20°C aproximadamente).

2) Una muestra de 100 ml en frasco de vidrio de 125 ml de capacidad, la cual era fijada inmediatamente añadiéndole aproximadamente 1 ml. de formol al

10% y destinada al recuento de organismos.

3) Una muestra de 1 000 ml aproximadamente, - en frasco limpio de vidrio, para la determinación de los diferentes parámetros fisicoquímicos.

4) 300 ml de agua en botella D.B.O. usados -- para cuantificar el oxígeno disuelto.

Los parámetros que se determinaron en el campo fueron: temperatura ambiente, temperatura del -- agua, transparencia del disco de Secchi, pH, oxígeno disuelto, CO_2 libre, alcalinidad, total, acidez y du reza total (2).

Las muestras para la determinación de los parámetros fisicoquímicos restantes se conservaron aña diéndoles unos cuantos miligramos de cloruro mercurico (HgCl_2) y se trasladaron al laboratorio en refrigeración para procesarse rápidamente, al igual que - las muestras biológicas.

Una vez en el laboratorio, las muestras de - parámetros fisicoquímicos eran filtradas con papel - filtro Whatman # 5 (para eliminar el exceso de materia orgánica) y se procedía a determinar los siguientes parámetros: ortofosfatos, amoniaco (N-NH_3) (2), - nitritos (N-NO_2) y nitratos (N-NO_3) (44).

Los medios de cultivo, previamente preparados, envasados y esterilizados, se sembraban a la mayor - brevedad posible y se dejaban incubando. Se emplea - ron los siguientes:

1.- Medio de Chalkley (Chalkley, 1930) (24), - adicionando con granos de arroz. Aunque este medio - no es específico para zooflagelados se le utilizó - porque, en pruebas preliminares, se obtuvieron bue - nos crecimientos de zoomastigóforos en él. Los tu - bos de cultivo conteniendo 10 ml de medio y 2 ó 3 -- granos de arroz (todo previamente estéril y cubierto

con tapones de algodón y gasa para permitir la aireación) se sembraron, en condiciones de esterilidad, - con 2 ml de agua de las lagunas; de cada muestra sembró un tubo y se dejó otro sin sembrar para utilizarlo como control; la incubación fue a temperatura ambiente (15 a 20°C) durante 3 ó 4 días.

2.- Medio Ovomucoide (Hogue, 1921) (42). Este medio es útil para cultivar algunos zooflagelados parásitos, especialmente Trichomonas hominis. En cada tubo se colocaron 6 ml de medio y la siembra se hizo con 0.5 ml de agua de las muestras; en este caso la siembra se realizó por duplicado y un juego de tubos se incubó a temperatura ambiente (15 a 20°C) y otro juego se incubó en una estufa a 37°C (cada juego con sus respectivos tubos controles), ambos durante 3 días. Debido a que el excesivo crecimiento bacteriano en los tubos inoculados impedía el buen desarrollo de las poblaciones de protozoarios, se hizo necesario añadir ampicilina a los medios de cultivo. - Transcurrido el tiempo de incubación se tomaron muestras de cada medio y se observaron con el microscopio.

Para realizar las estimaciones de la frecuencia de cada especie durante los 10 primeros muestreos, se utilizaron las muestras en vivo y se tomó como base el método propuesto por Knöpp (1955) (47), el cual consiste en una escala compuesta por siete grados: 1: un solo hallazgo, 2: poco, 3: de poco a un valor medio, 4: valor medio, 5: valor medio a mucho, 6: mucho, 7: abundante. Las muestras se homogeneizaron por agitación y se extrajeron 3 submuestras en diferentes puntos del frasco (zona inferior, zona media y superficie), observándose con el microscopio. En los 5 muestreos en que fue posible realizar recuentos de zooflagelados se utilizaron las muestras fijadas con formol y, debido al pequeño tamaño de la mayoría de los zoomastigóforos, que los ubica-

dentro del nanoplancton (organismos de tamaño menor a 50 μm) (31), se hizo uso del método recomendado para esta clase de organismos, el cual consiste en emplear una cámara de recuento de hematíes (cámara de Neubauer o hematocitómetro) (45); la muestra fijada se homogeneizó por agitación y con una pipeta Pasteur se extrajeron cuatro diferentes submuestras, haciéndose el recuento de organismos en un volumen de 0.0004 ml y extrapolando el número de organismos contados a 1 ml; el resultado final se obtuvo de la media aritmética de las cuatro cuentas extrapoladas. Los recuentos se hacían con microscopio óptico, usando un ocular de 10 X y un objetivo de 43X.

Para tratar de observar la presencia de quistes de zooflagelados parásitos en las aguas del sistema, en especial de Giardis intestinalis, se tomaron muestras de agua de la entrada y salida de las lagunas; se concentraron mediante el método de Craig y se tiñeron con solución de Lugol (23) para su posterior revisión con el microscopio.

Con el fin de obtener mayores datos sobre las condiciones de funcionamiento de las lagunas se efectuaron, durante los meses de octubre y noviembre de 1981 y enero de 1982, muestreos intensivos (uno por mes). Cada uno tuvo una duración de entre 3 y 5 días consecutivos y en ellos se tomaron medidas, cada dos horas durante las 24 horas diarias, de parámetros como el gasto del afluente y el efluente, temperatura ambiente y temperatura del agua; al mismo tiempo se extrajeron pequeñas muestras de agua del afluente y el efluente en frascos de vidrio de 125 ml de capacidad las cuales, cada 24 horas, sirvieron para formar una muestra compuesta de 1000 ml que se trasladó al laboratorio conservada en hielo para luego ser usada en la determinación de parámetros como la Demanda Bioquímica de Oxígeno al quinto día (D.B.O.₅) la Demanda Química de Oxígeno (D.Q.O.), sólidos tota

les y sólidos suspendidos y número de bacterias coliformes totales, bacterias coliformes fecales y estreptococos fecales (2).

Debido a problemas de carácter técnico, en el muestreo realizado en el mes de diciembre de 1981,-- no se obtuvieron datos biológicos, por lo que no se considera esa fecha dentro de los muestros regulares; sin embargo, los datos fisicoquímicos obtenidos sí han sido utilizados en la elaboración de las gráficas que se presentan.

El tratamiento estadístico de los resultados-- obtenidos consistió en lo siguiente:

1.- Obtención de los coeficientes de variación (49), que son una medida de la dispersión de los datos, de los parámetros fisicoquímicos (excepto nutrientes) y de las frecuencias de las 5 principales especies de zooflagelados; esto se hizo para cada estación.

2.- Pruebas de "t" (37) con los parámetros -- temperatura del agua, pH, CO₂ libre, alcalinidad, -- acidez y dureza total para investigar diferencias-- significativas entre afluente y efluente.

3.- Obtención de la media, valor máximo y valor mínimo por estación para los datos de nutrientes, Además, se obtuvo también el valor medio y la desviación estándar para la totalidad de los datos de cada nutriente (37).

4.- Con los datos de temperatura del agua, -- CO₂ libre, acidez, alcalinidad y dureza total se hizo un análisis de componente principal (21).

A fin de facilitar el manejo de la informa -- ción obtenida, los muestreos efectuados fueron numerados progresivamente y con ese número aparecen en --

gráficas y tablas. La correspondencia entre fecha y número de muestreo es la siguiente:

| Fecha (1981) | Muestreo | Fecha (1982) | Muestreo |
|------------------|----------|---------------|----------|
| 26 de junio | 1 | 21 de enero | 11 |
| 10 de julio | 2 | 12 de febrero | 12 |
| 22 de julio | 3 | 4 de marzo | 13 |
| 7 de agosto | 4 | 19 de marzo | 14 |
| 21 de agosto | 5 | 1 de abril | 15 |
| 11 de septiembre | 6 | | |
| 25 de septiembre | 7 | | |
| 21 de octubre | 8 | | |
| 11 de noviembre | 9 | | |
| 25 de noviembre | 10 | | |

DESCRIPCION DEL SISTEMA ESTUDIADO Y DE LA ZONA EN - QUE SE UBICA.

El sistema de tratamiento objeto del presente estudio está formado por dos lagunas de forma rectangular con dimensiones, cada una, de 41.80 m. de largo por 14.60 m de ancho, y conectadas en serie por medio de cinco pasos de agua (ver figura 1); la profundidad promedio es de 1.5 m. Fueron construídas en el año de 1980 para el tratamiento de las aguas residuales domésticas del poblado de Sto. Tomás Atzingo, perteneciente al municipio de Tlalmanalco de Velázquez, Estado de México. El pueblo se localiza entre las coordenadas 19° 10' y 19° 15' de latitud--N y los 98° 45' y 98° 50' de longitud W, con una altitud media de 2475 m.s.n.m.; las lagunas se encuentran en las afueras del poblado y se diseñaron para funcionar de manera facultativa; su tiempo de retención del agua es de aproximadamente 11.3 días.

El clima de la región es del tipo C (w)₂ (w) (b) g (Köpen modificado por García, 1964)(13) que corresponde a templado subhúmedo con lluvias en verano y con temperatura tipo Ganges (el mes más caliente se presenta antes del solsticio de verano); la temperatura promedio anual es de 14.1°C y la precipitación total anual es de 960.7 mm³. La temperatura máxima fué de 29°C y la mínima de -3° (datos del período de 1966 a 1971). El tipo de vegetación predominante consiste en cultivos de maíz y alfalfa, aunque existen también algunas zonas de bosque templado.

El pueblo de Sto. Tomás Atzingo contaba, en 1980, con una población de aproximadamente 1 200 personas; dispone, desde 1970, del servicio de agua potable en tomas domiciliarias (abastecido por el sistema Morelos) y, desde 1974, de alcantarillado. Tiene, además, servicio de energía eléctrica, correo y-

autotransportes. La producción agrícola, que es la principal actividad económica de los habitantes, está organizada en un ejido que lleva el mismo nombre del pueblo y en el que 123 ejidatarios trabajan un total de 440 hectáreas, 65 de las cuales son de agostadero y 375 de terrenos de monte; las aguas tratadas que salen del sistema de lagunas son empleadas en el riego de algunos campos de cultivo (13).

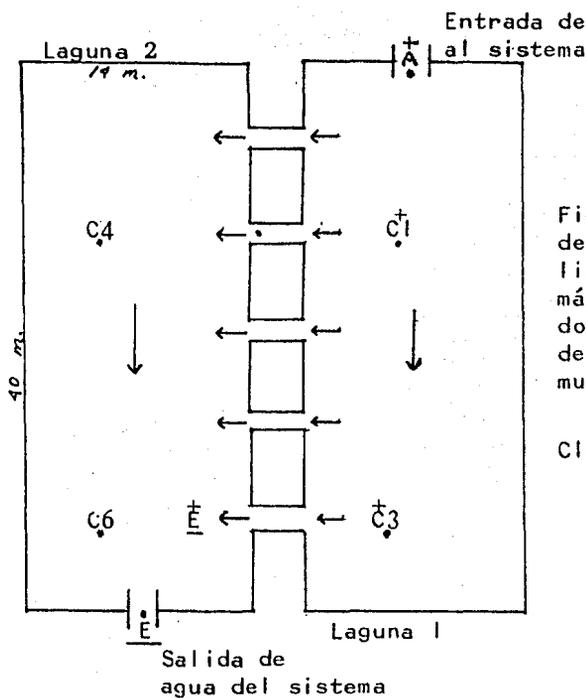


Figura 1. El sistema de lagunas de estabilización de Sto. Tomás Atzingo mostrando la localización de los puntos de muestreo.

Clave:

- A: Afluente
- C1: Centro 1
- C3: Centro 3
- C4: Centro 4
- C6: Centro 6
- E: Efluente
- E*: Efluente

Los puntos de muestreo marcados con una cruz encimados corresponden a los muestreos anteriores al 25 de septiembre de 1981. Los puntos de muestreo marcados en la parte inferior con un punto negro son los utilizados a partir del 25 de septiembre de 1981.

O B J E T I V O S

1.- Identificar y cuantificar las especies de zooflagelados presentes en las aguas del sistema de lagunas.

2.- Detectar los posibles zooflagelados indicadores de contaminación.

3.- Estudiar la posible relación entre las variaciones en la especie y número de zooflagelados - presentes y en los cambios que pudieran existir en - las condiciones ambientales, tanto en el tiempo como en el espacio.

RESULTADOS

Las especies de zooflagelados cuya presencia se observó en el sistema de lagunas fueron 7; a continuación se presenta su clasificación acompañada de algunas características morfológicas y ecológicas:

Orden: Kinetoplastida Honigberg modif. por -
Vickerman.

Suborden: Bodonina Hollande modif. por Vicker-
man.

Familia: Bodonidae Bütschli.

Género: Bodo Ehrenberg

Bodo edax Klebs: desde 7 hasta 25 μm de largo por -
3 a 10 μm de ancho (17), con forma ovoide (20) y -
con dos flagelos, uno colgante y más largo; coprozoi-
co, se alimenta fundamentalmente de bacterias (20) -
(48). Su habitat son las aguas estancadas (24); esta
especie ha sido citada y descrita en México (38) y -
se le ha reportado como habitante de lagunas de oxi-
dación (Uhlmann, 1958/59) (17). Bodo edax está consi-
derada como especie indicadora de condiciones poli-
saprobias en el agua (Zelinka y Marvan, 1961 (17).

Bodo saltans Ehrenberg: desde 4 hasta 12 μm de lar-
go por 3 a 6 μm de ancho (17); el flagelo colgante -
es por lo menos dos veces más largo que el flagelo--
libre, el cual es más activo (29), con el cuerpo del-
gado. Habita en aguas estancadas y en aguas contami-
nadas y es coprozobico (38). Esta especie ha sido des-
crita en México (28). No se ha reportado con anterio-
ridad su presencia en lagunas de estabilización, pe-
ro si en canales de aguas negras (Sládecek, 1959; Ri-
co-Ferrat, 1975)(17) (38) y plantas de lodos activa-
dos (Hänel, 1970; Scherb, 1968) (17). Está considera-
do como indicador de condiciones α mesosaprobias -

(Zelinka y Marvan, 1961.

Bodo caudatus Dujardin: desde 4 hasta 25 μ m de largo el flagelo anterior mide de 1 a 1 1/2 veces el largo del cuerpo mientras que el flagelo colgante tiene de 1 1/4 a 2 veces la longitud del cuerpo (17), siendo éste aplanado y alargado (29). Vive en aguas estancadas y es coprozoico sobre heces fecales humanas -- (Wenyon, 1965) (50). Especie citada en México (38).- No había sido reportada su presencia en lagunas de oxidación pero sí en sistemas mecánicos de tratamiento (Calaway y Lackey, 1962; Rogovskaja, 1967) (17).- Es un organismo indicador de condiciones polisaprobias, en las que se le encuentra en grandes cantidades (Zelinka y Marvan, 1961) (17); es también uno de los protozoarios que se encuentran con mayor frecuencia en sistemas de tratamiento de aguas (6) (Ver láminas).

---Género Pleuromonas Perty

Pleuromonas jaculans Perty: cuerpo ovoide, de 6 a 10 μ m de largo (20); dos flagelos, el anterior más corto, grueso y activo; el flagelo recurrente tiene de 2 a 3 veces la longitud del cuerpo y sirve para la locomoción del organismo, que utiliza la extremidad distal de aquél como punto de apoyo para ejecutar -- los pequeños saltos mediante los que se desplaza -- (16); vive en aguas estancadas y en aguas contaminadas (38) (17) y es sensible a las bajas concentraciones de oxígeno (25). Especie citada en México (38).- No se le había encontrado en lagunas de oxidación, -- pero vive en otros sistemas de tratamiento (8). Se le considera organismo indicador de condiciones polisaprobias (3).

Familia: Bodomorphidae Hollande

Género: Bodomorpha Hollande

Bodomorpha minima Hollande: mide de 4 a 5 μ m de ancho por 3 a 4 μ m de largo, con una pequeña saliente rostral y dos flagelos, el anterior activo y más corto y con el colgante más largo (16); vive en aguas contaminadas y coprozoicas, alimentándose de bacterias (16). Especie citada en México, en donde se le ha encontrado viviendo en aguas negras y en aguas minerales embotelladas (38) (40). Su presencia no había sido reportada en sistemas de tratamiento de aguas (17)

Orden: Diplomonadida Wenyon modif. Brugerolle.

Suborden: Diplomonadina Wenyon modif. Brugerolle.

Familia: Hexamitidae Kent.

Género: Trepomonas Dujardin

Trepomonas agilis Dujardin: hasta 30 μ m de largo -- (22); el cuerpo es aplanado, con sección transversal en "S" y la mitad posterior más larga, con dos citomas laterales alargados, alrededor de cada uno de los cuales se encuentran 4 flagelos, 1 largo y 3 cortos (16). Es un organismo anaerobio estricto (Lacey, 1932)(6). Especie citada y descrita en México -- (18). Se ha reportado su presencia en lagunas de oxidación (Uhlmann, 1958/59; Uhlmann, 1964) (17). Bacteriófago (16). Es indicador de condiciones polisaprobias (Zelinka y Marvan, 1961, (17).

Suborden: Enteromonadina Brugerolle modif. Kulda y Nohynkova.

Familia: Tetramitidae Bütschli.

Género: Enteromonas de Fonseca

Enteromonas hominis De Fonseca: organismo que mide de 4 a 10 μ m de largo por 3 a 6 μ m de ancho, con 4 flagelos, 3 libres y dirigidos hacia adelante y el cuarto dirigido hacia atrás con su base pegada al cuerpo (24) (16); es comensal en el intestino grueso

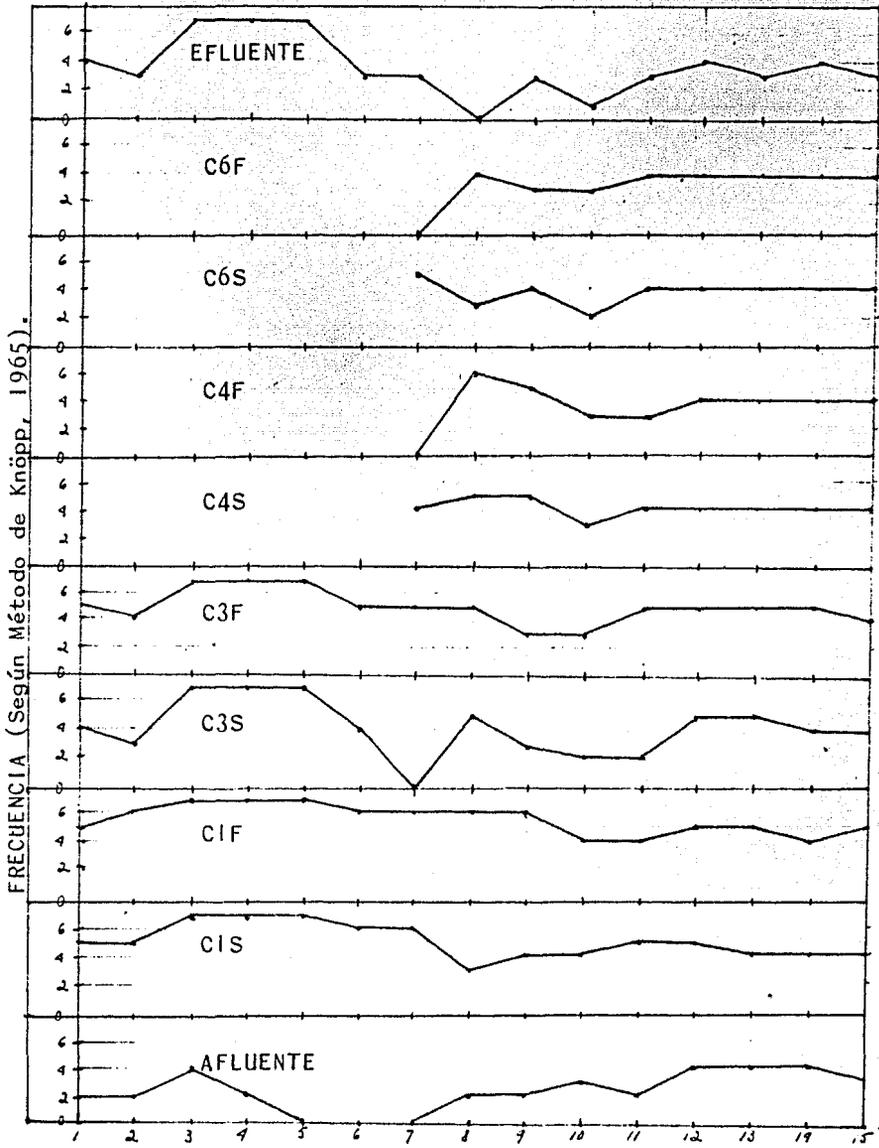
del hombre y forma quistes ovoides de 6 a 8 μ m por 4 a 6 μ m (16). Se le ha encontrado en excrementos diarrreicos. (29).

De las especies anteriormente mencionadas, - Pleuromonas jaculans y Enteromonas hominis, que aparecen una sola vez y en números muy bajos, son consideradas como ocasionales y no se les toma en cuenta para los diferentes análisis y gráficas.

En cuanto a la búsqueda en las aguas de las lagunas de quistes de zooflagelados parásitos, principalmente de Giardia intestinalis, mencionaremos que no se logró observar ninguno. Se investigaron especialmente las estaciones con mayor probabilidad de presencia (afluente, CIS y CIF), pero las altas cantidades de materia orgánica presente en las aguas de esos lugares y el pequeño tamaño de los quistes dificultaron la búsqueda.

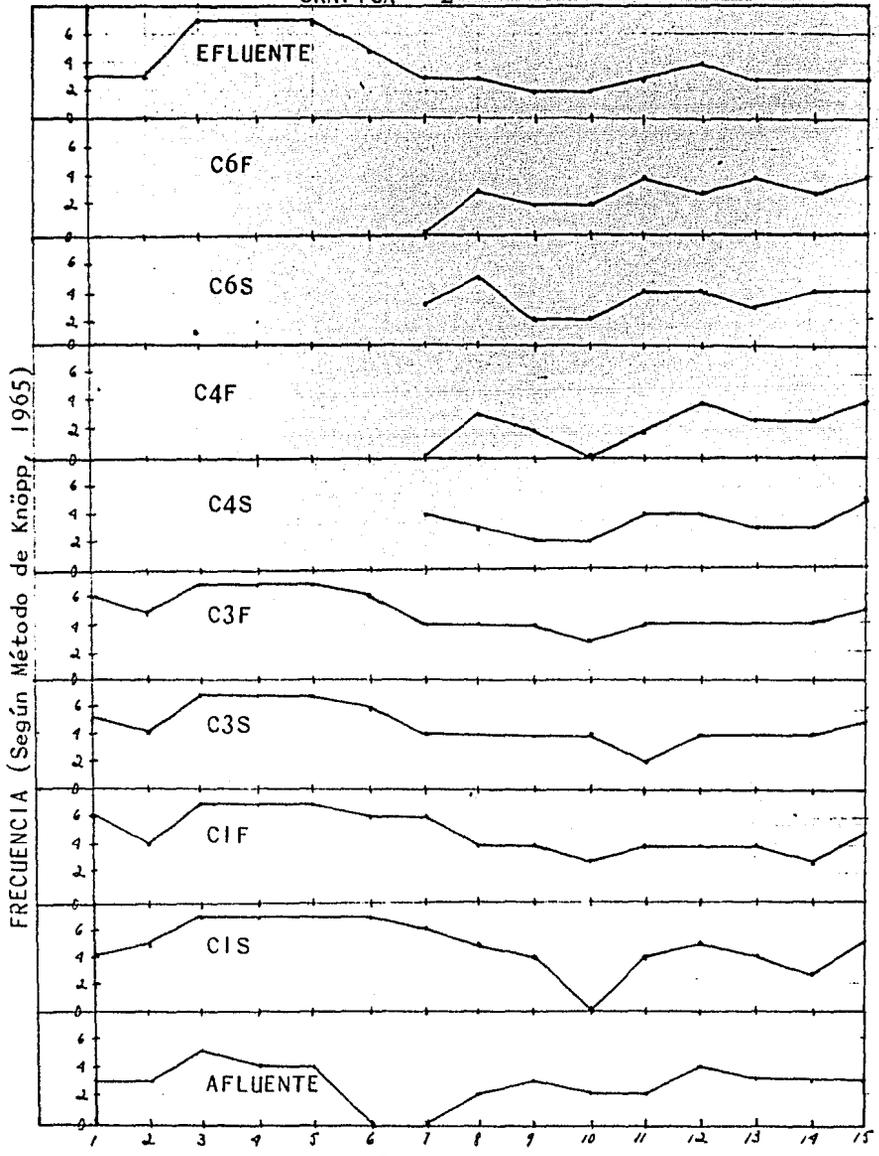
Se presentan, a continuación, las gráficas de la frecuencia de cada especie (determinada según el método de Knöpp, 1965) para cada estación y muestreo.

GRAFICA I



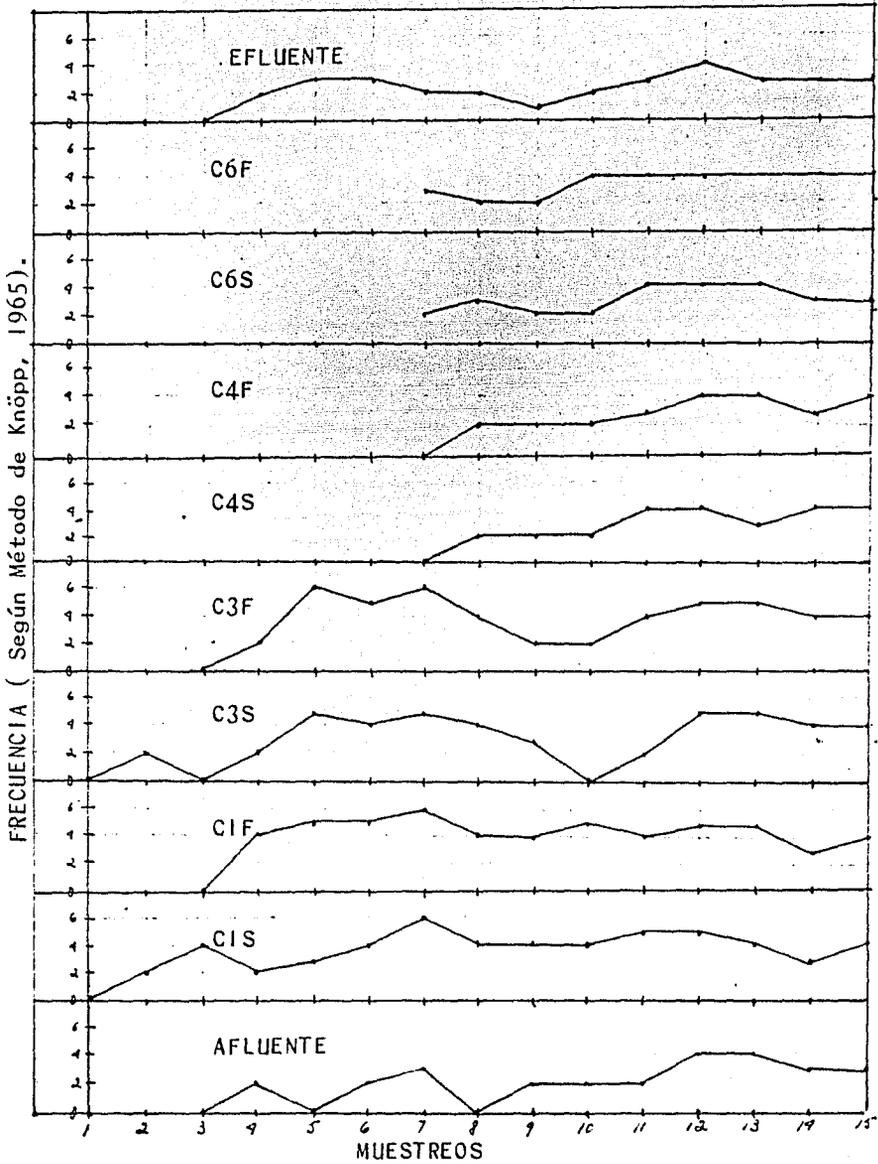
MUESTREOS
 FRECUENCIA: Bodo edax

GRAFICA 2

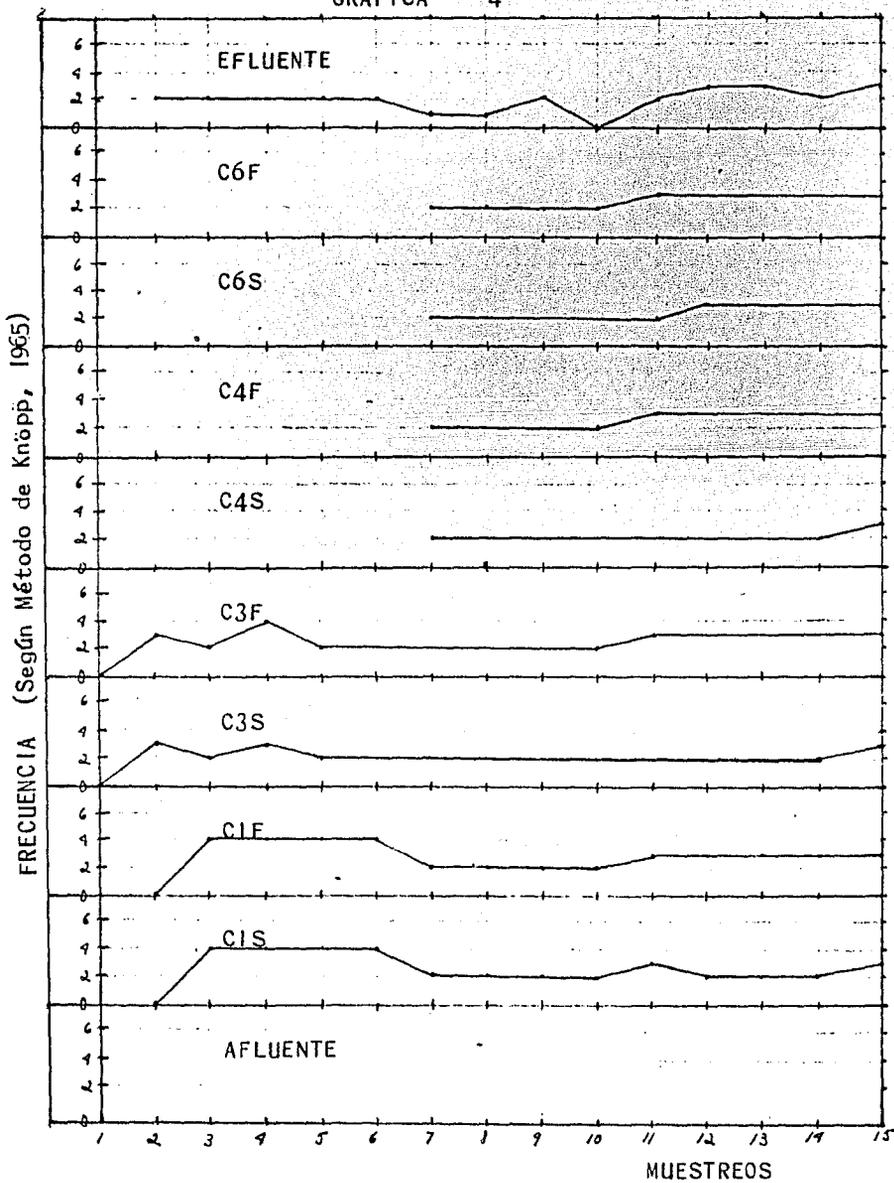


Frecuencia: Bodo saltans

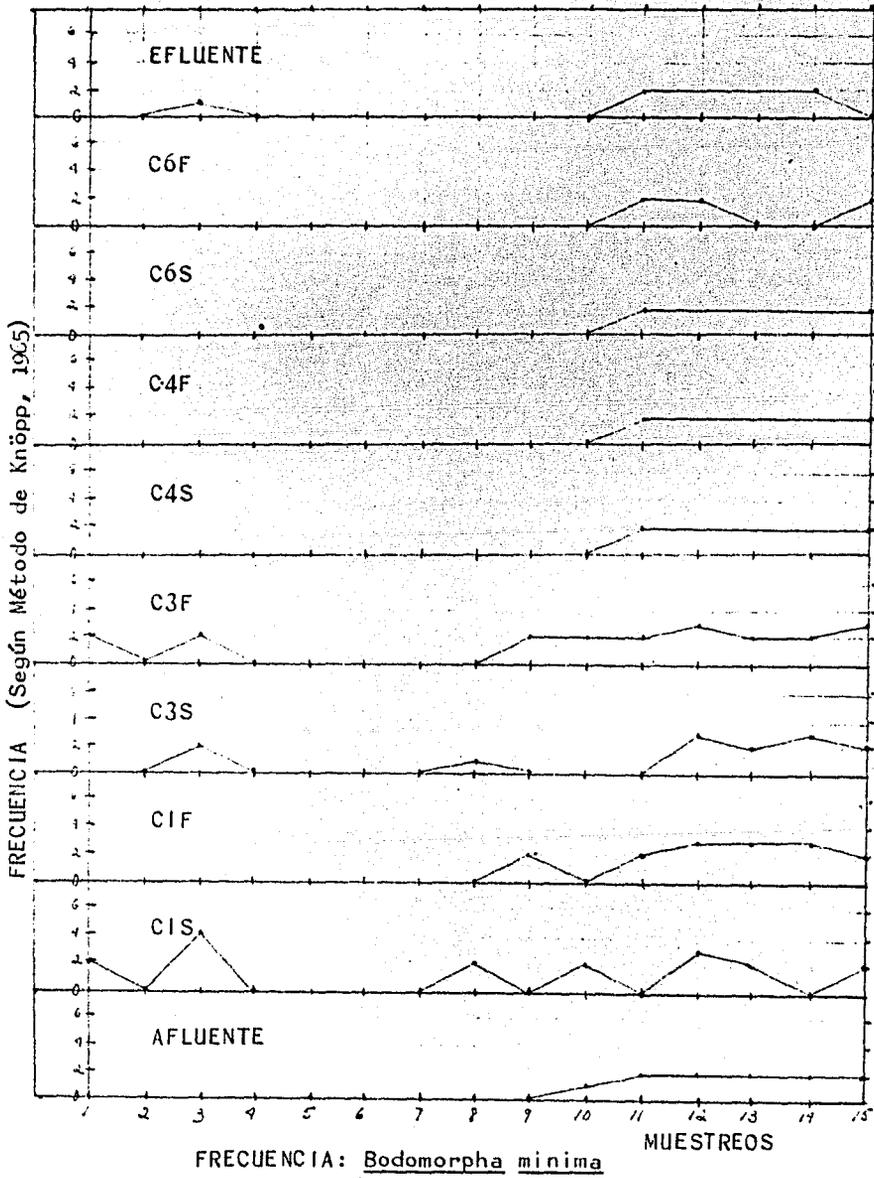
GRAFICA 3

FRECUENCIA: Bodo caudatus

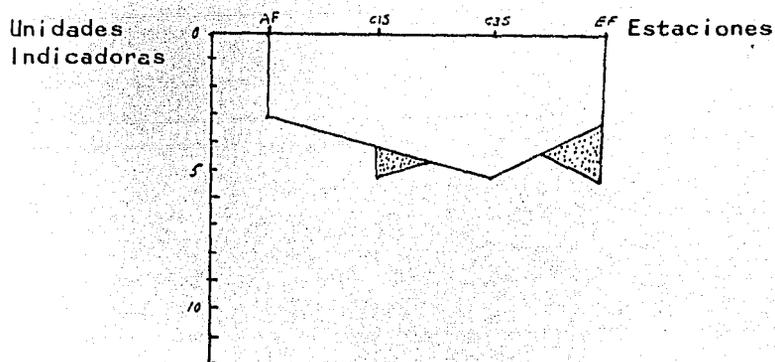
GRAFICA 4

FRECUENCIA: Trepomonas agilis

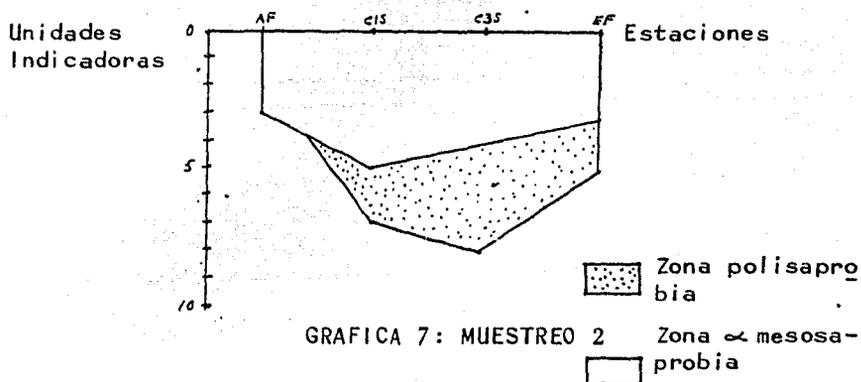
GRAFICA 5



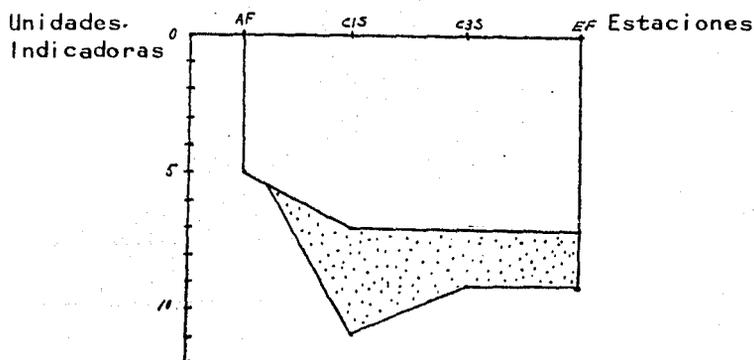
REPRESENTACION GRAFICA DE LA SECCION BIOLOGICA LONGITUDINAL DE LA CALIDAD DEL AGUA.



GRAFICA 6: MUESTREO 1

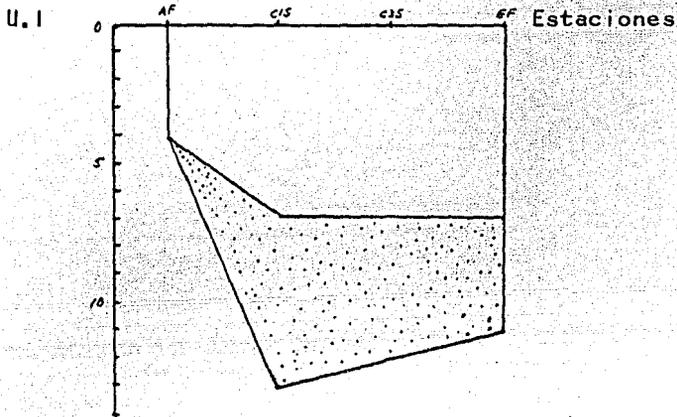


GRAFICA 7: MUESTREO 2



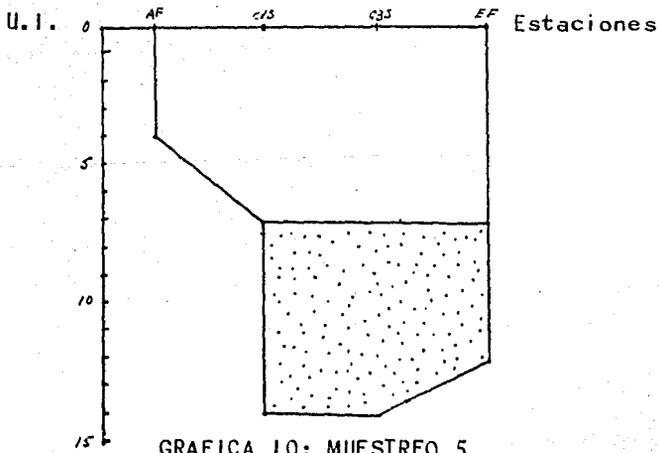
GRAFICA 8: MUESTREO 3

REPRESENTACION GRAFICA DE LA SECCION BIOLOGICA LONGITUDINAL DE LA CALIDAD DEL AGUA



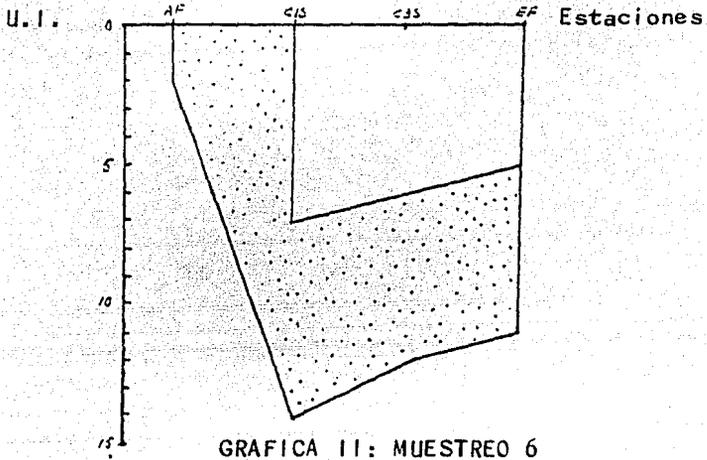
GRAFICA 9: MUESTREO 4

 Zona polisaprobica
 Zona α mesosaprobica

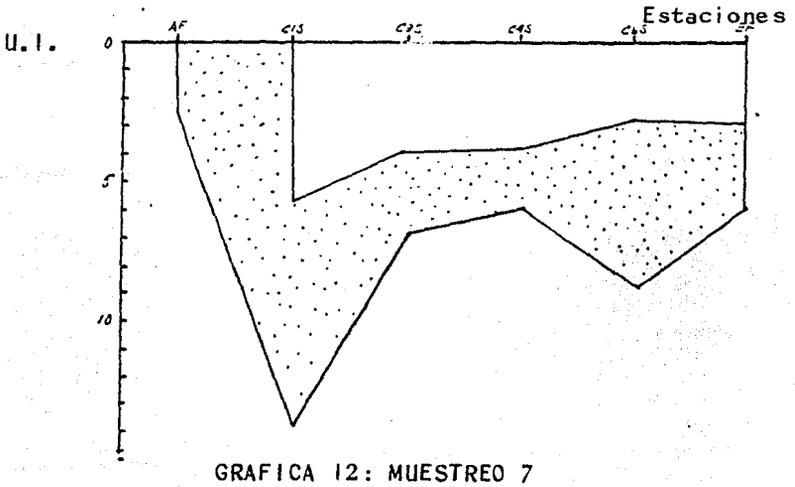


GRAFICA 10: MUESTREO 5

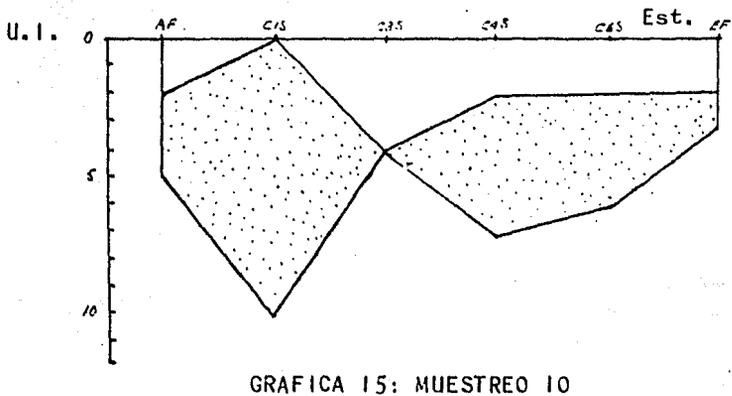
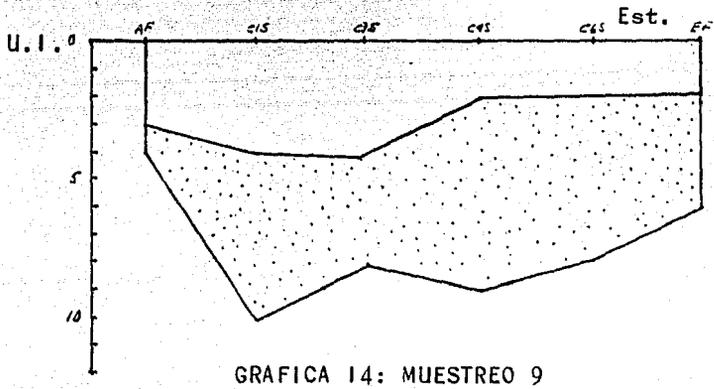
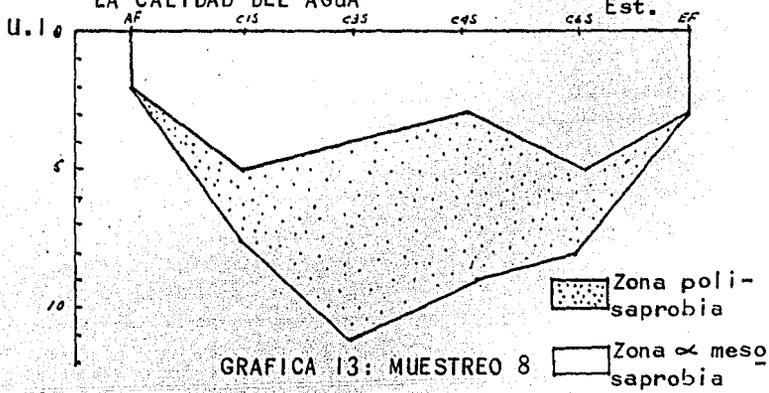
REPRESENTACION GRAFICA DE LA SECCION BIOLOGICA LONGITUDINAL DE LA CALIDAD DEL AGUA

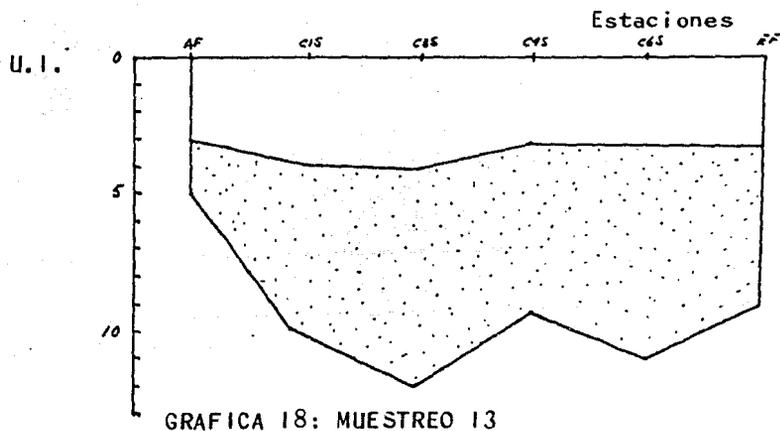
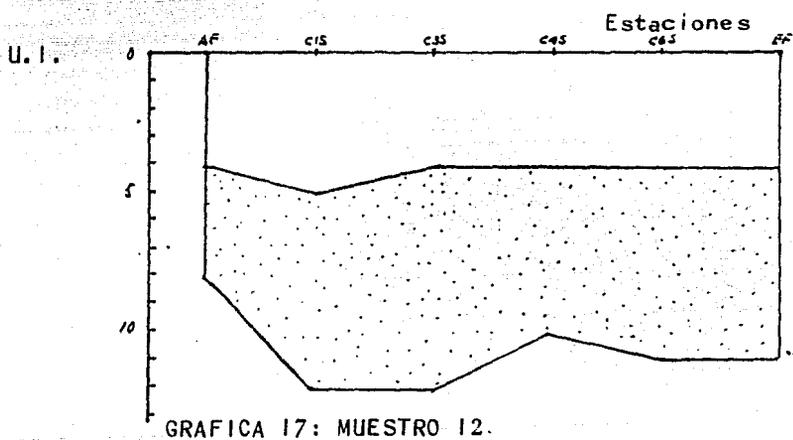
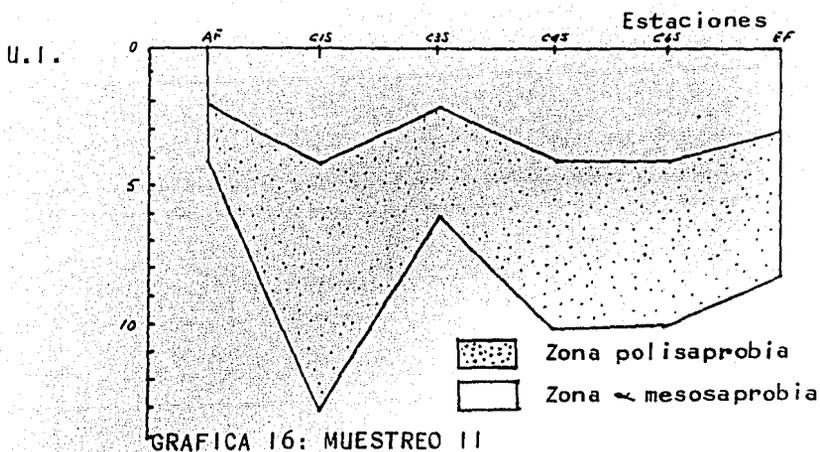


Zona α mesosaprobia
 Zona polisaprobia



REPRESENTACION GRAFICA DE LA SECCION BIOLOGICA LONGITUDINAL DE LA CALIDAD DEL AGUA





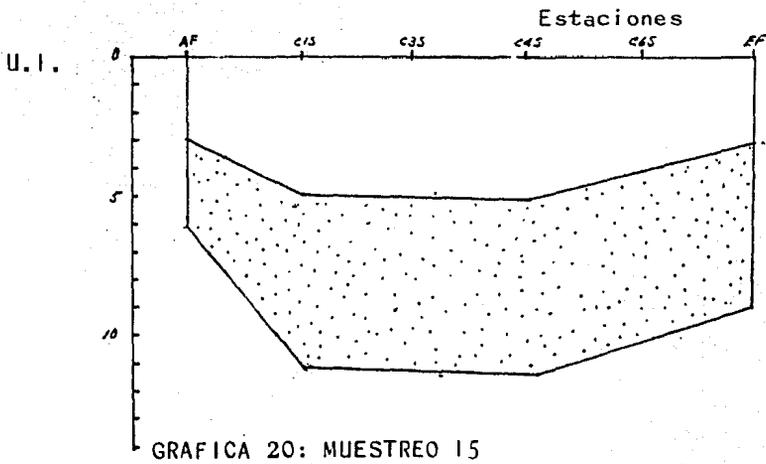
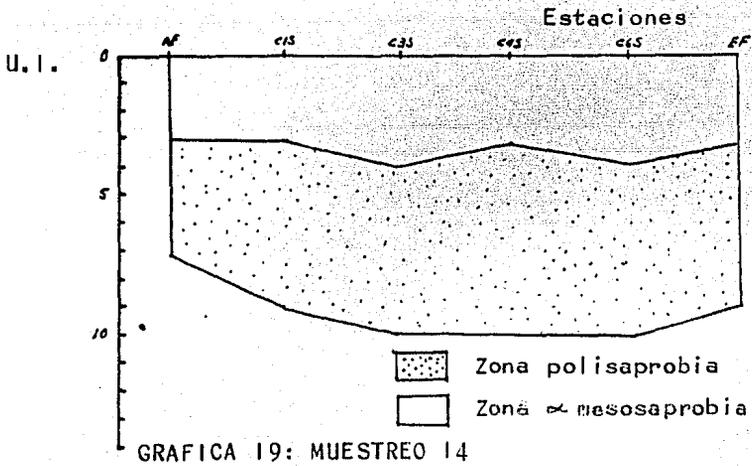


TABLA 1

Resultados de los Muestreos Intensivos

| PARAMETROS | OCTUBRE | | | | DICIEMBRE | | | | ENERO | | | |
|----------------------------------|---------------------------|--------------------------|------------------------|------|--------------------------|-------------|-------------------------|------|------------------|--------------|---------------|------|
| | 24 al 31 de 1981 | | | | 2 al 5 de 1981 | | | | 20 al 24 de 1982 | | | |
| | Afl. | Con. | Efl. | % R. | Afl. | Con. | Efl. | % R. | Afl. | Con. | Efl. | % R. |
| Gasto (l/seg) | 0.85 | - | 0.65 | - | 0.85 | - | 0.60 | - | 0.75 | - | - | - |
| D.B.O. _{5p} (mg/l) | - | - | - | - | 287 | 208 | 185 | 35.6 | 500 | 566 | 366 | 26.8 |
| D.Q.O. _p (mg/l) | 432 | 468 | 383 | 11.3 | 600 | 999 | 1590 | - | 1073 | 1993 | 1025 | 4.5 |
| Sólidos tota- los (mg/l) | 939 | 926 | 760 | 19.1 | 1410 | 1043 | 1030 | 26.9 | 2960 | 2670 | 2748 | 7.2 |
| Sólidos sus- pendidos (mg/l) | 519 | 391 | 320 | 38.3 | 248 | 172 | 222 | 10.5 | 1783 | 1695 | 1718 | 3.6 |
| Coliformes to- tales/100 ml. | 2400 x 10 ² | 160 x 10 ² | 4 x 10 ² | 99.8 | 460 x 10 ² | - | 98 x 10 ² | 78.7 | - | - | - | - |
| Coliformes fe- cales/100 ml. | 1100 x 10 ² | 14 x 10 ² | 4 x 10 ² | 99.6 | 460 x 10 ² | - | 98 x 10 ² | 78.7 | - | - | - | - |
| Estreptococos focales/100 ml. | 1100 x 10 ² | 4 x 10 ² | 0 | 100 | 98 x 10 ² | - | 4 x 10 ² | 95.9 | - | - | - | - |
| Temperatura ambiente (°C) | Máx. 16.2 | Mín. 9.2 | Prom. 13.4 | | Máx. 22.0 | Mín. 3.0 | Prom. 10.1 | | Máx. 22.0 | Mín. -2.0 | Prom. 10.0 | |

Clave: Afl. Afluente; Con. Conexión; Efl. Efluente; % R Porcentaje de remoción.

Máx. Máximo; Mín. Mínimo; Prom. Promedio; mg miligramos; l litro; seg segundo

°C grados centígrados

TABLA 1 (CONTINUACION)

Temperatura del agua (°C): Octubre.

Afluente: Mínima: 15.7 ; Promedio: 16.8 ; Máxima: 18.2
Conexión: Mínima: 14.2 ; Promedio: 16.6 ; Máxima: 19.8
Efluente: Mínima: 15.2 ; Promedio: 18.3 ; Máxima: 22.6

Temperatura del agua (°C): Diciembre.

Afluente: Mínima: 12.0 ; Promedio: 14.5 ; Máxima: 15.0
Conexión: Mínima: 11.0 ; Promedio: 14.9 ; Máxima: 22.0
Efluente: Mínima: 11.0 ; Promedio: 15.8 ; Máxima: 21.0

Temperatura del agua (°C): Enero.

Afluente: Mínima: 1.0 ; Promedio: 13.7 ; Máxima: 20.0
Conexión: Mínima: 8.0 ; Promedio: 14.0 ; Máxima: 21.0
Efluente: Mínima: 9.0 ; Promedio: 14.8 ; Máxima: 21.0

TABLA 2
OXIGENO DISUELTO

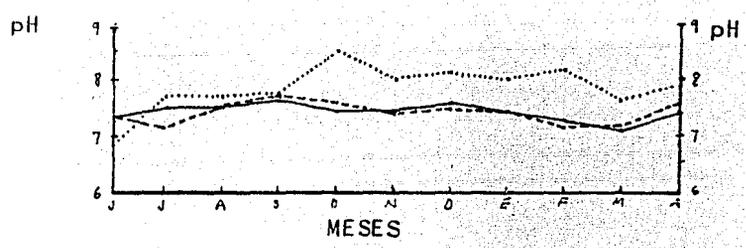
No se logró detectar concentración alguna de oxígeno disuelto en las aguas del sistema durante todo el tiempo en que se efectuaron los muestreos.

TABLA 3
TEMPERATURA AMBIENTAL

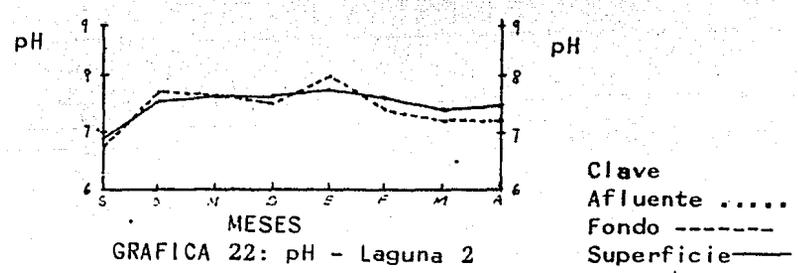
La temperatura ambiental durante la toma de las muestras (en los 15 muestreos regulares) se encontró siempre en el intervalo de 8 a 24°C, siendo el valor promedio de 16.4°C.

- o -

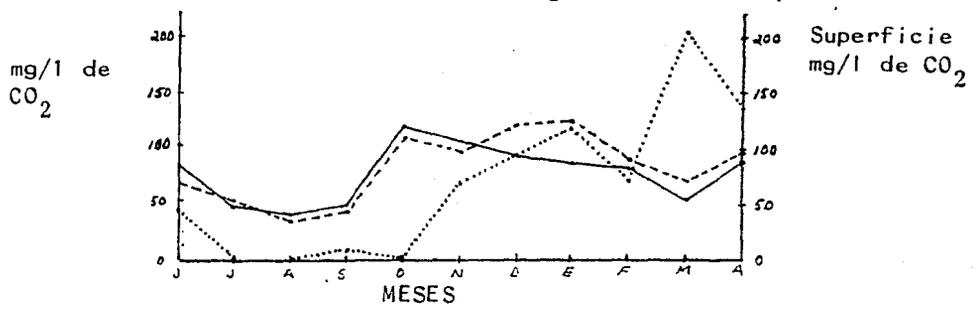
Las gráficas que siguen están hechas con base en el promedio mensual de los valores de los parámetros físicoquímicos para cada nivel. En las abscisas se presentan los meses de junio de 1981 a abril de 1982 (laguna 1) y septiembre de 1981 a abril de 1982 (laguna 2).



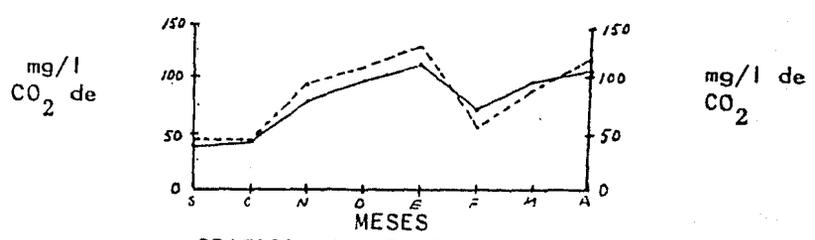
GRAFICA 21: pH - Laguna 1



GRAFICA 22: pH - Laguna 2

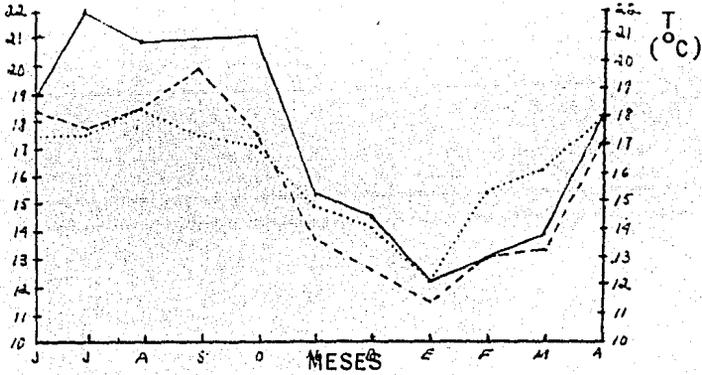


GRAFICA 23: CO₂ libre - Laguna 1



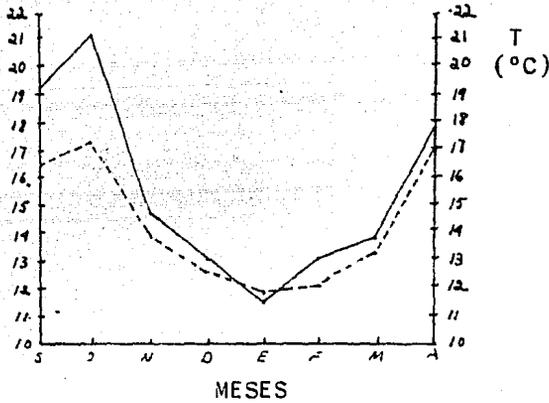
GRAFICA 24: CO₂ libre-latuna 2

T
(°C)



Gráfica 25: Temperatura - Laguna 1

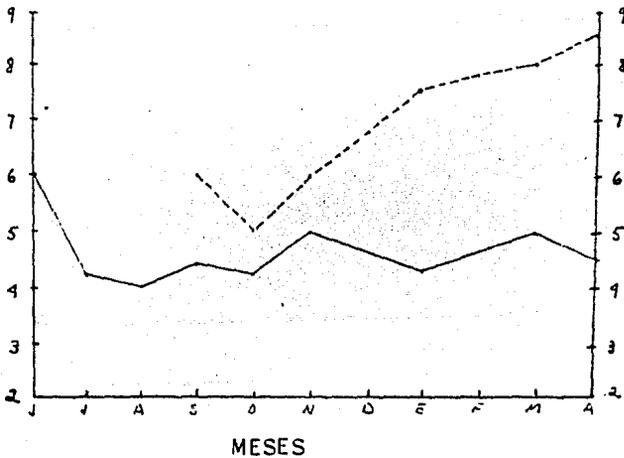
T
(°C)



Clave
Afluente.....
Superficie——
Fondo -----

Gráfica 26: Temperatura - Laguna 2

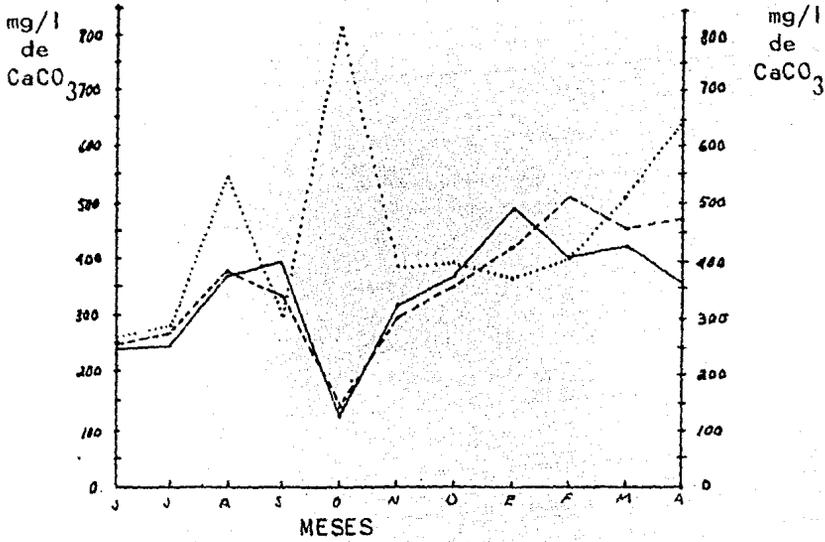
Tranp.
(cm.)



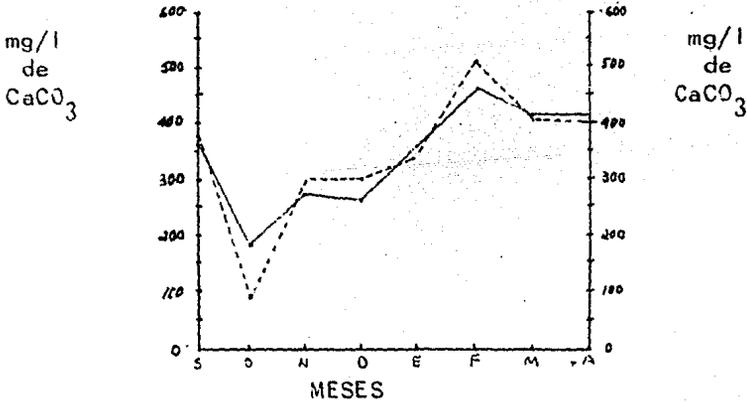
Tranp.
(cm)

Clave
Laguna 1 —
Laguna 2 -----

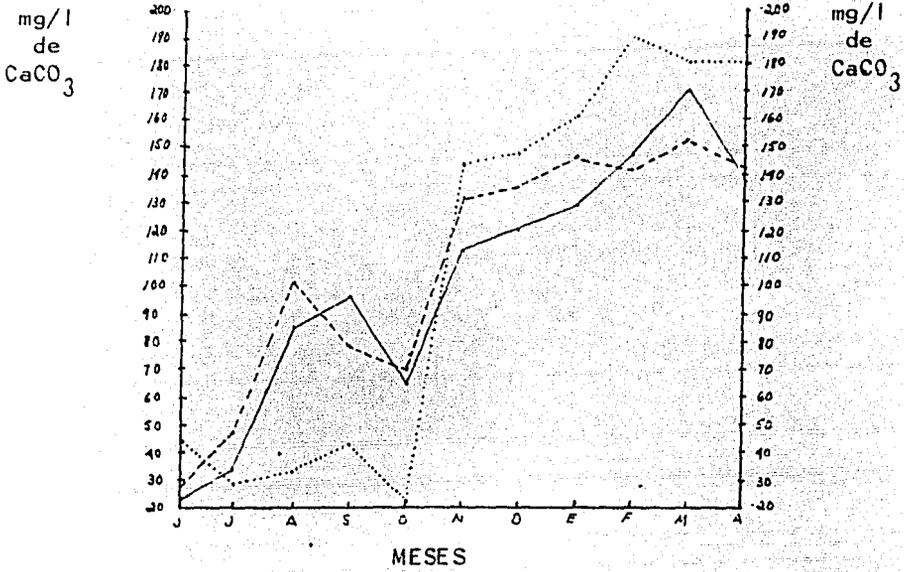
Gráfica 27 Transparencia - Lagunas 1 y 2.



Clave: Afluente..... Superficie — ; Fondo - - - -

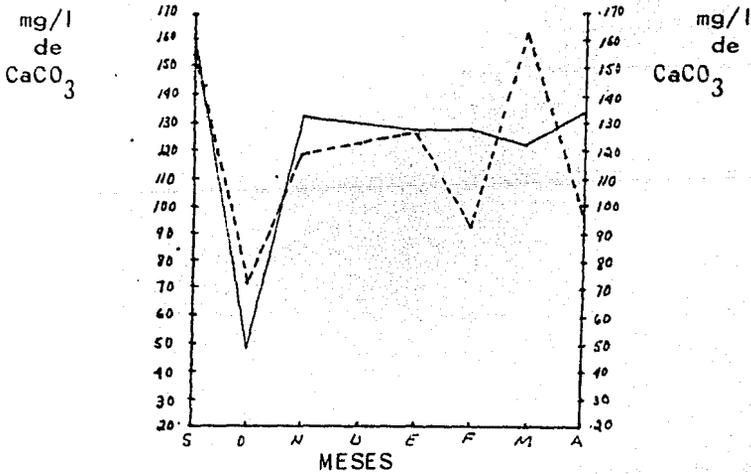


Gráfica 29: Alcalinidad - Laguna 2

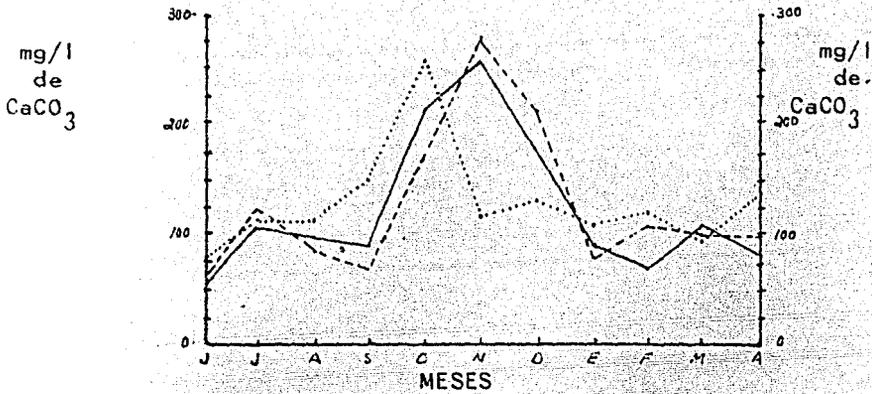


Gráfica 30: Acidez - Laguna 1

Clave: Alfuentes..... ; Superficie ——— ; Fondo - - - -

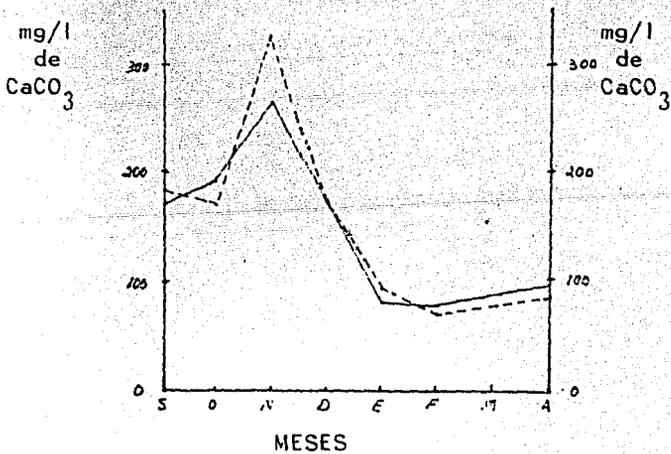


Gráfica 31: Acidez - Laguna 2



Gráfica 32: Dureza total - Laguna 1

Clave: AFLUENTE..... ; Superficie ———; Fondo - - - -



Gráfica 33: Dureza total - Laguna 2

TABLA 4

Resultados de las determinaciones de nutrientes

Nitrógeno en forma de amoniaco ($N-NH_3$ en ppm)

| | | |
|--|--|--|
| Afl. V. máx. 137.2 V. mín. 30.1 Prom. 71.7 | C1S V. máx. 36.7 V. mín. 22.4 Prom. 29.4 | C1F V. máx. 35.2 V. mín. 20.0 Prom. 29.3 |
| C3S V. máx. 44.8 V. mín. 14.0 Prom. 28.6 | C3F V. máx. 39.2 V. mín. 8.4 Prom. 31.2 | C4S V. máx. 28.0 V. mín. 15.6 Prom. 23.1 |
| C4F V. máx. 31.1 V. mín. 25.2 Prom. 27.4 | C6S V. máx. 30.8 V. mín. 11.2 Prom. 24.6 | C6F V. máx. 31.5 V. mín. 11.2 Prom. 22.6 |
| Efl. V. máx. 39.2 V. mín. 19.6 Prom. 29.9 | | |

Nitrógeno en forma de nitritos ($N-NO_2$ en ppm)

| | | |
|--|---|--|
| Afl. V. máx. 0.72 V. mín. 0.13 Prom. 0.502 | C1S V. máx. 0.81 V. mín. 0.39 Prom. 0.521 | C1F V. máx. 0.96 V. mín. 0.013 Prom. 0.501 |
| C3S V. máx. 0.73 V. mín. 0.32 Prom. 0.515 | C3F V. máx. 0.84 V. mín. 0.27 Prom. 0.580 | C4S V. máx. 0.73 V. mín. 0.067 Prom. 0.343 |
| C4F V. máx. 0.97 V. mín. 0.42 Prom. 0.673 | C6S V. máx. 1.76 V. mín. 0.45 Prom. 0.748 | C6F V. máx. 1.41 V. mín. 0.0 Prom. 0.571 |
| Efl. V. máx. 0.73 V. mín. 0.28 Prom. 0.536 | | |

Nitrógeno en forma de nitratos ($N-NO_3$ en ppm)

| | | |
|--|--|--|
| Afl. V. máx. 1.6 V. mín. 0.0 Prom. 0.805 | C1S V. máx. 3.3 V. mín. 0.0 Prom. 1.17 | C1F V. máx. 2.8 V. mín. 0.015 Prom. 1.01 |
|--|--|--|

Nitrógeno en forma de nitratos ($N-NO_3$ en ppm)

| | | |
|---|--|--|
| C3S V. máx. 2.6 V. mín. 0.0 Prom. 0.798 | C3F V. máx. 2.7 V. mín. 0.005 Prom. 1.13 | C4S V. máx. 2.6 V. mín. 0.011 Prom. 1.38 |
| C4F V. máx. 3.0 V. mín. 0.01 Prom. 1.6 | C6S V. máx. 2.8 V. mín. 0.015 Prom. 1.55 | C6F V. máx. 3.8 V. mín. 0.02 Prom. 1.38 |
| Efl. V. máx. 3.1 V. mín. 0.005 Prom. 1.17 | | |

Fósforo en forma de ortofosfatos (en ppm)

| | | |
|---|---|---|
| Afl. V. máx. 12.6 V. mín. 0.125 Prom. 2.905 | C1S V. máx. 8.4 V. mín. 0.212 Prom. 3.584 | C1F V. máx. 13.0 V. mín. 0.638 Prom. 5.28 |
| C3S V. máx. 4.97 V. mín. 0.175 Prom. 1.99 | C3F V. máx. 7.8 V. mín. 0.362 Prom. 3.00 | C4S V. máx. 3.3 V. mín. 0.498 Prom. 1.14 |
| C4F V. máx. 4.1 V. mín. 0.238 Prom. 1.325 | C6S V. máx. 4.6 V. mín. 0.162 Prom. 1.79 | C6F V. máx. 3.6 V. mín. 0.79 Prom. 2.195 |
| Efl. V. máx. 6.4 V. mín. 0.138 Prom. 2.54 | | |

Promedios y desviaciones estándar de la totalidad de los datos.

| | \bar{X} | s |
|-------------------|-----------|-------|
| N-NH ₃ | 33.46 | 17.65 |
| N-NO ₂ | 0.54 | 0.238 |
| N-NO ₃ | 0.5861 | - |
| Ortofosfatos | 2.787 | 2.19 |

Abreviaturas: V. máx. : Valor máximo V. mín.: Valor mínimo
Prom.: Promedio

TABLA 5

COEFICIENTES DE VARIACION POR ESTACIONES DE MUESTREO DE LAS PRINCIPALES VARIABLES FISICOQUIMICAS Y DE LAS FRECUENCIAS DE LAS ESPECIES DE ZOOPLANCTON MAS

| | IMPORTANTES (EN %) | | | | | | | | | |
|-----------------------|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Afl. | Efl. | C1S. | C1F. | C3S. | C3F. | C4S. | C4F. | C6S. | C6F. |
| Temperatura | 11.58 | 20.80 | 24.86 | 17.56 | 23.14 | 18.96 | 30.67 | 16.71 | 20.90 | 15.83 |
| CO ₂ Libre | 121.5 | 47.02 | 45.14 | 55.18 | 44.28 | 44.90 | 27.90 | 39.69 | 45.30 | 40.94 |
| pH | 6.55 | 2.90 | 2.90 | 4.23 | 2.52 | 2.95 | 2.00 | 2.69 | 7.31 | 8.65 |
| Alcalinidad total | 39.5 | 67.38 | 28.77 | 34.66 | 36.80 | 31.92 | 40.10 | 33.25 | 30.40 | 123.2 |
| Acidez | 66.93 | 68.89 | 58.17 | 53.39 | 55.88 | 48.92 | 33.03 | 45.71 | 25.11 | 24.42 |
| Dureza total | 48.64 | 39.23 | 80.97 | 87.22 | 87.22 | 76.22 | 99.77 | 88.62 | 102.9 | 105.4 |
| <u>E. odax</u> | 63.43 | 57.31 | 30.69 | 19.16 | 48.31 | 25.07 | 14.60 | 45.22 | 22.05 | 39.68 |
| <u>E. saltans</u> | 50.74 | 45.70 | 41.06 | 29.14 | 30.37 | 29.94 | 30.00 | 64.28 | 29.43 | 46.86 |
| <u>E. caudatus</u> | 81.86 | 61.92 | 41.24 | 55.35 | 62.99 | 64.90 | 50.19 | 49.60 | 28.86 | 47.14 |
| <u>T. agilis</u> | 0 | 52.28 | 54.09 | 49.93 | 34.05 | 37.92 | 15.78 | 20.62 | 21.56 | 20.62 |
| Bodomorpha minima | 131.2 | 151.7 | 119.6 | 130.9 | 136.5 | 88.13 | 94.86 | 94.86 | 94.86 | 150.0 |
| Promedio | 56.54 | 55.92 | 47.99 | 48.79 | 51.09 | 42.71 | 39.90 | 45.56 | 38.97 | 56.61 |

Clave: Afl. Afluente; Efl. Efluente; C: Centro ; F: Fondo; S: Superficie.

TABLA 6

Resultados del Análisis de Componente Principal

| VARIABLES | | SIGNIFICADO | |
|-----------|--|----------------------|--|
| V1 | | Temperatura del agua | |
| V2 | | Bióxido de carbono | |
| V3 | | Alcalinidad | |
| V4 | | Acidez | |
| V5 | | Dureza | |

| VARIABLE | MEDIA | DESV. ESTANDAR | CASOS |
|----------|----------|----------------|-------|
| V1 | 16.5317 | 3.5377 | 126 |
| V2 | 74.8865 | 40.8198 | 126 |
| V3 | 359.3222 | 121.8722 | 126 |
| V4 | 107.7059 | 56.3647 | 126 |
| V5 | 131.7143 | 110.8486 | 126 |

MATRIZ DE COEFICIENTES DE CORRELACION

| | V1 | V2 | V3 | V4 | V5 |
|----|----------|----------|----------|----------|----------|
| V1 | 1.00000 | -0.45283 | -0.31907 | -0.45666 | 0.00268 |
| V2 | -0.45283 | 1.00000 | 0.10992 | 0.45826 | 0.03584 |
| V3 | -0.31907 | 0.10992 | 1.00000 | 0.35014 | -0.16685 |
| V4 | -0.45666 | 0.45826 | 0.35014 | 1.00000 | -0.00077 |
| V5 | 0.00268 | 0.03584 | -0.16685 | -0.00077 | 1.00000 |

Determinante de la matriz de correlación: 0.4550280

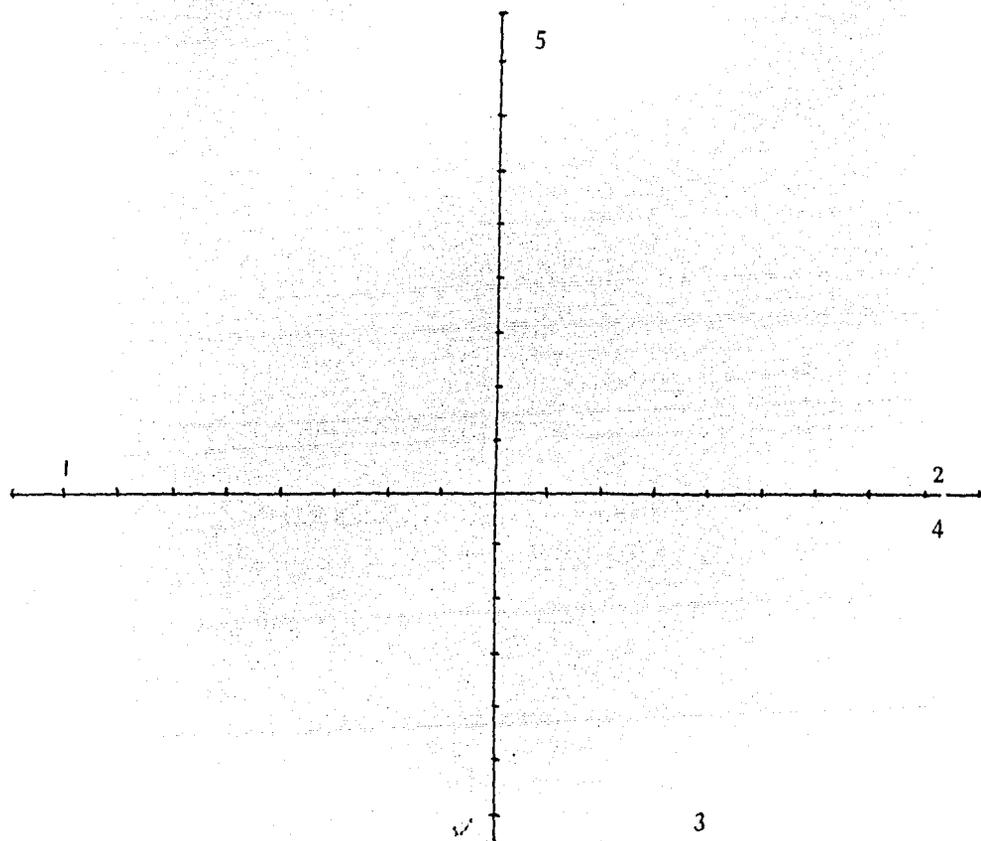
EIGENVALORES DE LOS COMPONENTES

| Componente | Eigenvalor | Porcentaje de Variabilidad | Porcentaje Acumulado |
|------------|------------|----------------------------|----------------------|
| 1 | 2.10184 | 42.0 | 42.0 |
| 2 | 1.11467 | 22.3 | 64.3 |
| 3 | 0.78421 | 15.7 | 80.0 |
| 4 | 0.54415 | 10.9 | 90.9 |
| 5 | 0.45514 | 9.1 | 100.0 |

EIGENVECTORES DE LOS COMPONENTES 1 Y 2

| Variables | Coeficientes para el componente | |
|-----------|---------------------------------|--------------|
| | Componente 1 | Componente 2 |
| V1 | -0.78462 | 0.12251 |
| V2 | 0.77372 | 0.13750 |
| V3 | 0.41464 | -0.64402 |
| V4 | 0.79220 | -0.14739 |
| V5 | 0.15475 | 0.84165 |

GRAFICA 34

Resultado del Análisis de Componente Principal
Representación Gráfica

Factor Horizontal: Componente 1

Factor Vertical: Componente 2

1: Temperatura del agua

2: Bióxido de carbono -
disuelto.

3: Alcalinidad

4: Acidez

5: Dureza

TABLA 7

PRUEBA DE t DE STUDENT ENTRE LOS DATOS DE AFLUENTE Y EFLUENTE
DE 6 VARIABLES FISICOQUIMICAS*

Temperatura.

$\bar{X}_{Af1.}$ 16.5666 $\bar{X}_{Ef1.}$ 17.1666

$s_{Af1.}$ 1.9260 $s_{Ef1.}$ 3.5704

Valor encontrado de t 0.5529

Valor de t en tablas (nivel de
significación del 0.05 %) 2.07

Grados de libertad 23

No hay diferencia significativa.

CO₂ libre.

$\bar{X}_{Af1.}$ 62.2666 $\bar{X}_{Ef1.}$ 65.6333

$s_{Af1.}$ 7.8909 $s_{Ef1.}$ 30.8678

Valor encontrado de t 0.4092

Valor de t en tablas (nivel de
significación del 0.05 %) 2.11

Grados de libertad 16

No hay diferencia significativa.

pH

$\bar{X}_{Af1.}$ 7.8 $\bar{X}_{Ef1.}$ 7.5666

$s_{Af1.}$ 0.5113 $s_{Ef1.}$ 0.2222

Valor encontrado de t 1.62

Valor de t en tablas (nivel de
significación del 0.05 %) 2.0860

Grados de libertad 20

No hay diferencia significativa

Alcalinidad.

$\bar{x}_{Af1.}$ 437.98 $\bar{x}_{Ef1.}$ 321.733

$s_{Af1.}$ 173.029 $s_{Ef1.}$ 67.38

Valor encontrado de t 2.42

Valor de t en tablas (nivel de significación del 0.05 %) 2.093

Grados de libertad 19

Sí hay diferencia significativa.

Acidez

$\bar{x}_{Af1.}$ 106.86 $\bar{x}_{Ef1.}$ 85.60

$s_{Af1.}$ 71.53 $s_{Ef1.}$ 58.80

Valor encontrado de t 0.8891

Valor de t en tablas (nivel de significación del 0.05 %) 2.045

Grados de libertad 29

No hay diferencia significativa.

Dureza

$\bar{x}_{Af1.}$ 125.06 $\bar{x}_{Ef1.}$ 103.33

$s_{Af1.}$ 60.84 $s_{Ef1.}$ 35.38

Valor encontrado de t 1.1956

Valor de t en tablas (nivel de significación del 0.05 %) 2.0639

Grados de libertad 24

No hay diferencia significativa

* Hipótesis contrastada $\mu_1 = \mu_2$. Las varianzas poblacionales se suponen desconocidas y desiguales. Se usó la aproximación de Welch (1947) (37).

D I S C U S I O N

Condiciones físicas y químicas del agua en las lagunas.

El no haber logrado detectar oxígeno disuelto en el agua de los estanques (Tabla 2) nos indica que el sistema funciona predominantemente como anaerobio. Es probable que exista una pequeña capa oxigenada - cerca de la superficie, pero que las concentraciones de O_2 en ella sean tan pequeñas que no pudieron ser medidas con el método usado. Entre las causas de la existencia de las condiciones anaerobias están la -- gran cantidad de materia orgánica que llega al sistema, cuya descomposición requiere de oxígeno (55), y la escasa penetración de la luz en el agua, provocada por los materiales en suspensión (27), que reducen la energía luminosa disponible para la fotosíntesis, (Gráfica 27).

En condiciones anaerobias la descomposición - de los desechos es más lenta (30); el funcionamiento adecuado de las lagunas anaerobias depende fundamentalmente de dos factores: pH y temperatura (10). Los valores de pH en los estanques estudiados están casi siempre, en el intervalo adecuado (mayor a 7) (30), -- según se aprecia en las gráficas 21 y 22. En el caso de la temperatura del agua existe un lapso considerable en el que los valores registrados (Gráficas 25 y 26) están por debajo de los $15^{\circ}C$ necesarios para el funcionamiento eficiente de estanques anaerobios (10). Durante el período mencionado, la eficiencia del -- sistema fue baja: los datos de la tabla 1 nos muestran que la remoción de parámetros como la $D.B.O._5$, la $D.Q.O.$ y los sólidos totales y suspendidos, disminuye al descender la temperatura, alcanzando el mínimo en enero, el mes más frío.

En lo que respecta al comportamiento de la temperatura en las diferentes estaciones de muestreo, observamos que las coeficientes de variación (Tabla 5), son, con respecto a los de otras variables, bajos. El nivel superficial de todas las estaciones presenta coeficientes de variación ligeramente superiores a los del resto del sistema, lo que se explica por la influencia que factores como la radiación solar y las corrientes de aire ejercen sobre la superficie del agua en los estanques, provocando que las variaciones de temperatura en este nivel sean mayores (3).

Las gráficas 25 y 26 producen la impresión de que el agua de las lagunas se encuentra estratificada térmicamente casi permanentemente (53). Pero es probable que esto se deba a la hora en que se realizaron los muestreos, en la que el sol ha podido calentar la superficie del agua pero el calor no ha llegado aun al fondo. Quizá algunas horas después, en la tarde, la temperatura del agua en los estanques sea más uniforme, colaborando en este proceso la transmisión del calor desde la superficie y la circulación del agua provocada por corrientes de aire (3). Lo anterior significa que la existencia de una termoclina estaría limitada a algunas horas del día.

La concentración de CO_2 libre en el agua de las lagunas es alta (Gráficas 23 y 24). La mayor parte de este CO_2 procede del metabolismo de las bacterias metanogénicas (30); otra porción sería producto de la respiración aerobia de algunos microorganismos en la capa superior del agua, y otra parte de la actividad de las bacterias oxidadoras del metano, que podrían vivir en el estrato microaerófilo cercano a la superficie (53).

El comportamiento del CO_2 libre a lo largo -

del tiempo (Gráficas 23 y 24) se explica por la interacción de la temperatura, la respiración y descomposición realizada por los microorganismos, y la fotosíntesis algal (30 (31)). El ascenso moderado de la temperatura acelera la descomposición bacteriana y la respiración, así como el consumo de CO_2 por las algas; al mismo tiempo, disminuye la solubilidad del bióxido de carbono en el agua (53). Durante los meses de junio a septiembre, con temperaturas altas, la concentración de CO_2 en el agua es menor. Al descender la temperatura disminuyen la respiración, la descomposición y la fotosíntesis, mientras que la solubilidad del gas en el agua aumenta. Por tanto, durante los meses fríos del año la concentración de CO_2 libre en el sistema es mayor. Al aumentar nuevamente la temperatura el CO_2 libre disminuye (Gráficas 23 y 24).

La acidez del agua en el sistema es producida por el CO_2 disociado (53), por H_2S (2) producto del metabolismo de las bacterias que reducen desasimilatoriamente los sulfatos en condiciones anaerobias (35) y de las bacterias metanogénicas (30), así como por ácidos orgánicos y sustancias húmicas (53). Todos estos compuestos contribuyen a los altos valores de acidez encontrados.

A lo largo del tiempo la acidez presenta un incremento constante en sus valores, que puede ser causado por la acumulación de sustancias como ácidos orgánicos y compuestos húmicos (53). En la laguna 1 los valores más pequeños se registraron en el mes de junio y los mayores en febrero y marzo (Gráfica 30). La laguna 2 muestra un comportamiento ligeramente diferente, con los valores menores en octubre y los mayores en marzo y abril (Gráfica 31).

La alcalinidad del agua de las lagunas se debe en su totalidad a la presencia de bicarbonatos (2), hecho que está de acuerdo con el intervalo de -

valores de pH registrado; a valores de pH de entre 7 y 8 corresponden proporciones de 75 a 95% de bicarbonatos dentro del sistema CO_2 -bicarbonatos-carbonatos (31). Además, las condiciones anaerobias favorecen la producción bacteriana de bicarbonato de amonio (53) y la liberación desde los sedimentos de bicarbonatos de fierro y manganeso (19). Todos estos procesos contribuyen a las elevadas alcalinidades medidas en las lagunas (Gráfica 28 y 29). El contenido de bicarbonato del agua es el factor principal que determina la capacidad amortiguadora contra cambios bruscos en el pH (31); gracias a su elevado contenido en bicarbonatos el agua del sistema presenta casi siempre valores de pH cercanos a la neutralidad (Gráficas 21 y 22).

La dureza total en las lagunas muestra variaciones muy notables, pues mientras en los meses de junio a septiembre pueden clasificarse como aguas blandas o moderadamente duras (de 0 a 150 mg/l de CaCO_3) (12), en los meses de octubre, noviembre y diciembre de 1981 se vuelven duras (hasta 300 mg/l de CaCO_3) (12) o muy duras (más de 300 mg/l de CaCO_3) (12),³ según se aprecia en las gráficas 32 y 33.³ Este considerable aumento pudo ser causado por la elevada dureza del afluente en el mes de octubre (Gráfica 32), de manera que los iones Ca^{+2} se acumularon en el sistema. Estos iones pueden formar complejos con compuestos orgánicos tales como aminoácidos, ácidos grasos y ácidos húmicos cuando las condiciones son aerobias; si las condiciones se tornan anaerobias los complejos formados se destruyen, liberándose el calcio (19). Probablemente un fenómeno de este tipo interviene en la variación de la dureza en las lagunas a lo largo del año.

La formación de amoniaco se ve favorecida por el predominio de las condiciones anaerobias (9), por lo que las concentraciones de este compuesto son

elevadas (Tabla 4). Pero los nitritos y nitratos, que deberían encontrarse en bajas cantidades (9), presentan, especialmente los últimos, valores muy altos (Tabla 4), superiores a la concentración promedio de otras aguas negras (41). En la capa superficial de los estanques deben vivir algunas bacterias nitrificantes; la concentración mínima de oxígeno a la cual todavía es posible la nitrificación es de ≈ 0.3 mg/l de O_2 (53), concentración que probablemente sí existía en la capa superficial.

La concentración de ortofosfatos en el agua varía considerablemente (Tabla 4). Esta variación está relacionada con su utilización por los organismos autotrófos y por algunas bacterias (53).

Tomando en consideración los coeficientes de variación de los parámetros temperatura del agua, CO_2 libre, alcalinidad total, pH, acidez y dureza (Tabla 5), y obteniendo el promedio por estación, resulta que el sistema, en general, presenta un comportamiento similar; el afluente y la estación 6F son los puntos que tienen los promedios más elevados (Tabla 5).

El análisis de componente principal que se hizo con los datos de temperatura del agua, CO_2 libre, acidez, alcalinidad total y dureza total, arrojó el siguiente resultado: el primer componente agrupa el 42% de la variación total y es un contraste entre la temperatura del agua y la acidez, CO_2 libre y alcalinidad (Tabla 6) (21). El segundo componente tiene el 22.3% de la variación total y es también un contraste, ahora entre la dureza total y la alcalinidad total (Tabla 6).

El primer componente puede interpretarse como la relación entre la temperatura del agua y las -

condiciones químicas en el sistema, diciéndonos que la temperatura tiene un efecto notable sobre la proporción de compuestos como los bicarbonatos, sustancias ácidas y CO_2 libre (21). El segundo componente nos indica la existencia de una relación inversa entre la dureza total y la alcalinidad total. Este fenómeno, evidente también en las gráficas 28, 29, 32 y 33 no puede ser explicado. Una hipótesis que creemos interesante comprobar involucraría al algún fenómeno no estudiado todavía de intercambio catiónico en micelas de materia orgánica o algún otro tipo de compuesto capaz de adsorber los cationes.

La gráfica 34 nos muestra la ubicación de cada una de las variables analizadas con respecto a los dos componentes principales encontrados. Las variables ubicadas en los extremos de los ejes son las de mayor importancia. Como puede verse, la temperatura es la variable más importante con respecto al componente 1, mientras que la dureza total lo es con respecto al componente 2.

Con los datos de los 5 parámetros mencionados, más el pH se hicieron pruebas de "t" para determinar si existían diferencias significativas entre los valores de los parámetros a la entrada y a la salida del sistema (37). Los resultados (Tabla 7) indican que, con un nivel de significación del 0.05%, no existen diferencias significativas entre afluente y efluente para las variables temperatura del agua, CO_2 libre, acidez, pH y dureza total. En el caso de la alcalinidad, y para el mismo nivel de significación, sí existe diferencia significativa entre el afluente y el efluente (37).

Los Protozoarios Zooflagelados en el Sistema de Lagunas.

Los resultados nos muestran que 5 de las 7 es

pecies encontradas pertenecen al suborden Bodonina-
del orden Kinetoplastida. La mayoría de las espe-
cies de este suborden son de vida libre (16) y se
les encuentra en casi todos los sistemas de trata-
miento biológico (6) (17).

La constante presencia en el agua del siste-
ma de especies como Bodo edax y Bodo saltans nos ha
bbla de su capacidad para resistir las condicio-
ambientales de los estanques y las variaciones que
en ellas se presentan. Se ha reportado que las dos
especies mencionadas son también habitantes comunes
del suelo (28), y como el agua del sistema está en
contacto directo con la tierra, ésta pudo convertir
se en una fuente de organismos para el agua. El
afluente también aporta cantidades variables de zoo-
flagelados (Gráficas 1 a 5).

B. edax y B. caudatus están consideradas co-
mo especies indicadoras de condiciones polisapro-
bias (17) y B. saltans como indicadora de condicio-
nes mesosaprobias (17). Esto nos indica que di-
chas especies pueden vivir con concentraciones de
oxígeno muy bajas (el caso de las dos primeras) o
ligeramente mayores. Por tanto, al encontrarlas
abundantemente en los estanques podemos suponer que
existe en el agua al menos una pequeña concentra-
ción de oxígeno disuelto, o bien que éste existe al
menos durante ciertos lapsos. Por otra parte, la
presencia de números considerables de Trepomonas
agilis, especie polisaprobica (17) y además anaero-
bia estricta (6), nos habla de la existencia de zo-
nas y lapsos definitivamente anaerobios. Al encon-
trar en las mismas muestras especies del género Bo-
do e individuos de T. agilis nos indica que las espe-
cies de Bodo son capaces de soportar, al igual que
otros muchos protozoarios aerobios, largos períodos
de ausencia de oxígeno (48); por otra parte, T. agi-
lis debe ser capaz de sobrevivir aún cuando existan

pequeñas concentraciones de oxígeno.

La influencia de los cambios en los parámetros físicos y químicos del agua sobre las especies de zooflagelados presentes en el sistema no es muy clara. En general, podemos considerar que B. saltans, B. edax, B. caudatus y T. agilis son especies "euri" (34) con respecto a temperatura, CO₂ libre, alcalinidad, pH, acidez y dureza. Se sabe que el aumento moderado de la temperatura acelera la velocidad de reproducción de los protozoarios (48). En las lagunas, cuando se registran las temperaturas del agua más elevadas la frecuencia de B. edax y B. saltans es muy alta (Gráficas 1, 2 y 25).

Cuando los factores físicos y químicos del agua se encuentran dentro del intervalo de tolerancia de una especie determinada de protozoario, la abundancia de ésta depende de la cantidad de alimento disponible (48). En el caso de las lagunas, todas las especies de zooflagelados de vida libre encontradas se alimentan de bacterias. Además, B. saltans, B. caudatus y Bodomorpha minima con coprozoicos, por lo que podemos suponer que su principal alimento lo constituyen las bacterias del tipo de las coliformes y estreptococos fecales. Estos dos tipos de bacterias se encuentran en gran abundancia en el agua del sistema (Tabla 1); esto ayuda a explicar la gran cantidad de protozoarios zooflagelados presentes en ambos estanques durante la mayoría de los muestreos. En lagunas de la India se ha observado que durante los meses cálidos el número de bacterias coliformes aumenta considerablemente (22); quizá un fenómeno de este tipo, unido al incremento en la temperatura, explique la gran abundancia de B. edax y B. saltans durante los meses de julio y agosto de 1981 (Gráficas 1 y 2). En esta época las dos especies mencionadas se convierten en los consumidores principales en los estanques.

De las 5 especies más frecuentes, Bodomorpha minima es la que ocupa el quinto sitio (Gráfica 5), y la que tiene mayores coeficientes de variación -- (tabla 5), hechos que se relacionan con su desaparición total del sistema durante los meses de agosto y septiembre; reaparece en el mes de octubre y permanece en el agua de las lagunas durante el resto del tiempo, aunque siempre en baja frecuencia. La desaparición de esta especie durante el lapso mencionado, que coincide parcialmente con una gran abundancia de B. edax y B. saltans, puede hacer pensar en la existencia de una relación de competencia entre estas dos especies y B. minima. Además, cabe mencionar que esta es la primera vez que se cita la presencia de este protozoario en sistemas de tratamiento de aguas residuales.

Las especies que se encontraron esporádicamente fueron Pleuromonas jaculans y Enteromonas hominis. A pesar de que algunos autores consideran a P. jaculans como especie indicadora de condiciones polisaprobias (31), otros afirman que es muy sensible a las bajas concentraciones de oxígeno (25). Durante todos los muestreos sólo se observó un organismo de esta especie.

El haber encontrado en el agua de los estanques formas trofozoicas de Enteromonas hominis es un hecho raro, pues el habitat de este protozoario es el intestino grueso del hombre, en el que vive como comensal (24). Quizá los individuos hallados fueron expulsados en algunas heces diarreicas y sobrevivieron un breve tiempo en las lagunas, lapso que coincidió con el muestreo. Esta especie sólo se observó en un muestreo.

Puede hablarse de una cierta sucesión entre las especies de zooflagelados que habitan en los estanques. Al principio del estudio encontramos que

B. saltans es la especie más abundante, seguido muy de cerca por B. edax (Gráficas 1 y 2); B. caudatus- (gráfica 3), I. agilis (Gráfica 4) y Bodomorpha mi- nima (Gráfica 5) se encuentran en números bajos. Al pasar el tiempo la frecuencia de B. saltans disminu- ye ligeramente mientras se incrementan las de B. - edax y B. caudatus. Estas dos especies llegan a ser las más frecuentes, desplazando hasta el tercer sitio a B. saltans. I. agilis muestra pequeñas oscila- ciones en su frecuencia y Bodomorpha minima tiene- un comportamiento muy irregular.

Los cambios en la frecuencia de las diferen- tes especies deben estar relacionados con las condi- ciones del sistema. Al inicio del estudio la canti- dad de materia orgánica acumulada en el sistema era menor y, por tanto, predominaba B. saltans, indica- dor α -mesosaprobio; (39) al aumentar el enriqueci- miento del medio con materiales orgánicos, por el - contínuo aporte del afluente, B. edax, indicador - polisaprobio (17) y B. caudatus, también especie po- lisaprobio (17), aumentan en frecuencia y desplazan a B. saltans. I. agilis, especie que también es indi- cadora de condiciones polisaprobias aumenta ligera- mente su frecuencia.

En las gráficas 6 a 20 se representa lo que - Knöpp (1965) (47) denominó "sección biológica longi- tudinal de la calidad del agua", para las diferen- tes estaciones superficiales del sistema de estan- ques y para cada uno de los muestreos realizados. - Para hacer estas gráficas, según el método original debe tomarse en cuenta la presencia y frecuencia - de todos los organismos indicadores encontrados; este método, creado para agua corriente, considera a la- población animal y vegetal de la ribera y de la zo- na del fondo de un trecho de río, aunque también ha sido aplicado satisfactoriamente a embalses (47). - Debe remarcarse el hecho de que las gráficas de la-

sección biológica longitudinal de la calidad del agua presentadas en este trabajo están hechas, a diferencia del método original, considerando únicamente los datos de frecuencia de las especies de zooflagelados indicadores de contaminación encontrados en los estanques, en el nivel superficial de las diferentes estaciones. A continuación discutiremos, auxiliándonos de diversos datos fisicoquímicos, la exactitud con la que dichas gráficas reflejan las condiciones del agua en el sistema.

Durante los tres primeros muestreos (Gráficas 6 a 9) se observa una zona α mesosaprobias amplia con pequeñas regiones polisaprobias; la amplitud de la zona polisaprobias va aumentando paulatinamente (Gráficas 10 a 20), lo cual está relacionado con la acumulación de materia orgánica en el sistema. En la mayoría de los muestreos el lugar en que la zona polisaprobias es más amplia está en el primer tercio de la laguna I, hecho que es congruente con la cercanía del afluente. En esta zona existen siempre abundantes materiales cuya descomposición se encuentra apenas en sus primeras etapas. Otro hecho notorio es que la zona polisaprobias se extiende, en muchos muestreos, hasta el efluente, confirmando que el sistema no funciona adecuadamente.

Los datos de la tabla I, que muestran algunos valores de la D.B.O.₅, D.Q.O., sólidos totales, sólidos suspendidos, coliformes totales y fecales y estreptococos fecales, tanto en el afluente como en el efluente, nos indican que en ambos existen condiciones polisaprobias (31); el sistema elimina proporciones variables pero bajas de D.B.O.₅, D.Q.O., sólidos totales y suspendidos. En cuanto a la eliminación de estreptococos fecales y coliformes, los estanques tienen una eficiencia muy alta, pero como el número de estos organismos que entra al sistema es muy elevado, a pesar de las grandes cantidades -

que se eliminan persisten muchas bacterias en el efluente.

Ya vimos que otros parámetros fisicoquímicos del agua, como la temperatura, CO_2 libre, pH, acidez y dureza total tampoco presentan grandes diferencias entre afluente y efluente (Tabla 6), apoyando de esta manera la afirmación de que las características del agua durante su paso por el sistema no muestran cambios notables con respecto al momento en que ingresan a las lagunas.

Con base en lo anterior, es posible afirmar que las gráficas de la sección biológica longitudinal de la calidad del agua del sistema de lagunas - construídas a partir de los datos de frecuencia de las especies de zooflagelados indicadoras de contaminación encontradas, reflejan bastante bien las condiciones de calidad del agua a lo largo del nivel superficial de los estanques. El empleo de un sólo grupo de organismos para evaluar las condiciones de contaminación de un cuerpo de agua ha dado resultados satisfactorios, como en el caso de las diatomeas bénticas (8). Debido a que la mayoría de los zooflagelados los son de condiciones mesosaprobias y polisaprobias (31), el uso de este grupo resulta útil en aguas que, como las del sistema que nos ocupa, presentan elevada contaminación por materiales orgánicos; pero cuando la contaminación es poca, el uso exclusivo de los zooflagelados como indicadores probablemente ya no daría resultados satisfactorios.

Finalmente, intentaremos dar una mirada global a las condiciones biológicas de los estanques. Además de numeros muy elevados de diferentes tipos de bacterias y zooflagelados abundantes, encontramos también cantidades variables de diferentes es -

pecies de protozoarios ciliados y sarcodarios; -
diversas especies de algas unicelulares, entre - -
ellas Euglena y Chlamydomonas, y varias diatomeas.-
Si tomamos como base el sistema de Sládecek (1973)-
(47) para evaluar el grado de contaminación de las-
aguas, las lagunas presentarían condiciones que va-
rían desde la isosaprobiedad hasta un grado cercano
a la α mesosaprobiedad. Estos grados se caracte-
rizan por el predominio de los organismos descom-
ponedores (bacterias) sobre los consumidores y produc-
tores. En el grado isosaprobio, los consumidores -
son flagelados incoloros y ciliados, mientras que -
el grado polisaprobio aparecen flagelados mixotrófi-
cos (es decir, flagelados que pueden presentar nu-
trición fototrófica o saprobia)(20). El grado α me-
sosaprobio, según el mismo autor, se caracteriza -
por la presencia de números más reducidos de descom-
ponedores, más variedad en los grupos de consumi-
dores y mayor cantidad de organismos autotrófos. Este
grado lo encontramos durante los últimos muestreos-
en la zona de la laguna 2 próxima al efluente.

C O N C L U S I O N E S

- Las especies de zooflagelados que predominan en las lagunas son de vida libre, bacteriófagos y coprófilas.
- El sistema tiene como característica importante la de funcionar predominantemente como anaerobio; este hecho se ve confirmado por la presencia del zooflagelado anaerobio estricto T. agilis.
- La mayor parte de las especies de zooflagelados encontradas resisten bien los cambios en las condiciones del agua de los estanques. La temperatura parece influir notablemente sobre la abundancia de B. edax y B. saltans.
- En algunos lapsos, los protozoarios zooflagelados se convierten en el principal grupo de consumidores dentro de los estanques, por lo que durante esos períodos su contribución al proceso de purificación es mayor.
- A lo largo del tiempo existe una cierta sucesión entre las especies de zooflagelados presentes en las lagunas. Este hecho probablemente se relaciona con el paulatino aumento en la cantidad de materia orgánica en el sistema.
- El uso de las especies de zooflagelados indicadores de contaminación encontradas en los estanques para evaluar las condiciones de la calidad del agua durante su paso por el sistema, proporcionó resultados satisfactorios, similares a los obtenidos mediante datos fisicoquímicos y otros estudios biológicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- (1) - Angeli, N. 1979. Influencia de la polución - del agua sobre los elementos del - plancton. En la contaminación de las aguas continentales. Edic. Mundi- - Prensa, Madrid. pp. 115 - 157.
- (2) - A. P. H. A., A.W.W.A., W.P.F.C. 1980. Standard Methods for the examination of water and waste water. Joint Editorial Board, Washington, D.C. 15a. Ed.
- (3) - Arceivala, S.J., Lakshminarayana, J.S.S., Al- garsamy, S.R. y Sastry, C.A. 1970. - Waste Stabilization Pond: Design, - Construction and Operation in India. Central Public Health Engineering -- Research Institute, Nagpur.
- (4) - Bartsch, A.F. y O.M. Allum. 1957. Biological- factors in the treatment of raw sewage in ar- tificial ponds. Limnol. Oceanogr. 2: 77-84.
- (5) - Curds, C.R. 1973. The role of protozoa in - the activated sludge proces. Amer.Zool. 13:- 161-169.
- (6) - Curds, C.R. H.A. Hawkes (eds.). 1975. Eco- logical aspects of used water treat- ment. Academic Press, Londres, Vol.1.
- (7) - Departamento de Sanidad del Estado de Nueva - York. 1976. Manual de Tratamiento de Aguas Negras. Ed. Limusa, México.
- (8) - Desey, J.P. 1979. Utilización de las algas - bénticas como indicadores biológicos de la calidad de las aguas corrien - tes. En La contaminación de las - aguas Continentales. Edic. Mundi- - Prensa, Madrid. pp. 175-201.

- (9) - Dix, H.M. 1981. Environmental Pollution. - John Wiley & Sons, Binghampton, N.Y.
- (10)- Dodakundi, G.B. y S.S. Rodgi. 1975. Waste Stabilization Ponds - A Review. Karnatak Univ. J. (Sci.). 20: 191-217.
- (11)- E.P.A. 1975. Freshwater Biology and Pollution Ecology Training Manual. Cincinnati, E.U.A.
- (12)- E.P.A. 1976. Quality Criteria for Waters. - Washington, D.C., E.U.A.
- (13)- Estado de México. 1975. Panorama Socioeconómico 1975 Toluca, México.
- (14)- Falloys, A. 1971. Lagunas de Estabilización - en América Latina. C.P.I.S.C.A., Perú.
- (15)- Gloyna, E.F. 1971. Waste Stabilization Ponds- W.H.O., Génova.
- (16)- Grassé, P.P. 1952. Traité de Zoologie. Masson et Cie., París, Tomo I, Fascículo I.
- (17)- Hänel, V.K. 1979. Systematik und Ökologie der Farblosen Flagellaten des Abwasseers. Arch. Protistenk. 121: 73-137.
- (18)- Hernández, C. 1982. Selección de diferentes - alternativas de tratamiento de aguas negras de origen doméstico en medios-rurales de México. Memorias del Curso "Temas Selectos de Ecología Microbiana". Universidad LaSalle, México.
- (19)- Hutchinson, G.E. 1975. A Treatise on Limnology. Geography, Physics and Chemistry-of Lakes. John Wiley & Sons, Nueva - York.
- (20)- Jahn, T.L., Bovee, E.C. y Jahn, F.F. 1980. -- How to know the Protozoa. William C.-Brown Co. Publish, Iowa. 2a. ed.

- (21) - Jeffers, J.N. 1978. An Introduction to Systems Analysis: with ecological applications. Edward Arnold Pub., Londres.
- (22) - Khurshed, A., Sheikh, M.I. y Chughtai, M. - 1976. Survival of enteric bacteria in Sewage Oxidation Ponds. Pakistan Jour of Biochemistry. Vol. 9 No. 2 pp. 98-107.
- (23) - Kolmer, J.A. y F. Boerner. 1948. Métodos de Laboratorio Clínico. Ed. Interamericana, México.
- (24) - Kudo, R.R. 1972. Protozoología. Ed. C.E.C.S.A., México.
- (25) - Lackey, J.B. 1976. Zooflagellates. En Fresh-Water Biology. W.T. Wiley, Nueva York pp. 190-230.
- (26) - Levine, N.D. (Chairman). 1980. A newly revised classification of the protozoa. Jour. of Protozool. 27 (1): 37-58.
- (27) - Leynaud, G. 1979. Modificaciones del medio acuático por influencia de la contaminación. En La contaminación de las aguas continentales. Edic. Mundi-Prensa, Madrid. pp. 1-26.
- (28) - López Ochoterena, E. y M.T. Roure-Cane 1970. Lista taxonómica comentada de protozoarios de vida libre de México. Rev. Soc. Mex. de Hist. Nat. 31: 23-68.
- (29) - Mackinnon, D.L. y R.S. Hawes. 1961. An Introduction to the study of Protozoa. Oxford University Press, Londres.
- (30) - Mara, D.D. 1976. Sewage Treatment in Hot Climates. John Wiley & Sons, Gran Bretaña.

- (31) - Margalef, R. 1955. Los Organismos Indicados en la Limnología. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias, Madrid.
- (32) - Marrufo, L.E. 1981. Frecuencia parasitaria en pacientes que acuden al Servicio de Consulta Externa de Medicina del Hospital Infantil de México. Tesis. - de la U.N.A.M., Hospital Dr. Federico Gómez, México.
- (33) - Montajano, E. 1969. Tratado de aguas residuales. Ed. Limusa, México.
- (34) - Odum, E.P. 1972. Ecología. Ed. Interamericana, México.
- (35) - Pfening, N., Widdel, F y Truper, A.G. 1981 - The Dissimilatory Sulfate - Reducing Bacteria. En The Prokaryotes. Springer-Verlag, Berlín pp. 927-940.
- (36) - Reid, G.K. y R.D. Wood. 1976 Ecology of Inland Waters and Estuaries. D. Van Nostrand Co., Nueva York. 2a. ed.
- (37) - Remington, R.D. y M.A. Schork. 1974. Estadística Biométrica y Sanitaria. Ed. Prentice/Hall Internacional, Madrid.
- (38) - Rico-Ferrat, G. 1975. Aspectos Biológicos de los Protozoarios de las aguas negras. Tesis de la Fac. de Ciencias, U.N.A.M, México.
- (39) - Rivera, F., Ortega, A., López Ochoterena, E. y Paz, M.E. 1979. A Quantitative - Morphological and Ecological Study of Protozoa Polluting Tap Water in Mexico City. Trans. Amer. Micros. Soc. - 98 (3): 465-469.

- (40) - Rivera, F., Galván, M., Robles, E., Leal P., González, L. y Lacy, A.M. 1981. - Bottled Mineral Waters Polluted by Protozoa in Mexico. J. Protozool. 28(1): 54-56.
- (41) - Riviére, J. 1979. Métodos generales de depuración de aguas residuales. En La contaminación de las aguas continentales. Edic. Mundi-Prensa, Madrid. pp. 27-43
- (42) - Salazar, P.M. e I. de Haro. 1978. Manual de Técnicas para el Diagnóstico Morfológico de la Parasitosis. Francisco Méndez Editor, México.
- (43) S.A.R.H. 1975. Plan Nacional Hidráulico. Subsecretaría de Planeación, México.
- (44) - S.A.R.H. 1976. Análisis de aguas y aguas de desecho. Dirección General de Protección y Ordenación Ecológica. 4a. ed.-Curso B. Vol. 2. México.
- (45) - S.A.R.H. 1976. Análisis de Plancton y Perifiton. Dirección de Protección y Ordenación Ecológica. Vol. 2.
- (46) - S.A.R.H. 1980. Curso de Microbiología del Agua. Dirección de Protección y Ordenación Ecológica. Vol. 2.
- (47) - Schwoerbel, J. 1975. Métodos de Hidrobiología. H. Blume Editores, Madrid.
- (48) - Sleigh, M.A. 1979. Biología de los Protozoos. H. Blume Editores, Madrid.
- (49) - Spiegel, M.R. Estadística. McGraw-Hill de México, México.

- (50) - Tomasini, P. 1975. Aspectos Biológicos de los Protozoarios de agua potable. Tesis de la Fac. de Ciencias, U.N.A.M., México.
- (51) - U.N.E.S.C.O. 1981. El Decenio del Agua (1981-1990). El Correo de la U.N.E.S.C.O.- Año XXIV No. 12. pp. 14.
- (52) - Westphal, A. 1977. Protozoos. Edit. Omega, - Barcelona.
- (53) - Wetzel, R.G. 1975. Limnology. Saunders College Pub., Filadelfia.
- (54) - Weisz, P.B. 1978. La Ciencia de la Zoología.- Edit. Omega, Barcelona.
- (55) - Wilber, C.G. 1971. The Biological Aspects of Water Pollution. Charles C. Thomas Pub., Springfield, Illinois.

A P E N D I C E

TABLA 8: TEMPERATURA DEL AGUA (°C)

| Muestras/Estaciones | Af1. | Ef1. | C1S. | C1F. | C3S. | C3F. | C4S. | C4F. | C6S. | C6F. |
|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1 | 17.5 | 19 | 18 | 18 | 20 | 19 | - | - | - | - |
| 2 | 17 | 20 | 19 | 16 | 18 | 17 | - | - | - | - |
| 3 | 18 | 21 | 27 | 19 | 27 | 19 | - | - | - | - |
| 4 | 18 | 22 | 24 | 18 | 20 | 18 | - | - | - | - |
| 5 | 19 | 20 | 20 | 18 | 19 | 20 | - | - | - | - |
| 6 | 17.5 | 21 | 21 | 19 | 19 | 19 | - | - | - | - |
| 7 | 18 | 19 | 23 | 21.5 | 21 | 20 | 24 | 18 | 15 | 15 |
| 8 | 17 | 16 | 19.5 | 16 | 23 | 19 | 25.5 | 18 | 22 | 17 |
| 9 | 16 | 14 | 16 | 15 | 15 | 15 | 16 | 15 | 17 | 15 |
| 10 | 13.5 | 14 | 14 | 13 | 15 | 12 | 14 | 13 | 14 | 12.5 |
| 11 | 12 | 11 | 12 | 12 | 12 | 11 | 12 | 12 | 11 | 11 |
| 12 | 15 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 12 | 13 | 12 |
| 13 | 15 | 12.5 | 12 | 12 | 12.5 | 12.5 | 12 | 13 | 13 | 12 |
| 14 | 17 | 16 | 15 | 15 | 15.5 | 15 | 14 | 14 | 15.5 | 14 |
| 15 | 18 | 19 | 18 | 17 | 18 | 18 | 18 | 17 | 17 | 17 |

TABLA 9: TRANSPARENCIA DEL AGUA (cm).

| Muestras/Estaciones | C1S. | C3S. | C4S. | C6S. |
|---------------------|------|------|------|------|
| 1 | 6.0 | 6.0 | - | - |
| 2 | 4.0 | 4.0 | - | - |
| 3 | 4.0 | 4.5 | - | - |
| 4 | 4.0 | 4.5 | - | - |
| 5 | 4.0 | 3.5 | - | - |
| 6 | 4.0 | 4.5 | - | - |
| 7 | 4.5 | 4.5 | 6.0 | 6.0 |
| 8 | 4.5 | 4.0 | 5.0 | 5.0 |
| 9 | 5.0 | 5.5 | 5.0 | 5.0 |
| 10 | 5.0 | 5.0 | 8.0 | 6.0 |
| 11 | 4.5 | 4.0 | 7.0 | 8.0 |
| 12 | 4.0 | 5.0 | 6.0 | 9.5 |
| 13 | 4.0 | 5.5 | 6.5 | 9.0 |
| 14 | 5.0 | 5.5 | 7.0 | 9.5 |
| 15 | 4.0 | 5.0 | 7.5 | 10.0 |

TABLA 10: pH

| Muestras/Estaciones | Afl. | Efl. | C1S. | C1F. | C3S. | C3F. | C4S. | C4F. | C6S. | C6F. |
|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1 | 6.8 | 7.3 | 7.3 | 7.7 | 7.3 | 7.0 | - | - | - | - |
| 2 | 8.0 | 7.5 | 7.7 | 6.7 | 7.5 | 7.0 | - | - | - | - |
| 3 | 7.5 | 7.5 | 7.4 | 7.5 | 7.5 | 7.5 | - | - | - | - |
| 4 | 8.0 | 7.5 | 7.6 | 7.7 | 7.6 | 7.5 | - | - | - | - |
| 5 | 7.5 | 7.5 | 7.4 | 7.5 | 7.5 | 7.4 | - | - | - | - |
| 6 | 8.6 | 7.7 | 7.5 | 7.5 | 7.6 | 7.6 | - | - | - | - |
| 7 | 7.0 | 7.0 | 7.5 | 7.5 | 7.7 | 7.7 | 7.5 | 7.5 | 6.0 | 6.0 |
| 8 | 8.5 | 7.7 | 7.4 | 7.6 | 7.6 | 7.6 | 7.4 | 7.7 | 7.5 | 7.7 |
| 9 | 8.4 | 7.8 | 7.6 | 6.9 | 7.5 | 7.4 | 7.7 | 7.7 | 7.7 | 7.7 |
| 10 | 7.6 | 7.8 | 6.9 | 7.5 | 7.7 | 7.7 | 7.7 | 7.7 | 7.7 | 7.7 |
| 11 | 8.0 | 7.8 | 7.6 | 7.3 | 7.3 | 7.5 | 7.8 | 7.6 | 7.7 | 8.4 |
| 12 | 8.1 | 7.8 | 7.4 | 7.0 | 7.3 | 7.4 | 7.6 | 7.5 | 7.5 | 7.4 |
| 13 | 7.7 | 7.6 | 7.4 | 7.1 | 7.3 | 7.5 | 7.5 | 7.6 | 7.6 | 7.6 |
| 14 | 7.5 | 7.4 | 7.0 | 7.1 | 7.0 | 7.2 | 7.3 | 7.1 | 7.2 | 7.1 |
| 15 | 7.8 | 7.6 | 7.4 | 7.6 | 7.5 | 7.4 | 7.6 | 7.3 | 7.4 | 7.4 |

TABLA 11: CO₂ Libre (mg/l).

| Nuestreros/Estaciones | Af1. | Bf1. | C1S. | C1F. | C3S. | C3F. | C4S. | C4F. | C6S. | C6F. |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 43.5 | 78.1 | 83.0 | 58.6 | 92.8 | 78.1 | - | - | - | - |
| 2 | 0 | 29.3 | 37.2 | 34.2 | 42.0 | 48.8 | - | - | - | - |
| 3 | 0 | 42.6 | 47.5 | 43.9 | 52.4 | 48.7 | - | - | - | - |
| 4 | 0 | 60.9 | 53.6 | 48.7 | 56.1 | 48.7 | - | - | - | - |
| 5 | 0 | 39.1 | 13.7 | 26.4 | 12.7 | 17.7 | - | - | - | - |
| 6 | 0 | 43.3 | 58.5 | 53.6 | 58.5 | 53.6 | - | - | - | - |
| 7 | 12.2 | 43.3 | 41.4 | 20.7 | 47.5 | 48.7 | 47.5 | 43.3 | 25.6 | 43.9 |
| 8 | 0 | 48.7 | 121.9 | 102.4 | 121.9 | 126.7 | 51.2 | 48.7 | 24.4 | 36.6 |
| 9 | 60.9 | 97.5 | 85.3 | 85.3 | 97.5 | 91.4 | 109.6 | 85.3 | 73.1 | 112.1 |
| 10 | 75.9 | 35.9 | 89.9 | 73.9 | 137.8 | 143.8 | 85.9 | 117.8 | 75.9 | 49.9 |
| 11 | 119.8 | 114.8 | 109.8 | 139.8 | 69.9 | 109.8 | 109.8 | 139.8 | 119.8 | 119.8 |
| 12 | 73.9 | 43.9 | 81.9 | 109.8 | 79.9 | 69.9 | 94.8 | 59.9 | 77.9 | 59.9 |
| 13 | 249.7 | 89.8 | 29.9 | 149.8 | 69.9 | 89.8 | 74.9 | 94.8 | 99.8 | 94.8 |
| 14 | 158.3 | 97.5 | 59.9 | 149.8 | 55.3 | 119.8 | 94.8 | 94.8 | 125.6 | 114.8 |
| 15 | 139.8 | 119.8 | 81.9 | 94.8 | 94.8 | 89.8 | 109.8 | 139.8 | 99.8 | 99.8 |

TABLA 12: Alcalinidad total (mg/l de CaCO₃)

| Muestras/Estaciones | Af1. | Ef1. | ClS. | ClF. | C3S. | C3F. | C4S. | C4F. | C6S. | C6F. |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 259.0 | 220.5 | 220.5 | 220.5 | 271.2 | 259.0 | - | - | - | - |
| 2 | 297.8 | 259.0 | 297.8 | 246.8 | 220.5 | 259.0 | - | - | - | - |
| 3 | 275.0 | 220.5 | 220.5 | 330.0 | 259.0 | 275.0 | - | - | - | - |
| 4 | 647.5 | 297.8 | 419.4 | 414.4 | 427.3 | 349.6 | - | - | - | - |
| 5 | 440.3 | 310.8 | 375.5 | 353.8 | 388.5 | 375.5 | - | - | - | - |
| 6 | 351.1 | 440.3 | 380.0 | 313.0 | 285.0 | 351.5 | - | - | - | - |
| 7 | 275.5 | 285.0 | 294.5 | 285.0 | 570.0 | 380.0 | 370.5 | 380.5 | 408.5 | 370.5 |
| 8 | 817.0 | 352.5 | 142.5 | 123.5 | 114.0 | 142.5 | 57.0 | 95.0 | 133.3 | 85.5 |
| 9 | 475.0 | 285.0 | 332.5 | 285.0 | 370.5 | 285.0 | 275.5 | 247.5 | 285.0 | 294.5 |
| 10 | 285.0 | 285.0 | 332.5 | 370.5 | 285.0 | 285.0 | 256.5 | 342.0 | 285.0 | 294.5 |
| 11 | 366.5 | 309.6 | 453.2 | 427.6 | 531.0 | 427.6 | 422.8 | 369.3 | 332.7 | 309.6 |
| 12 | 400.0 | 400.0 | 520.0 | 640.0 | 280.0 | 480.0 | 550.0 | 500.0 | 440.0 | 520.0 |
| 13 | 390.0 | 370.0 | 360.0 | 390.0 | 350.0 | 390.0 | 430.0 | 400.0 | 440.0 | 420.0 |
| 14 | 650.0 | 390.0 | 440.0 | 500.0 | 560.0 | 550.0 | 440.0 | 410.0 | 460.0 | 420.0 |
| 15 | 640.0 | 400.0 | 360.0 | 390.0 | 350.0 | 560.0 | 430.0 | 400.0 | 440.0 | 440.0 |

TABLA 13: Acidez (mg/l de CaCO₃)

| Muestras/Estaciones | Af1. | Ef1. | C1S. | C1F. | C3S. | C3F. | C4S. | C4F. | C6S. | C6F. |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 44.4 | 22.2 | 22.2 | 22.2 | 33.3 | 33.3 | - | - | - | - |
| 2 | 19.3 | 38.7 | 48.3 | 48.3 | 48.3 | 48.3 | - | - | - | - |
| 3 | 38.7 | 29.0 | 29.0 | - | 19.3 | - | - | - | - | - |
| 4 | 158.9 | 136.2 | 158.9 | 181.6 | 136.2 | 147.5 | - | - | - | - |
| 5 | 48.4 | 19.4 | 38.7 | 48.4 | 29.0 | 29.0 | - | - | - | - |
| 6 | 58.1 | 19.3 | 58.1 | 58.1 | 58.1 | 38.7' | - | - | - | - |
| 7 | 29.0 | 135.5 | 174.2 | 77.5 | 174.2 | 135.5 | 212.9 | 174.2 | 135.5 | 135.5 |
| 8 | 22.8 | 15.2 | 62.7 | 70.3 | 68.4 | 68.4 | 66.5 | 72.2 | 62.7 | 68.4 |
| 9 | 135.5 | 96.8 | 116.2 | 222.6 | 96.8 | 87.1 | 125.8 | 96.8 | 116.2 | 106.5 |
| 10 | 154.8 | 125.8 | 116.2 | 96.8 | 125.8 | 125.8 | 183.9 | 135.5 | 142.5 | 135.5 |
| 11 | 161.5 | 133.0 | 133.0 | 161.5 | 123.5 | 133.0 | 133.0 | 123.5 | 123.5 | 133.0 |
| 12 | 190.0 | 133.5 | 133.0 | 152.0 | 161.5 | 133.0 | 133.0 | 47.5 | 123.5 | 133.0 |
| 13 | 228.0 | 190.0 | 237.5 | 152.0 | 199.2 | 180.5 | 133.0 | 209.0 | 171.0 | 190.0 |
| 14 | 133.0 | 57.0 | 123.5 | 133.0 | 123.5 | 142.5 | 85.5 | 123.5 | 95.0 | 133.0 |
| 15 | 180.5 | 133.0 | 116.5 | 152.0 | 161.5 | 133.0 | 133.0 | 61.5 | 133.0 | 133.0 |

TABLA 14: Dureza total (mg/l de CaCO₃)

| Muestras/Estaciones | Afl. | Efl. | C1S. | C1F. | C3S. | C3F. | C4S. | C4F. | C6S. | C6F. |
|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1 | 80 | 60 | 50 | 70 | 70 | 60 | - | - | - | - |
| 2 | 116 | 120 | 120 | 120 | 140 | 140 | - | - | - | - |
| 3 | 120 | 120 | 80 | 90 | 90 | 140 | - | - | - | - |
| 4 | 110 | 100 | 90 | 70 | 80 | 100 | - | - | - | - |
| 5 | 110 | 120 | 90 | 110 | 110 | 70 | - | - | - | - |
| 6 | 40 | 100 | 100 | 60 | 50 | 110 | - | - | - | - |
| 7 | 260 | 100 | 130 | 60 | 80 | 50 | 180 | 170 | 210 | 180 |
| 8 | 260 | 200 | 310 | 180 | 120 | 160 | 180 | 140 | 180 | 190 |
| 9 | 150 | 100 | 400 | 480 | 490 | 450 | 600 | 490 | 600 | 610 |
| 10 | 80 | 70 | 80 | 90 | 70 | 110 | 120 | 100 | 90 | 110 |
| 11 | 110 | 80 | 100 | 80 | 80 | 80 | 110 | 110 | 70 | 80 |
| 12 | 120 | 60 | 80 | 80 | 60 | 140 | 80 | 80 | 90 | 60 |
| 13 | 90 | 140 | 40 | 140 | 140 | 80 | 70 | 100 | 90 | 100 |
| 14 | 90 | 100 | 90 | 90 | 170 | 80 | 70 | 60 | 70 | 70 |
| 15 | 140 | 80 | 70 | 80 | 90 | 110 | 100 | 90 | 90 | 80 |

TABLA 15
RECIENTOS DE ZOOFLAGELADOS

Todo edax (individuos / ml x 10³)

| Estaciones/Muestras | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Afluente | 32.5 | 125.0 | 50.0 | 50.0 | 35.0 |
| C1S | 140.0 | 215.0 | 82.5 | 57.5 | 62.5 |
| C1F | 92.5 | 247.5 | 220.0 | 112.5 | 140.0 |
| C3S | 45.0 | 162.5 | 135.0 | 62.5 | 95.0 |
| C3F | 147.5 | 222.5 | 205.0 | 155.0 | 110.0 |
| C4S | 57.5 | 65.0 | 55.0 | 62.5 | 85.0 |
| C4F | 17.5 | 77.5 | 45.0 | 50.0 | 60.0 |
| C6S | 85.0 | 85.0 | 60.0 | 47.5 | 37.5 |
| C6F | 90.0 | 62.5 | 120.0 | 60.0 | 65.0 |
| Efluente | 27.5 | 75.0 | 17.5 | 37.5 | 30.0 |

Todo saltans (individuos / ml x 10³)

| Estaciones/Muestras | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|---------------------|-------|-------|-------|------|------|
| Afluente | 7.5 | 57.5 | 32.5 | 15.0 | 25.0 |
| C1S | 120.0 | 135.0 | 47.5 | 17.5 | 50.0 |
| C1F | 62.5 | 95.0 | 80.0 | 17.5 | 67.5 |
| C3S | 32.5 | 90.0 | 47.5 | 47.5 | 45.0 |
| C3F | 62.5 | 112.5 | 102.5 | 82.5 | 90.0 |
| C4S | 50.0 | 62.5 | 25.0 | 30.0 | 40.0 |
| C4F | 5.0 | 47.5 | 27.5 | 22.5 | 37.5 |
| C6S | 52.5 | 52.5 | 37.5 | 40.0 | 30.0 |
| C6F | 50.0 | 25.0 | 52.5 | 32.5 | 35.0 |
| Efluente | 20.0 | 47.5 | 12.5 | 17.5 | 20.0 |

TABLA 16

RECUENTOS DE ZOOFLAGELADOS

Bodo caudatus (individuos / ml x 10³)

| Estaciones/Muestras | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Afluente | 20.0 | 67.5 | 40.0 | 30.0 | 22.5 |
| C1S | 132.5 | 182.5 | 52.5 | 30.0 | 42.5 |
| C1F | 60.0 | 195.0 | 155.0 | 32.5 | 100.0 |
| C3S | 12.5 | 110.0 | 130.0 | 65.0 | 60.0 |
| C3F | 85.0 | 150.0 | 185.0 | 110.0 | 87.5 |
| C4S | 62.5 | 65.0 | 37.5 | 55.0 | 75.0 |
| C4F | 10.0 | 57.5 | 47.5 | 35.0 | 72.5 |
| C6S | 32.5 | 70.0 | 55.0 | 35.0 | 30.0 |
| C6F | 65.0 | 55.0 | 115.0 | 52.5 | 50.0 |
| Efluente | 17.5 | 65.0 | 20.0 | 25.0 | 22.5 |

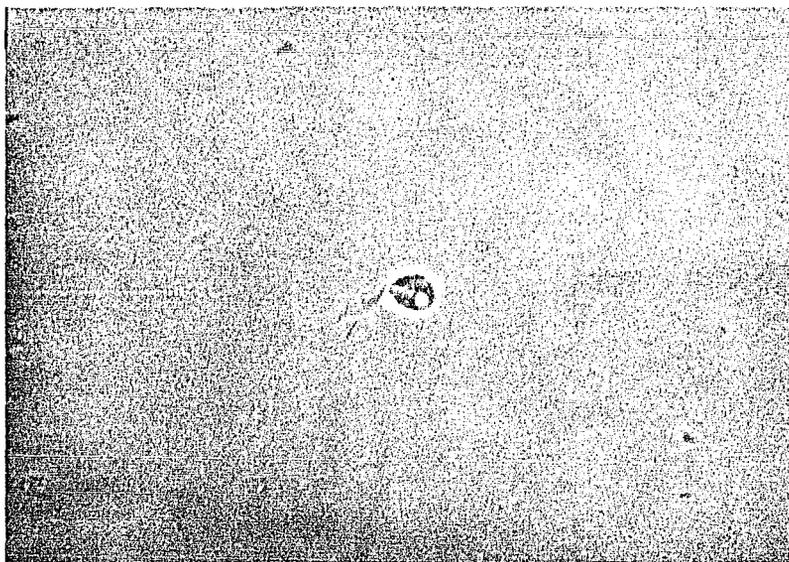
Trepomonas agilis (individuos / ml x 10³)

| Estaciones/Muestras | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|---------------------|------|------|------|------|------|
| Afluente | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| C1S | 65.0 | 27.5 | 32.5 | 32.5 | 30.0 |
| C1F | 62.5 | 55.0 | 62.5 | 62.5 | 67.5 |
| C3S | 30.0 | 37.5 | 37.5 | 35.0 | 55.0 |
| C3F | 57.5 | 55.0 | 62.5 | 55.0 | 62.5 |
| C4S | 37.5 | 27.5 | 32.5 | 37.5 | 60.0 |
| C4F | 50.0 | 62.5 | 55.0 | 62.5 | 60.0 |
| C6S | 27.5 | 60.0 | 57.5 | 57.5 | 62.5 |
| C6F | 47.5 | 55.0 | 60.0 | 52.5 | 60.0 |
| Efluente | 27.5 | 60.0 | 52.5 | 25.0 | 55.0 |

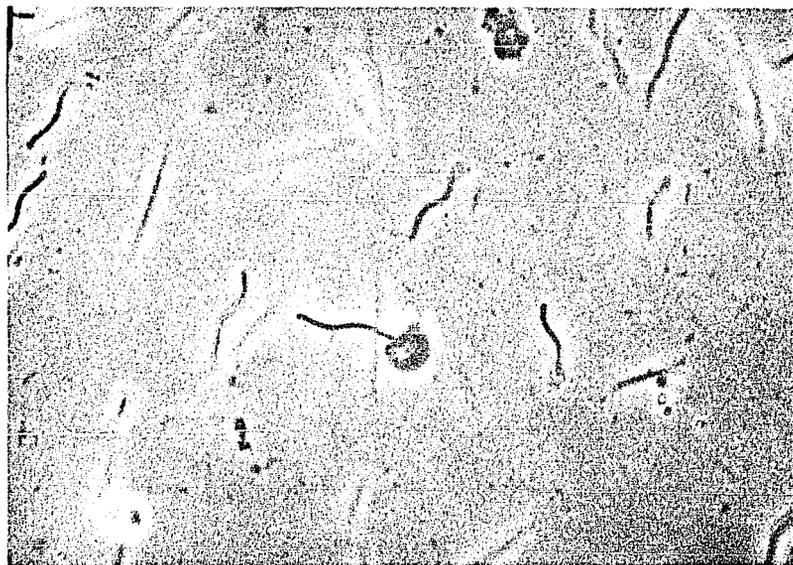
TABLA 17

RECUENTOS DE ZOOFLAGELADOS

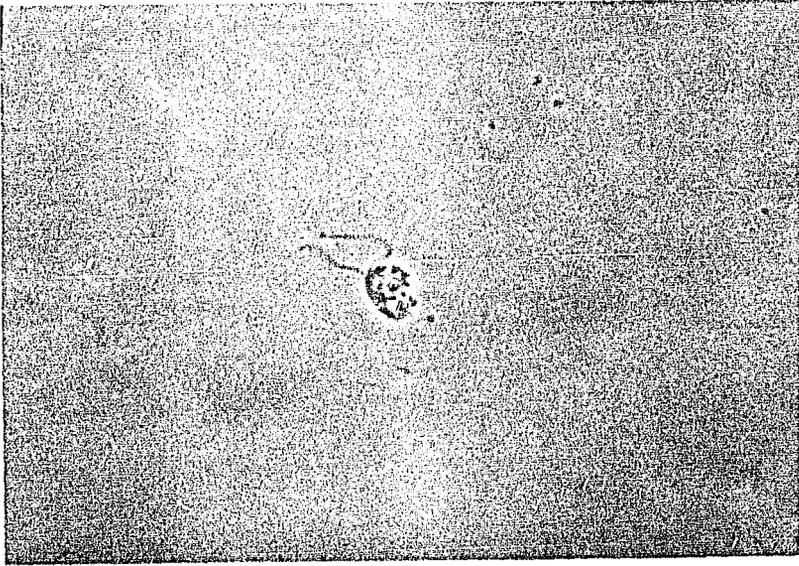
| <u>Podomorpha minima</u> (individuos / ml x 10 ³) | | | | | |
|--|------|------|------|------|------|
| Estaciones/Muestreos | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| Afluente | 17.5 | 10.0 | 17.5 | 15.0 | 15.0 |
| C1S | 0 | 27.5 | 15.0 | 0 | 10.0 |
| C1P | 10.0 | 25.0 | 25.0 | 27.5 | 17.5 |
| C3S | 0 | 25.0 | 15.0 | 10.0 | 10.0 |
| C3P | 15.0 | 27.5 | 17.5 | 15.0 | 15.0 |
| C4S | 15.0 | 17.5 | 15.0 | 15.0 | 15.0 |
| C4P | 10.0 | 10.0 | 12.5 | 10.0 | 15.0 |
| C6S | 12.5 | 15.0 | 10.0 | 12.5 | 10.0 |
| C6P | 10.0 | 7.5 | 0 | 0 | 5.0 |
| Effluente | 5.0 | 7.5 | 10.0 | 7.5 | 0 |



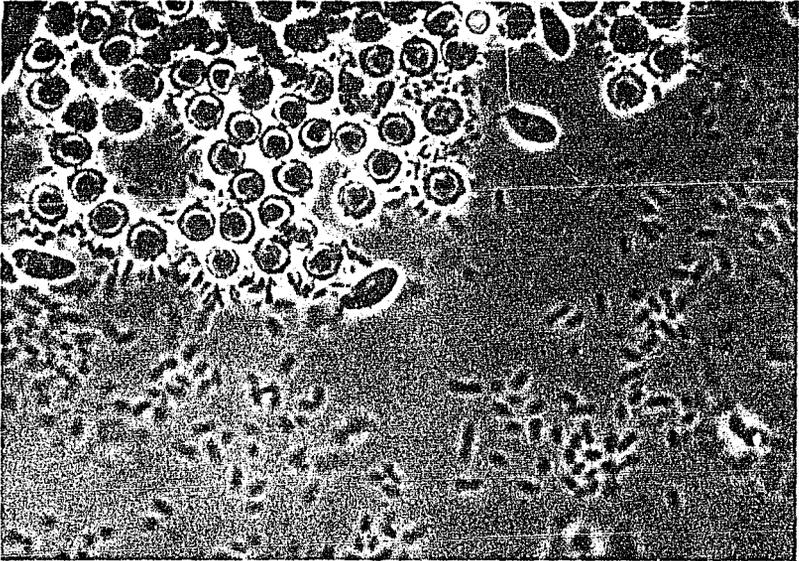
Bodo edax (fijado en formol) 640 X



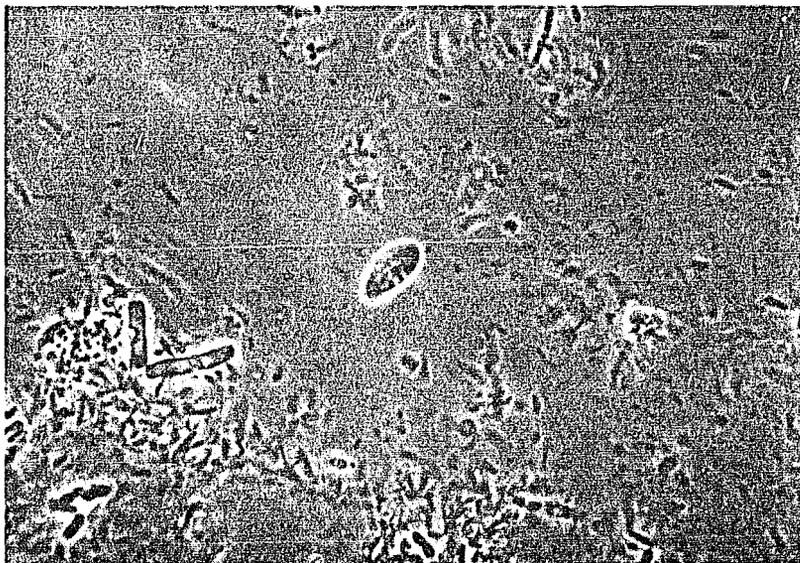
Bodo saltans (en vivo) 640 X



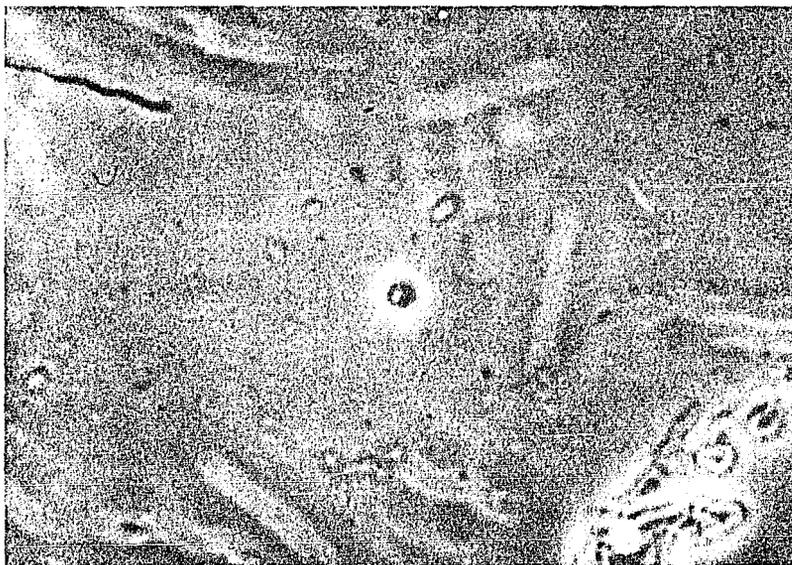
Bodo caudatus (fijado en formol) 787.5 X



Bodo caudatus (en vivo) 787.5 X



Trepomonas agilis (en vivo) 787.5 X



Bodomorpha mfnima (en vivo) 640 X