



Universidad Nacional Autónoma de México

Escuela Nacional de Estudios Profesionales  
IZTACALA

ESTUDIO DE VIABILIDAD DE LA OBTENCION  
DE BIOMASA ALGAL Y MEJORAMIENTO DE LA  
CALIDAD DEL AGUA DE LA LAGUNA DE  
XOCHIACA MEDIANTE EL SISTEMA DE LAGU-  
NAS DE ALTA TASA DE OXIDACION.

## Tesis Profesional

Que para obtener el Título de

B I O L O G O

p r e s e n t a

RUBEN ANTONIO LOPEZ FERNANDEZ

1987

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



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.

ESTE TRABAJO SE LLEVO A CABO EN EL INSTITUTO DE INGENIERIA DE LA U.N.A.M. BAJO LA DIRECCION DEL COORDINADOR LUIS TREVINO ACUNA, A QUIEN LE AGRADEZCO SU VALIOSA AYUDA, ASI COMO A TODAS LAS PERSONAS QUE DE ALGUNA MANERA COLABORARON EN SU REALIZACION.

COMISION DICTAMINADORA DE TESIS.

C.C.B.A. LUIS TREVINO ACUNA.

B.I.C.L. MA. GUADALUPE OLIVA MARTINEZ.

Q.F.B. ESPERANZA ROBLES VALDERAMA.

M. EN C. PEDRO RAMIREZ GARCIA.

M. EN C. JAVIER ALCOCCER DURAND.

▲ QUIENES AGRADEZCO PROFUNDAMENTE SUS VALIOSAS AFORTACIONES.

Con agradecimiento y cariño a mis Padres,  
Ing. Rubén López Becerra y Profesora -  
Estrella Fernández Avila, por su constan-  
te apoyo y cariño.

Con gran agradecimiento para mis Hermanos,  
en especial a Gerardo López Fernández . -  
( Actuario ) y a Nora López Fernández -  
( Arquitecto ) por su colaboración en -  
esta Tesis.

Con amor y gratitud a mi Esposa la Pro-  
fesor Claudia Loayza Nájera por su continuo  
apoyo.

Con mucho cariño a mi Hijo Rubén Antonio  
López Loayza quien ha venido a transfor-  
mar mi vida.

# I N D I C E

		PAG.
1	INTRODUCCION .....	4
2	GENERALIDADES.....	7
3	ANTECEDENTES.....	13
3.1	CARACTERISTICAS DE LOS GRUPOS DE INDICADORES ESCOGIDOS....	17
3.2	METODOS EMPLEADOS PARA LA REMOCION DE BACTERIAS.....	19
4	IMPORTANCIA.....	23
4.1	LOCALIZACION DE LA LAGUNA DE XCHIIACA Y CARACTERISTICAS METEOROLOGICAS.....	25
5	OBJETIVOS Y ALCANCES.....	28
6	METODOLOGIA.....	29
6.1	EXPERIMENTO I.....	29
6.1.1	LOCALIZACION Y MONTAJE DEL EXPERIMENTO I.....	29
6.1.2	DESARROLLO DE <u>Spirulina</u> <u>geitleri</u> ( G. DE TCHI, 1936 ) EN DIFERENTES MEDIOS DE CULTIVO.....	30
6.1.3	RETENCION DE LAS CURVAS DE CRECIMIENTO MEDIANTE LECTURAS DE DENSIDAD OPTICA.....	31

6.2	EXPERIMENTO II.....	32
6.2.1	DESCRIPCION FISICA DEL MODELO DE LAGUNA DE ALTA TASA DE OXIDACION.....	32
6.2.2	VENTAJAS DEL MODELO EMPLEADO.....	32
6.2.3	UBICACION DEL EXPERIMENTO II Y MONTAJE.....	33
6.2.4	MUESTREO BACTERIOLOGICO DE LA LAGUNA DE XCHIACA.....	34
6.2.5	TOMA DE MUESTRAS BACTERIOLOGICAS DEL MODELO.....	35
6.2.6	TECNICAS EMPLEADAS EN LA IDENTIFICACION DE ENTEROBACTERIAS.	35
6.2.6.1	TECNICA EMPLEADA EN LA IDENTIFICACION DE COLIFORMES FECALES	36
6.2.6.2	TECNICA EMPLEADA EN LA IDENTIFICACION DE COLIFORMES TOTALES	36
6.2.6.3	TECNICA EMPLEADA EN LA IDENTIFICACION DE ESTREPTOCOCCOS FE- CALES.....	37
6.2.7	OBTENCION DE PARAMETRO FISICO - QUIMICOS.....	44
7	RESULTADOS.....	45
7.1	RESULTADOS DEL EXPERIMENTO I.....	45
7.1.1	DATOS OBTENIDOS AL HACER LAS LECTURAS DE ABSORBANCIA Y TRANS- MITANCIA EN LOS MEDIOS A,B,C,D,E.....	51
7.1.2	CAMBIOS DEL pH OBSERVADOS DURANTE EL CULTIVO DE <u>Spirulina</u> - <u>geitleri</u> ( G. DE TONI, 1936 ) EN LOS MEDIOS A,B,C,D,E.....	62

	PAG.
7.2	RESULTADOS DEL EXPERIMENTO II..... 63
7.2.1	VALORES FISICO-QUIMICOS OBTENIDOS DURANTE LA OPERACION DEL MODELO DE LAGUNA DE ALTA TASA DE OXIDACION..... 63
7.2.2	VALORES BACTERIOLÓGICOS (N.M.F. ) OBTENIDOS DURANTE LA - OPERACION DEL MODELO DE LA LAGUNA DE ALTA TASA DE OXIDACION 69
7.2.3	EXTRAPOLACION DE RESULTADOS BACTERIOLÓGICOS ( N.M.F. ) ME- DIANTE EL EMPLEO DE MODELOS MATEMATICOS DE CRECIMIENTO..... 71
8	DISCUSION DE LOS RESULTADOS..... 84
9	CONCLUSIONES..... 100
10	RECOMENDACIONES..... 101
11	BIBLIOGRAFIA..... 107

## I - INTRODUCCION

El problema de disponer de las aguas negras se originó debido al uso del agua para recoger y arrastrar los productos de desecho de la vida humana. Antes de esto, los volúmenes de desecho, sin que el agua sirviese de vehículo, eran muy pequeños y se limitaban prácticamente a los excrementos familiares o individuales. El primer método consistía en dejar los desechos corporales y la basura en la superficie de la tierra, en donde eran gradualmente degradados por las bacterias (principalmente de tipo anaerobio). Esto originaba la producción de olores ofensivos. Después, la experiencia demostró de que si estos desechos eran enterrados prontamente, se prevenía el desarrollo de tales olores. La siguiente etapa consistió en el desarrollo de los retretes o letrinas enterrados, siendo un método de eliminación de excrementos que todavía se emplea profusamente. ( Hilleboe. 1983 ).

Con el desarrollo de los suministros de agua a las poblaciones y el uso de la misma como vehículo para arrastrar o transportar los desechos caseros; se hizo necesario encontrar un método para disponer no solamente de los desechos mismos sino también para el agua portadora.

El aumento desmedido de sustancias putrecibles en ríos y cuerpos de agua, ha ocasionado alteraciones en el proceso natural de autodepurificación debido al exceso de contaminantes, por lo que se ha hecho cada vez más apremiante dar un tratamiento previo al agua de desecho antes de ser vertido a un río u otro cuerpo de agua. Con el propósito de vertir las aguas se han desarrollado tres métodos de disposición : la irrigación, la disposición superficial y la dilución. ( Hilleboe, op cit. 1983 ).



Tipos de disposición :

Disposición por irrigación .- Consiste en derramar las aguas negras sobre la superficie del terreno. lo cual se hace generalmente mediante zanjas de riego. La mayor parte del agua se filtra a través de la tierra a excepción de una pequeña parte que se evapora. Este método sólo es aplicable a pequeños volúmenes de aguas negras provenientes de poblaciones pequeñas.

Disposición subterránea .- Este método consiste en hacer llegar las aguas negras a la tierra por debajo de la superficie, a través de excavaciones o enlucados. Este método es conveniente tan solo para traer el agua de casas particulares o de instituciones ( hospitales, escuelas, etc. ).

Disposición por dilución .- Este método consiste simplemente en descargar las aguas negras en aguas superficiales como las de un río, un lago o en el mar. Este método tiene el inconveniente de contaminar los cuerpos de agua donde son vertidas estas aguas. Si estas aguas reciben un tratamiento previo antes de ser vertidas, el oxígeno contenido por el cuerpo receptor, será capaz de degradar la materia orgánica restante después del tratamiento previo.

A medida que fue creciendo la población urbana, con el proporcional aumento del volumen de aguas negras y de desechos orgánicos, resultó que todos los métodos de disposición eran tan poco satisfactorios que se hizo imperativo tomar medidas para el tratamiento de aguas negras que incluyen :

- 1.- La conservación de las fuentes de abastecimiento de agua para uso doméstico.
- 2.- La prevención de molestias.

- 3.- La prevención de enfermedades.
- 4.- El mantenimiento de aguas limpias para baño y para propósitos recreativos.
- 5.- Mantener limpias las aguas que se usan para la propagación y supervivencia de los peces.
- 6.- Conservación del agua para usos industriales y agrícolas.
- 7.- La prevención del azolve de las canales navegables.

El tratamiento de aguas residuales adquiere cada día mayor importancia debido a la escasez de agua de buena calidad, así como la imperiosa necesidad de controlar la contaminación de los cuerpos de agua, ( ríos, lagos, mares, etc ) que aumenta cada día más ocasionando trastornos a la salud de la población y afectando la ecología de vastas zonas.

2 - GENERALIDADES

Todo cuerpo de agua confinado, tiende a desarrollar un proceso de autopurificación, este proceso puede ser más lento o más rápido dependiendo principalmente de la fuerza y volumen relativos de contaminantes, del caudal de la corriente, de la turbulencia del flujo, de la temperatura del agua, y de si existen o no descargas adicionales durante el proceso de autopurificación .

Este proceso natural esta dado por el tiempo de retención cuando el agua esta confinada en una area, o la distancia recorrida cuando se trata de una corriente de agua y tiene lugar en cuatro etapas, dividiéndose la corriente en cuatro zonas sin delimitación definida conocidas como : zona de degradación, zona de descomposición, zona de recuperación y zona de agua limpia.

Cuando se descargan aguas negras en una corriente, continúan la degradación y la descomposición hasta completarse. Una corriente contaminada en un punto dado tenderá a volver a un estado similar al de antes de la contaminación, como resultado de la descomposición de la materia orgánica contaminante. A esto se le designa comúnmente como proceso de Autopurificación. Se lleva a cabo por medios físicos, químicos y biológicos. Las reacciones físicas son esencialmente : la de sedimentación de los sólidos suspendidos, formándose depósitos que se conocen como bancos de lodo; la de clarificación y otros efectos de la luz del sol y la aeración.

Las reacciones químicas y biológicas son más completas. Los organismos vivos se alimentan de sólidos orgánicos, produciéndose desechos que pueden destruirlos y que al mismo tiempo sirven como alimento para los tipos que los suceden, los cuales continúan el proceso de descomposición, hasta que los complejos sólidos orgánicos quedan -

finalmente reducidos a sales inorgánicas estables como son nitratos, los sulfatos, los fosfatos, etc. Estos sirven a su vez de alimento a otras formas biológicas, como las algas, que durante su proceso de desarrollo u metabolismo producen oxígeno como producto de desecho. Entonces este se disuelve en el agua, agregándose al que se obtiene por la aereación. Estas reacciones hacen que el agua vuelva a una condición de relativa limpieza y puede considerarse que se ha completado la Autopurificación. El progreso de la Autopurificación depende del tiempo, de la temperatura, del abastecimiento de oxígeno y de otros factores ambientales que regulan los desarrollos biológicos.

Se admite que la autopurificación de una corriente tiene lugar en cuatro etapas, dividiéndose la corriente en cuatro zonas sin delimitación definida.

#### Zona de Degradación .

Queda inmediatamente abajo del punto de contaminación, esta zona se caracteriza por presentar signos visibles de contaminación. La turbiedad de la corriente aumenta sensiblemente por descarga de aguas negras. El oxígeno disminuye aunque no se agota inmediatamente. La fauna acuática disminuye quedándose limitada a aquellas especies capaces de sobrevivir en el agua que contiene relativamente poco oxígeno disuelto. Las bacterias se encuentran en grandes cantidades, incluyéndose las patógenas que estaban en las aguas negras. También juegan un papel importante los hongos en esta etapa. La actividad microbiológica absorbe y agota gradualmente el oxígeno disuelto. En esta etapa se lleva a cabo la sedimentación cuando el flujo es lento.

#### Zona de Descomposición.

A medida que se va agotando la reserva de oxígeno disuelto, la zona de degradación se convierte en zona de descomposición. En donde se inicia la descomposición anaerobia o putrefacción. Cuando la contaminación es intensa, esta etapa ocurre rápidamente. Cuando la contaminación no es fuerte el oxígeno presente en la corriente es suficiente para mantener la vida aerobia y no aparece la zona de descomposición, pasando entonces a la zona de recuperación .

#### Zona de Recuperación.

En esta zona aparece el oxígeno disuelto en cantidades gradualmente mayores, los sólidos orgánicos disminuyen y presenta una apariencia favorable la corriente. La cantidad de microorganismos disminuye con respecto a la etapa anterior, se extinguen las especies aerobias. Los peces pueden sobrevivir nuevamente y aparecen - otras formas superiores de organismos en grandes cantidades. Continúa la sedimentación de los sólidos orgánicos formando bancos de lodo.

#### Zona de Agua Limpia.

En la zona de recuperación se ha consumado casi completamente la descomposición de los sólidos orgánicos y se hayn en mayor concentración sólidos inorgánicos estables. En esta etapa la corriente de agua entra en su etapa final, que es la - Zona de agua limpia. En esta, la apariencia del agua es similar a la que tenía antes de recibir el material contaminante.

### Características de las aguas negras.

En general, las aguas negras contienen menos del 0.1% de materias sólidas. Gran parte del flujo luce como el efluente del baño o de la lavandería y, flotando por encima, basuras, papeles, cerillos y trapos, pedazos de madera y heces fecales. Pasadas unas horas, a temperatura por encima de 40° F, las aguas negras se vuelven rancias. Más tarde pueden volverse sépticas, predominando a menudo los olores del ácido sulfhídrico de los mercaptanos y otros compuestos de azufre. Mientras más compuestos putrescibles haya en las aguas negras, mayor será su concentración o fuerza. En general, -- la fuerza variará con la cantidad de materia orgánica, consumo de agua per cápita y la cantidad de desperdicios industriales. ( Merrit, op. cit. 1983 ) .

### Análisis de las aguas negras.

Se efectúan ensayos con las aguas negras para determinar su fuerza y los efectos potenciales dañinos al disponer de las aguas negras y el proceso que se seguirá en su tratamiento.

Los ensayos que más corrientemente se efectúan miden :

Sólidos en suspensión.

Demanda bioquímica de oxígeno. ( DBO ).

Cantidad de amoníaco, que disminuye con el tratamiento.

Nitritos y nitratos, que aumentan con el tratamiento.

Oxígeno disuelto que, para un efluente o emisión, indicará la eficacia del tratamiento.

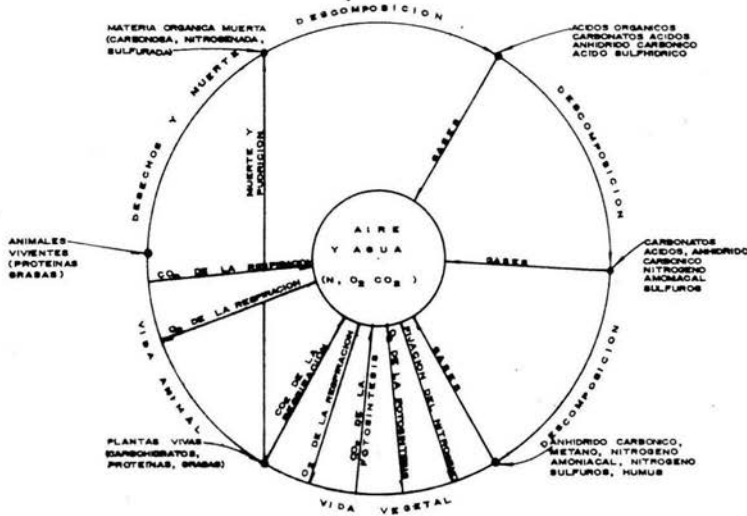
Materias solubles en éter, o sebos y grasas, que pueden formar una espesa nata.

Valor del pH, que disminuye, indicando mayor acidez según se arrancie el albañal.

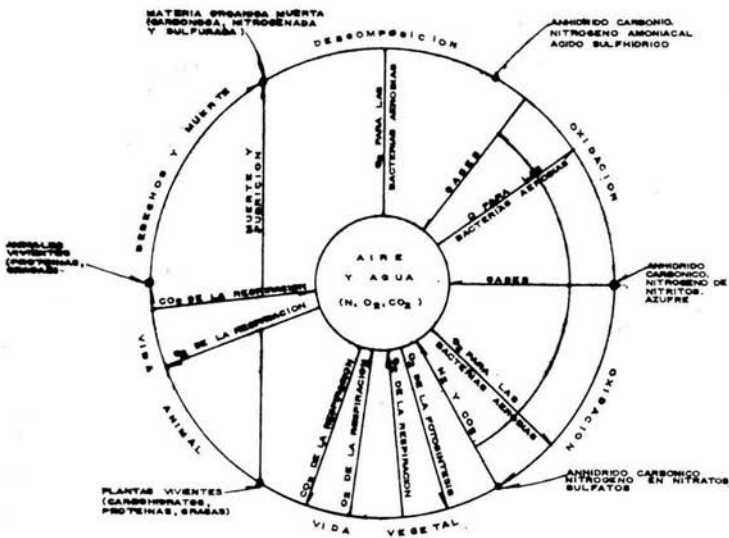
Falta página

N° 11

FIGURA 1



(a)



(b)

Ciclo del carbón, del nitrógeno y del azufre en a) descomposición anaerobia; b) descomposición aerobia.



### 3 - ANTIQUEMIAS

En general, el problema de evacuación de las aguas negras hace necesario algún tipo de tratamiento, para el mismo.

El tratamiento de las aguas negras es cualquier proceso al que se someten las aguas negras para eliminar o alterar sus constituyentes dañinos y hacerlo, así como agresivo o peligroso. Puede clasificarse el tratamiento como preliminar, primario, secundario o terciario completo, según sea el grado de procesamiento.

El tratamiento preliminar puede ser el acondicionamiento de los desechos industriales antes de su descarga para eliminar o neutralizar sustancias dañinas para las alcantarillas y los procedimientos de tratamiento en sí, pueden ser operaciones unitarias con el fin de preparar los desechos para un tratamiento más importante.

El tratamiento primario constituye el primero, y a veces el único tratamiento de las aguas negras. Este proceso elimina los sólidos flotantes y los sólidos en suspensión, tanto finos como gruesos. Si la planta provee solamente un tratamiento primario, se considera que el efluente sólo ha sido parcialmente tratado.

El tratamiento secundario aplica métodos biológicos al efluente del tratamiento primario. La materia orgánica todavía presente se estabiliza con procesos aeróbicos.

El tratamiento terciario o completo elimina un alto porcentaje de materias en suspensión, coloidales y orgánicas. También pueden cuajar desinfectadas las aguas en este tipo de tratamiento.

La eficacia del tratamiento depende de la calidad de diseño y operación de la planta y del tipo y concentración de las aguas negras. En la tabla 1 se listan las

**TABLA I EFICIENCIAS DE LOS METODOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS \***

TIPO DE TRATAMIENTO	% DE REDUCCION		
	MATERIA EN SUSPENSION	D B O	BACTERIAS
REJILLA FINA	5 - 20		10 - 20
SEDIMENTACION SENCILLA	35 - 65	25 - 40	50 - 60
PRECIPITACION QUIMICA	75 - 90	60 - 85	70 - 90
FILTRO PERCOLADOR LENTO O DE CAPACIDAD BAJA, INCLUYE PRESEDIMENTACION Y SEDIMENTACION FINAL	70 - 90 +	75 - 90	90 +
FILTRO PERCOLADOR RAPIDO O DE CAPACIDAD ALTA, INCLUYE PRESEDIMENTACION Y SEDIMENTACION FINAL	70 - 90	65 - 95	70 - 95
CIENO ACTIVADO NORMAL, INCLUYE PRESEDIMENTACION Y SEDIMENTACION FINAL	80 - 95	80 - 95	90 - 95 +
CIENO ACTIVADO DE ALTA TASA, INCLUYE PRESEDIMENTACION Y SEDIMENTACION FINAL	70 - 90	70 - 95	80 - 95
AEREACION POR CONTACTO, INCLUYE PRESEDIMENTACION Y SEDIMENTACION FINAL	80 - 95	80 - 95	90 - 95 +
FILTRACION INTERMITENTE POR ARENA, INCLUYE PRESEDIMENTACION	90 - 95	85 - 95	95 +
CLORINACION:			
AGUAS NEGRAS DECANTADAS		•	90 - 95
AGUAS NEGRAS TRATADAS BIOLÓGICAMENTE		•	98 - 99

• TOMADO DE E. W. STEEL, WATER SUPPLY AND SEWERAGE, MCGRAW-HILL BOOK COMPANY, NEW YORK.

• LA REDUCCION DEPENDE DE LA DOSIFICACION

eficiencias de los métodos usuales, en términos del porcentaje de reducción de sólidos en suspensión, bacterias, DBO. ( Merritt, op. cit. 1973 ).

#### Lagunas de alta tasa de oxidación.

Las lagunas de alta tasa de oxidación, han sido recientemente estudiadas, sus características en cuanto a diseño son muy específicas. ( Fig. 2 ) .

Deben ser cuerpos de agua de poca profundidad y de grandes áreas, representan la fase oxidativa de la autpurificación, en una laguna de alta tasa de oxidación - debe existir un número determinado de algas que produzca una alta concentración de oxígeno, este provocará una aceleración de las reacciones de tipo aerobio, que permitirá pasar de la zona de degradación a la zona de recuperación y al agua - limpia sin pasar por la zona de descomposición o haciendo que el tiempo que dure la zona de descomposición sea mínimo.

Para que esto sea posible se requiere que la columna de agua sea de poca profundidad para evitar zonas de putrefacción permitiendo el paso de los rayos solares en toda la columna de agua. Por eso sus profundidades van de 0.2m a 0.6 m. Esto hace indispensable que cuando menos una o dos veces los sólidos suspendidos y sedimentables sean separados de las aguas en el efluente final.

Las características en cuanto a su eficiencia son para un tiempo de retención - de un día, con aguas de tipo doméstico con 450 kg de  $DBO_5$  / ha / día. Se producen - aproximadamente 450 kg de algas / ha / día, con un efluente de  $DBO_5$  menor a 30 mg / l, aunque el sistema de lagunas de alta tasa de oxidación son sin duda un proceso muy eficiente . Tiene la desventaja de requerir personal capacitado para operar y mantener la remoción de algas de la planta. ( Duncan. 1983 ).

FIGURA 2

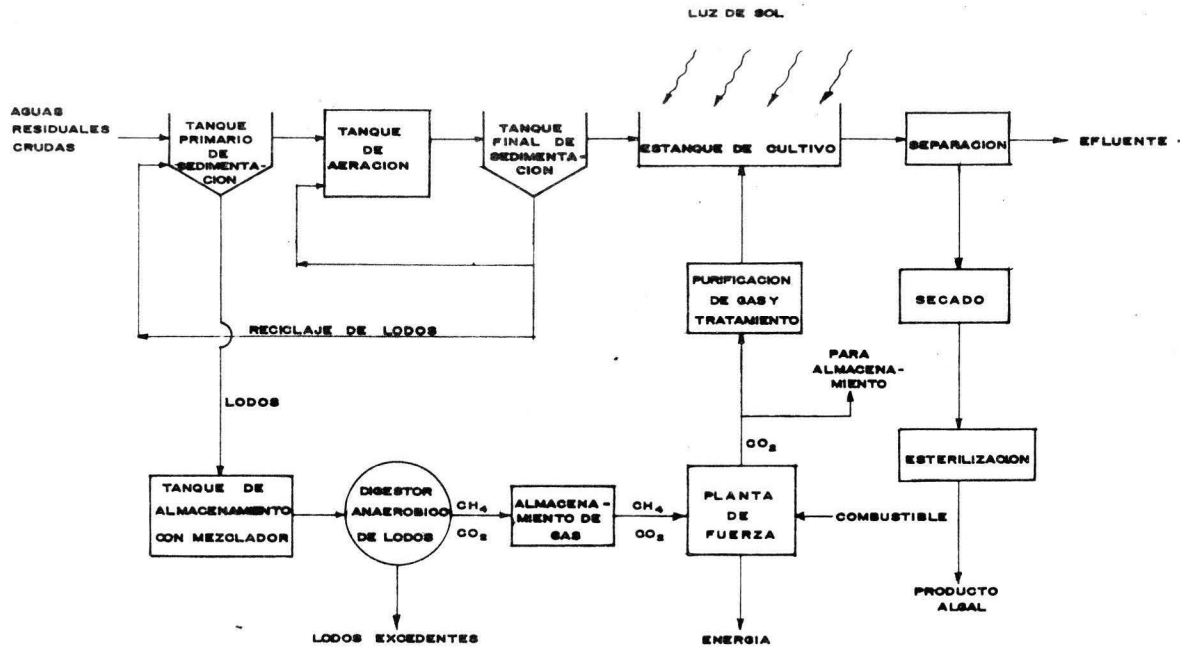


DIAGRAMA DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Y PRODUCCION ALGAL.

En general las lagunas de alta tasa de oxidación han tenido buenos resultados en países de climas cálidos, como la India, Tailandia e Israel.

Nuestro país cuenta con las condiciones apropiadas para el funcionamiento de lagunas de alta tasa de oxidación, sin embargo en la actualidad no se cuenta con ninguna planta de este tipo .

### 3.1 CARACTERISTICAS DE LOS GRUPOS DE INDICADORES ESCOGIDOS

#### Grupo Coliforme.

Entre los grupos más comunes del intestino y por ende de las aguas de desecho se encuentran las bacterias del grupo coliforme. Este grupo incluye a todos los bacilos aerobios y facultativos, gram - negativo, no esporulados que producen ácido láctico y gas de la fermentación de la lactosa dentro de un periodo de 24 - 48 horas, cuando se incuban a 35° C . Las especies más comunes de este grupo son varias cepas de Escherichia coli, seguida de Enterobacter ( Aerobacter ) aerogens.

Las desventajas de emplear a este tipo de organismos más que al organismo patógeno específico es la de que los organismos coliformes se encuentran tanto en personas sanas como en enfermas en gran cantidad y billones de ellos son excretados diariamente .

Se ha estimado que por cada bacilo de tifo, u otro patógeno ( por ejemplo Entamoeba histolítica ) ó el virus de la polio ó de la hepatitis en aguas contaminadas - existen generalmente millones de coliformes especialmente Escherichia coli otra característica que presentan los organismos del grupo coliforme es su supervivencia en

el medio acuático lo cual es mayor a la que pueden sobrevivir la mayor parte de los patógenos intestinales.

Los coliformes generalmente son capaces de reproducirse fuera del intestino, - pueden sobrevivir durante semanas o meses, dependiendo de las condiciones en el agua una especie que presenta estas características es Clostridium perfringens, debido a la resistencia de sus esporas, puede sobrevivir por tiempo indefinido.

La presencia de estos organismos en ausencia de otros, por lo tanto, sugiere - que la contaminación no es reciente. Clostridium perfringens crece en forma natural en suelo y aguas contaminadas.

La principal ventaja que presenta el grupo coliforme es el corto periodo en el cual pueden ser detectados, esto permite tener resultados en un periodo de 24 horas en contraste con la identificación más tardada y complicada de patógenos específicos.

En muchos artículos en la literatura revisada, el término " estreptococo fecal " y " enterococo " es usado indistintamente, pero los conceptos más recientes restringen el uso de estreptococo fecal al grupo D Lancefield que incluye a S. faecalis, S. faecalis var. liquefaciens, S. faecalis var. zymogenes, S. durus, S. faecium, S. bovis, - S. equinus y sus biotipos. La detección de estos organismos indica contaminación fecal.

El tiempo de sobrevivencia de estos organismos indicadores en el agua es de importancia ( fig. 2 ) los estreptococos fecales son incapaces de reproducirse fuera - del tracto digestivo y no sobreviven mucho tiempo, Bacillus bifidus solamente sobreviven un corto tiempo fuera del intestino. Su presencia en números elevados es indicio de contaminación reciente de unas cuantas horas o días.

Los estreptococos fecales crecen en presencia o ausencia de aire y son claramente tolerantes a la alcalinidad. También sobreviven en condiciones que inhiben a muchos

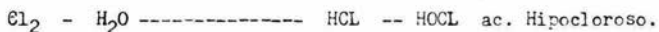
otros organismos, sin embargo no son tan resistentes a las condiciones desfavorables como las endosporas de Bacillus y Clostridium.

### 3.2 - METODOS EMPLEADOS PARA LA ACCION DE BACTERIAS

Los métodos más empleados para la desinfección son :

- 1.- La cloración del agua.
- 2.- La ozonificación.
- 3.- La utilización de luz ultravioleta.

La cloración se realiza mediante la utilización de sales de Hipoclorito de Sodio o cloraminas que reaccionan con el agua para formar ácido Hipocloroso.



El ácido hipocloroso es muy inestable y se descompone rápidamente, y su acción sobre los compuestos celulares es indiscriminada; oxidando las proteínas y desnaturizando irreversiblemente las enzimas celulares. La destrucción de las células mediante la combinación directa del cloro con las membranas celulares o otras proteínas es mínima en la cloración del agua.

El ozono actúa en forma similar en el agua liberando un solo oxígeno:



Las desventajas que presentan estos dos métodos en aguas contaminadas por --  
aguas residuales son :

- 1.- La presencia de sólidos suspendidos y de materia orgánica que compete en for- -  
ma indistinta por el oxígeno disminuyendo la eficiencia bactericida del oxígeno.
- 2.- La presencia de iones amonio que pueden reducir el poder desinfectante mediante  
la formación de cloraminas.
- 3.- El pH alto y la temperatura del agua, que hacen necesaria una mayor cantidad de  
cloro por unidad de volumen.
- 4.- La presencia de iones o compuestos como nitrato,  $H_2S$ , manganeso, o fierro que -  
pueden reducir las propiedades de la cloración debido a que el oxígeno naciente  
actúa más sobre los iones que sobre las bacterias.

Existe también la desinfección de agua potable mediante luz ultravioleta. Este  
método es eficaz para agua potable pero es demasiado costoso para emplearlo en el -  
tratamiento de agua para usos recreativos.

Se pueden mejorar las condiciones del agua, disminuyendo la cantidad de iones,  
materia suspendida y cantidad de bacterias como tratamiento previo a la cloración y  
este es el objetivo de nuestro experimento, la cloración es crítica dependiendo de  
la pureza bacteriológica que se desee obtener.

Esencialmente el método propuesto se tiene la acción de las bacterias aero-  
bias y aerobias facultativas que degradan la materia orgánica presente, como produc-  
to de esta degradación se obtienen compuestos como el Anhídrido carbonico, nitrógeno  
amoniacal y acido sulfurico que mediante aireación se transforman en Anhídrido carbo



nico, nitrógeno o de nitritos y azufre, el  $\text{CO}_2$  es utilizado por las algas y  $\text{O}_2$  - producto de la fotosíntesis por las bacterias que desdoblan los nitritos y los sulfitos en sulfatos, estos compuestos son asimilados y convertidos en biomasa por las algas y eliminados del cuerpo de agua al ser cosechados estos.

Por otro lado un compuesto producto del metabolismo bacteriano es el  $\text{CO}_2$  - el cual es utilizado por las algas mediante la fotosíntesis, que como producto de la misma liberar  $\text{O}_2$  proporcionando oxígeno para el metabolismo bacteriano.

La remoción de bacterias se lleva a cabo principalmente por la luz ultravioleta proveniente de la radiación solar, en un diseño adecuado de laguna de alta tasa de oxidación toda la columna de agua recibe la misma radiación solar, que actúa como agente bactericida debido a la acción de los rayos ultravioleta.

**TABLA I EFICIENCIAS DE LOS METODOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS \***

TIPO DE TRATAMIENTO	% DE REDUCCION		
	MATERIA EN SUSPENSION	D B O	BACTERIAS
REJILLA FINA	5 - 20		10 - 20
SEDIMENTACION SENCILLA	35 - 65	25 - 40	50 - 60
PRECIPITACION QUIMICA	75 - 90	60 - 85	70 - 90
FILTRO PERCOLADOR LENTO O DE CAPACIDAD BAJA, INCLUYE PRESEDIMENTACION Y SEDIMENTACION FINAL	70 - 90 +	75 - 90	90 +
FILTRO PERCOLADOR RAPIDO O DE CAPACIDAD ALTA, INCLUYE PRESEDIMENTACION Y SEDIMENTACION FINAL	70 - 90	65 - 95	70 - 95
CIENO ACTIVADO NORMAL, INCLUYE PRESEDIMENTACION Y SEDIMENTACION FINAL	80 - 95	80 - 95	90 - 95 +
CIENO ACTIVADO DE ALTA TASA, INCLUYE PRESEDIMENTACION Y SEDIMENTACION FINAL	70 - 90	70 - 95	80 - 95
AEREAACION POR CONTACTO, INCLUYE PRESEDIMENTACION Y SEDIMENTACION FINAL	80 - 95	80 - 95	90 - 95 +
FILTRACION INTERMITENTE POR ARENA, INCLUYE PRESEDIMENTACION	90 - 95	85 - 95	95 +
CLORINACION:			
AGUAS NEGRAS DECANTADAS		•	90 - 95
AGUAS NEGRAS TRATADAS BIOLÓGICAMENTE		•	98 - 99

\* TOMADO DE E.W. STEEL, WATER SUPPLY AND SEWERAGE, MCGRAW-HILL BOOK COMPANY, NEW YORK.

• LA REDUCCION DEPENDE DE LA DOSIFICACION

#### 4 - IMPORTANCIA

Uno de los problemas que ha traído consigo el aumento de la concentración urbana es el incremento de la contaminación de ríos y otros cuerpos de agua, como resultado de las descargas de desechos de tipo doméstico e industrial.

Este aumento desmedido de sustancias putrescibles ha ocasionado alteraciones en el ambiente acuático amenazando la existencia de muchas especies de plantas y animales.

Para resolver este problema se requieren entre otras acciones de :

- 1.- El tratamiento de las aguas de tipo doméstico vertidas a los ríos.
- 2.- La colaboración de las industrias cuyas aguas de desecho son vertidas sin tratamiento en los ríos y otros cuerpos de agua.
- 3.- La concientización de la población mediante campañas de información sobre problemas ambientales.
- 4.- El desarrollo de nuevos sistemas de tratamiento que minimicen el vertido de contaminantes.

Un ejemplo del deterioro ambiental ocasionado por los motivos antes mencionados lo constituye la laguna de Xochiaca, un cuerpo de agua de aproximadamente 100 hectáreas localizado al poniente del Aeropuerto Internacional de la ciudad de México; hacia el oriente se encuentra Ciudad Nezahualcóyotl; hacia el norte el río Churubusco colidando hacia el sur la Delegación Venustiano Carranza del D. F. ( fig. 1 ).

Las aguas de este cuerpo tiene un pH promedio de 9.18 dado principalmente por la alta concentración de carbonatos. La salinidad promedio es de 5.23‰ y esta dada por la presencia de iones  $NO_3^-$ ,  $CO_3^{2-}$ ,  $PO_4^{3-}$ ,  $SO_4^{2-}$  provenientes de la descomposición de la materia orgánica depositada en el fondo de la laguna. Estas condiciones han propiciado el desarrollo en forma " natural " de una capa uniforme de Spirulina heintzi ( G. de Toni, 1936 ) en todo el cuerpo de agua.

Durante el día este cuerpo de agua presenta condiciones aerobias, con una concentración de saturación de oxígeno de 20 mg / l y durante la noche el ambiente se torna anaerobio ( 2.3 mg de  $O_2$  / l ) .

En cuanto a la contaminación de origen fecal el número de coliformes totales es menor o igual a 24,000 / 100 ml. Todo esto nos hace pensar que este cuerpo de agua hace las veces de una laguna facultativa. ( Treviño, et al, 1985 ) .

No obstante el alto grado de contaminación que priva en este cuerpo de agua - existe una gran variedad de especies principalmente aves migratorias como Anas -- actua ( pato golondrino ), Anas clipeata ( pato bocoñ ), Anas crecca carolinensis, ( cerceta verde ), Anas discors ( cerceta azul ), Anas cynoptera ( cerceta café ) Anas americana ( pato chalcuán ), Aythya americana ( pato cabeza roja ), Aythya collariis ( pato beludo prieto ), Cxyura jamaicensis ( pato tepalcate ) que utilizan estas aguas durante sus migraciones.

En la actualidad gran parte de la laguna ha servido de basurero y presenta un aspecto deplorable además de los peligros que esto implica para la salud por el desarrollo de plagas, como moscas y roedores. ( Treviño, et al , 1985 ) .

La Delegación Venustiano Carranza del D. F. externo su interés de rehabilitar este cuerpo de agua al Instituto de Ingeniería de la U. N.A. M. para participar en la creación del " Parque Ecológico Xochiaca ". Debido a la importancia del problema se planteó un programa tendiente a la Rehabilitación de la Laguna de Xochiaca.

Como parte de este proyecto se llevo a acabo la presente Tesis que tiene como propósito estudiar la factibilidad de emplear el sistema de lagunas de alta tasa de oxidación para mejorar la calidad de agua de este cuerpo de agua obteniendo además una producción de biomasa algal.

#### 4.1 LOCALIZACION DE LA LAGUNA DE XOCHIACA Y CARACTERISTICAS METEOROLOGICAS.

La laguna de Xochiaca colinda con el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México hacia el poniente; hacia el oriente se encuentra Ciudad Netzahualcóyotl ; - hacia el norte la Planta de bombeo de las aguas del río Churubusco y hacia el sur, colonias populares de la Delegación Venustiano Carranza del D. F. ; ( fig. 3 ). - El area que abarca la laguna de Xochiaca es de aproximadamente 100 hectareas.

La laguna presenta un clima subhúmedo seco (  $C_1$  ) con pocas o nulas demandas de agua ( d ); es templado frío (  $B_2$  ) y con régimen de eficiencia térmica normal ( a ), según Thornthwaite. La insolación varía de 450 langley / día a 500 langley / día durante primavera y mínimos de 350 langley / día en el invierno. ( Treviño et al , 1985 ).

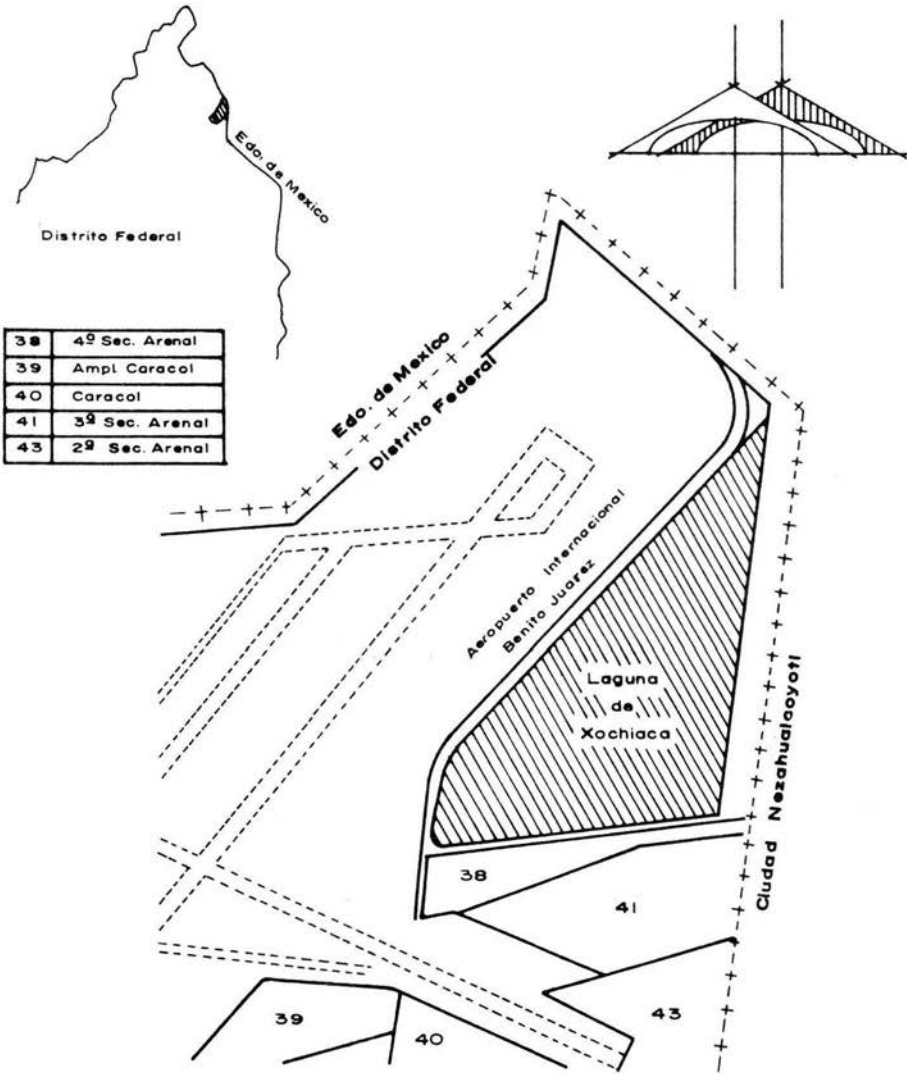


Fig. 3 PLANO DE LOCALIZACION

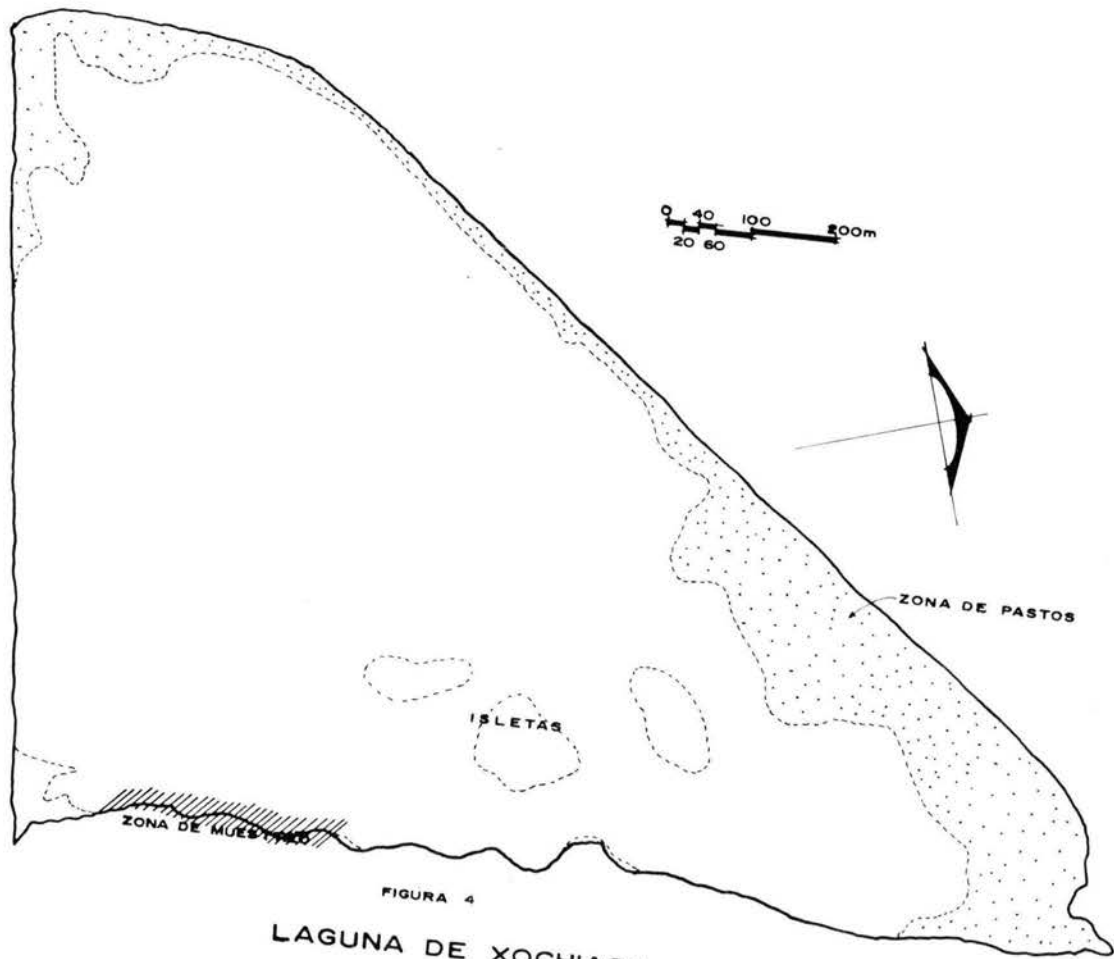


FIGURA 4  
LAGUNA DE XOCHIACA

5 - OBJETIVOS Y ALCANCES

- I . - Comparar el crecimiento de Spirulina geltlieri ( G. de Toni, 1936 ) obtenido en el agua de la laguna de Xochiaca con el crecimiento en agua de tratamiento de tipo convencional ( planta de tratamiento de aguas residuales de C. U. ) y en un medio sintético ( Zarouk ) con la finalidad de estudiar las alternativas para la rehabilitación y mantenimiento de la laguna de Xochiaca.
  
- II . - Cuantificar los cambios físico - químicos y bacteriológicos ocurridos durante el tratamiento del agua de la laguna de Xochiaca a nivel laboratorio mediante el sistema de lagunas de alta tasa de oxidación.



## DIAGRAMA DE FLUJO

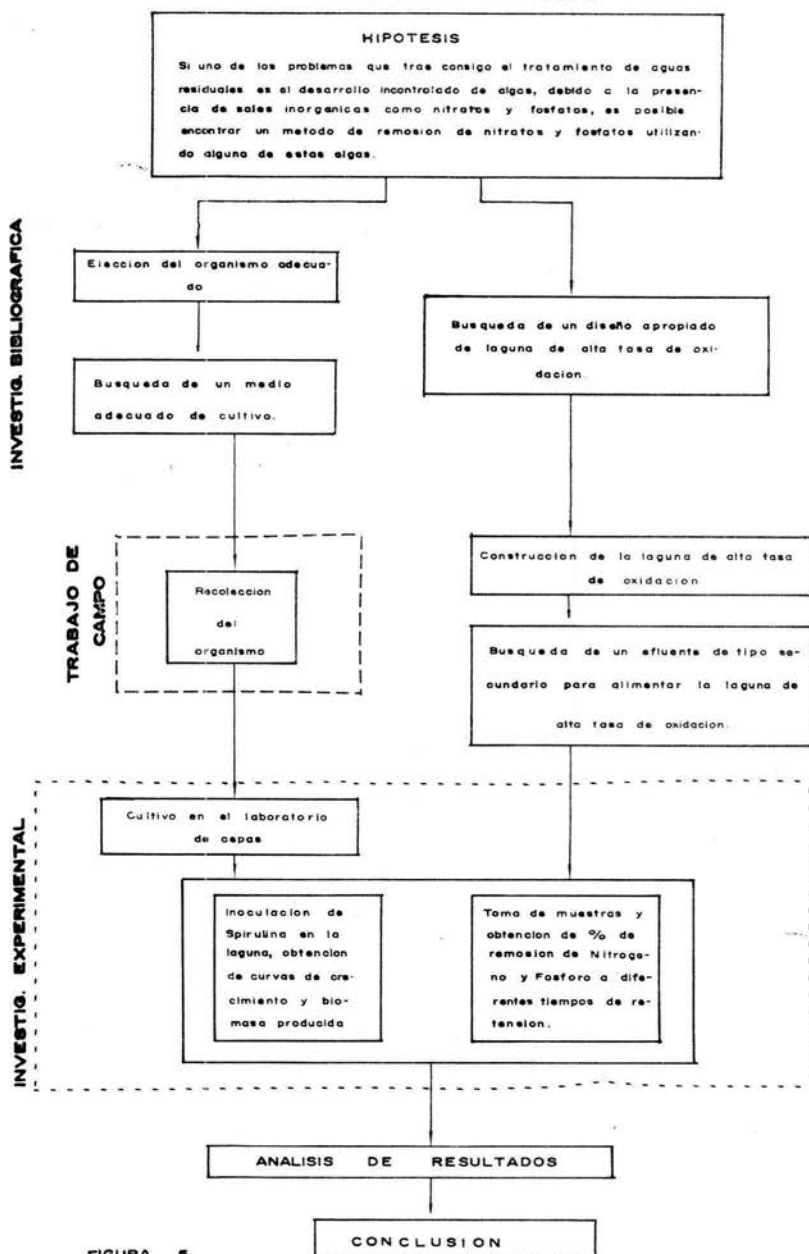


FIGURA 5

## 6 - METODOLOGIA

### 6.1 - EXPERIMENTO I

Este experimento consistió en comparar el crecimiento de Spirulina geitleri ( G. de Toni, 1936 ) en agua de Xochiaca ( medio B ) contra un testigo ( medio A ) y tres variables experimentales ( medios C, D, F ).

Estas pruebas se realizarón para estudiar las posibilidades de desarrollar cultivos de Spirulina geitleri ( G. de Toni, 1936 ) con los nutrientes disueltos en el agua (  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{PO}_4$ ,  $\text{SO}_4$  ) de la laguna de Xochiaca en forma independiente de los nutrientes del sustrato ( fondo de la laguna ) ya que el proyecto de rehabilitación contempla la remoción de este sustrato.

#### 6.1.1. LOCALIZACION Y MONTAJE DEL EXPERIMENTO I

El experimento I se llevo a cabo en el laboratorio de contaminación ambiental del Instituto de Ingeniería de la U. N. A. M.

Se colocarán sobre una mesa de 1.20 m por 1.60 m los matraces en donde se realizaron las pruebas de crecimiento. La superficie de la mesa se cubrió con papel aluminio para optimizar al máximo la iluminación. La iluminación fué constante ( día y noche ) y se proporciono mediante el empleo de dos lamparas de neón de 40 watts colocadas a una distancia de 1.00 m ( las lamparas se encontraban suspendidas y sostenidas del techo del laboratorio ).

El agua utilizada en el experimento ( Xochiaca y Plata de tratamiento ) fue -

filtrada primero al vacío con papel wathman no. 30 y posteriormente esterilizada en autoclave a 121° C durante 15 minutos a 110 libras de presión .

#### 6.1.2 DESARROLLO DE Spirulina geitleri ( G. DE TONI, 1936 ) EN DIFERENTES MEDIOS DE CULTIVO.

Se tomarón para la preparación de este experimento 5 litros de agua del efluente de la planta de tratamiento y 5 litros del agua de la laguna de Xochiaca , ambas -- muestras fueron filtradas al vacío con papel wathman no. 30 y posteriormente fueron esterilizadas con autoclave a 121° C durante 15 minutos a 110 libras de presión.

Los medios que se utilizaron en el experimento I fueron los siguientes :

Medio A .- Medio de cultivo sintético ( testigo ).

Medio B .- agua de la laguna de Xochiaca ( variable experimental I ).

Medio C .- Agua de la planta de tratamiento ( variable experimental II ).

Medio D .- Agua de Xochiaca 50 % y agua de la planta de tratamiento 50 % ( variable experimental III ).

Medio E .- Agua de la planta de tratamiento adicionada con nitrato de sodio y bicarbonato ( variable experimental IV ).

El medio sintético empleado como testigo fué el el desarrollado por Zarouk ( Zarouk , 1966 ) este medio esta compuesto por los siguientes ingredientes por litro -- en agua destilada :

15.0 g de  $\text{NaHCO}_3$   
0.5 g de  $\text{K}_2\text{HPO}_4$   
2.5 g de  $\text{NaNO}_3$   
1.0 g de  $\text{K}_2\text{CO}_4$   
1.0 g de  $\text{NaCl}$   
0.2 g de  $\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$   
0.04 g de  $\text{CaCl}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$   
0.01 g de  $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$   
0.03 g de EDTA.

El medio basal fué enriquecido con 1 ml de oligoelementos compuestos por :  
2.86 g de  $\text{H}_3\text{BO}_3$ , 1.81 g de  $\text{MnCl}_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$ , 0.22 g de  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ , 0.08 g de  $\text{CuSO}_4$  y  
0.01 g de  $\text{MoO}_3$  por litro de agua destilada.

### 6.1.3. OBTENCION DE LAS CURVAS DE CRECIMIENTO MEDIANTE LECTURAS DE DENSIDAD OPTICA

Las curvas de crecimiento se obtuvieron mediante la lectura de la absorbancia en un fotocolorimetro a una longitud de 660 nanometros para detectar el incremento de clorofila A ( Vonshak, 1983 ).

Las lecturas se hicieron diarias midiendose el % de absorbancia, el experimento comenzó el 23 de julio de 1985 y concluyó el 9 de Agosto de 1985, los resultados se graficaron en papel semi-log.

## 6.2 EXPERIMENTO II

Este experimento consistió en montar un modelo a nivel laboratorio de una laguna de alta tasa de oxidación en el interior de un invernadero, con el objetivo de medir :

- a) Los cambios físicos - químicos ocurridos durante su funcionamiento.
- b) La remoción de enterobacterias ocurridas durante su funcionamiento.

### 6.2.1. DESCRIPCION FISICA DEL MODELO DE LAGUNA DE ALTA TASA OXIDACION.

El estanque esta fabricado de acrílico, el area del estanque es de 120 cm x 40 cm con una altura de 7 cm, está construido con un pozo en cada uno de sus extremos.

El estanque se encuentra separado en dos compartimientos mediante una pared y se conecta a través de un orificio que se encuentra en el fondo y que permite - interconectar los dos canales ( fig. 6 ).

### 6.2.2 VENTAJAS DEL MODELO ENTENDADO

Se escogió de entre cuatro diferentes diseños de laguna de alta tasa de oxidación, probadas a nivel piloto y a nivel laboratorio ( Cron, 1974, Kosaric, 1974, Saxena, 1975, Vonshak, 1983 ).

De estas cuatro diferentes lagunas de alta tasa de oxidación se escogió el modelo propuesto por N. Kosaric, H.T. Nguyen, y M.A. Bergounou por presentar las siguientes ventajas :

- 1.- Está construida de acrílico lo que permite observar todo el cuerpo de agua en cualquier dirección .
- 2.- Permite el paso de los rayos solares en todo el cuerpo de agua.
- 3.- Funciona mediante la inyección de aire en el interior de dos pozos colocados en los dos extremos de la laguna, lo cual crea una corriente continúa que permite recibir la radiación directa de los rayos solares a toda la columna de agua.
- 4.- La mezcla del aire y el agua es directa lo que permite una mejor aeración .  
( Si se compara con el sistema de rueda de aspas . ) .
- 5.- Su tamaño es pequeño 120 cm por 40 cm lo que permite montar el experimento - dentro de un invernadero donde, pueden controlarse la contaminación por aire ( polvo ) o insectos así como mayor control sobre las variaciones extremas - de temperatura.
- 6.- Su bajo costo. Los materiales con que está construida el estanque son fácilmente adquiribles en el mercado.

### 6.2.3 UBICACION DEL EXPERIMENTO II Y MONTAJE

El experimento II se llevo a cabo en el interior del invernadero del Instituto de Biología. Las razones por las cuales se monto este experimento dentro de un invernadero fuerón, evitar variables extrañas como contaminación debida a insectos - en el agua así como alteraciones en el cuerpo de agua producidas por basuras o polvo, lo cual afectaría el número de enterobacterias del cuerpo del agua alterando los datos obtenidos.

#### Montaje del Experimento.

Para este experimento se utilizó una mesa de 1.20 m por .60 m, cuya cubierta fué forrada con papel aluminio para que la columna de agua fuese iluminada evitando la aparición de zonas de anaerobiosis.

Para proveer la circulación se utilizaron dos bombas para acuario marca Longlife de corriente alterna de 110 a 120 y de 50 a 60 ciclos de 4 wats y una bomba - ragon Elit 801 de 115 volts de C. A. de 60 Hz y de 4.5 wats con salida de aire de - 1300 cc / min ó P.S.I.

#### 6.2.4. MUESTRA C BACTERIOLÓGICO DE LA LAGUNA DE MOCHIRCA

Se tomaron muestras de la laguna en la zona marcada que aparece en la fig. 2 .

Se introdujo el frasco bacteriológico abriéndolo dentro del agua, cerrándolo posteriormente. Las muestras fueron transportadas en una caja con bolsas de polietileno con hielo para impedir contaminación del agua proveniente del hielo derretido.

Al mismo tiempo fueron transportados 20 litros de agua en dos garrafones, previamente lavados con mezcla crómica.

El modelo de la laguna de alta tasa de oxidación fue lavado muy bien, primero con agua y jabón y posteriormente con mezcla crómica.

El agua de los garrafones se depositó en el modelo de acrílico y antes de ponerlo a funcionar se tomó una muestra bacteriológica; esta muestra se obtuvo de los po-

zos que es la parte más profunda de la laguna de alta tasa de oxidación ( 18 cm - de tirante ) acostando el frasco y abriendolo en el interior del pozo.

La muestra fué analizada inmediatamente. Para mantener constante el nivel - del agua se agregó cada vez que se realizaba un muestreo, agua destilada para compensar la pérdida de agua por evaporación y por los muestreos. ( aproximadamente - 80 ml en cada muestreo ).

Los muestreos fueron realizados cada 72 horas y los datos graficados en papel semi - log de 5 ciclos.

#### 6.2.5 TOMA DE MUESTRAS BACTERIOLÓGICAS DEL MODELO

En cada muestreo se utilizarón dos frascos bacteriológicos de boca ancha, de - 250 ml con tapón esmerilado.

Los frascos fueron esterilizados en una autoclave a 121° C durante 20 minutos. Se colocó una tira de papel entre el cuello y la tapa de los frascos para evitar - que se pegaran con el calor, cubriendo además el cuello de los frascos mediante un capuchón de papel aluminio.

#### 6.2.6 TÉCNICAS EMPLEADAS EN LA IDENTIFICACION DE ENTEROBACTERIAS

Se cuantifico la presencia de los grupos coliformes totales, coliformes fecales, estreptococos fecales mediante el método de tubos múltiples hasta la prueba confirmativa ver figuras 7, 8, 9 y 10.



#### 6.2.6.1 TECNICA EMPLEADA EN LA IDENTIFICACION DE COLIFORMES FECALES

##### Procedimiento :

a) Prueba Presuntiva : se sembro en series de 3 tubos de fermentación con caldo lactosado, las diluciones variaron de acuerdo con el tiempo transcurrido en - cada una de las muestras de  $10^{-3}$  ml a  $10^{-1}$  ml.

Se incubó a  $35^{\circ}$  C durante 24 - 48 horas y posteriormente se leyeron los tubos.

b) Prueba Confirmativa : de los tubos positivos ( los que presentaron producción de gas) se resembró en tubos de fermentación con medio E.C. y se incubó a  $44.5^{\circ}$  C en baño maría durante 24 - 48 horas ( fig. 8 ).

Se leyeron los resultados en la tabla NMP.

#### 6.2.6.2 TECNICA EMPLEADA EN LA IDENTIFICACION DE COLIFORMES TOTALES

##### Procedimiento :

a) Prueba Presuntiva : se sembro en series de 3 tubos de fermentación conteniendo caldo lactosado con las muestras a analizar. Las concentraciones de las muestras variaron de  $10^{-3}$  ml a  $10^{-1}$  ml dependiendo de la concentración de las bacterias - ( que dependio del tiempo de tratamiento transcurrido ) .

Después de sembrar los tubos estos se incubaron a  $35 \pm 0.5^{\circ}$  C.

b) Prueba Confirmativa : los tubos positivos de la prueba presuntiva se sembraron en caldo lactosado bilis verde brillante (LBVB) y se incubó a 35° C. Se examinarán los tubos a las 24 horas. Los tubos que no presentarán formación de gas se incubarán durante otras 24 horas.

Se leyeron los resultados en la tabla NMP.

### 6.2.6.3 TECNICA EMPLEADA EN LA IDENTIFICACION DE ESTREPTOCOCCOS FECALES

#### Procedimiento:

a) Prueba Presuntiva : se sembró en series de 3 tubos con medio azida dextrosa y se incubó a 35° C durante 24 - 48 horas ( fig. 10 ).

Las diluciones empleadas variaron de  $10^{-3}$  ml a  $10^{-1}$  ml.

b) Prueba Confirmativa : de los tubos positivos ( los que presentaron turbiedad ) se sembraron los tubos de ensaye con caldo azida violeta de etilo a 35° C durante 24- 48 horas. Se tomo como prueba positiva la aparición de un botón purpura en el fondo del tubo.

Se leyeron los resultados en la tabla del NMP.

Material empleado en la técnica del número más probable.

- Estufa de esterilización de aire con termómetro.
- Autoclave con termómetro y manómetro.
- Pipetas calibradas con un error menor a 2.5 %.

- Tubos de dilución de cristal Pyrex .
- Tubos de ensayo de 25 x 200 mm de cristal Pyrex. con tapón de rosca.
- Tubos Durham.
- Gradilla metálica.
- Mecheros bacteriológicos.
- Asa de siembra de platino - iridio.
- Frascos de muestreo de vidrio, resistentes a la temperatura ( Pyrex ) , con tapón esmerilado.
- Microscopio.

- 25 -

## DIAGRAMA DE UN TANQUE DE CULTIVO DE ALGAS

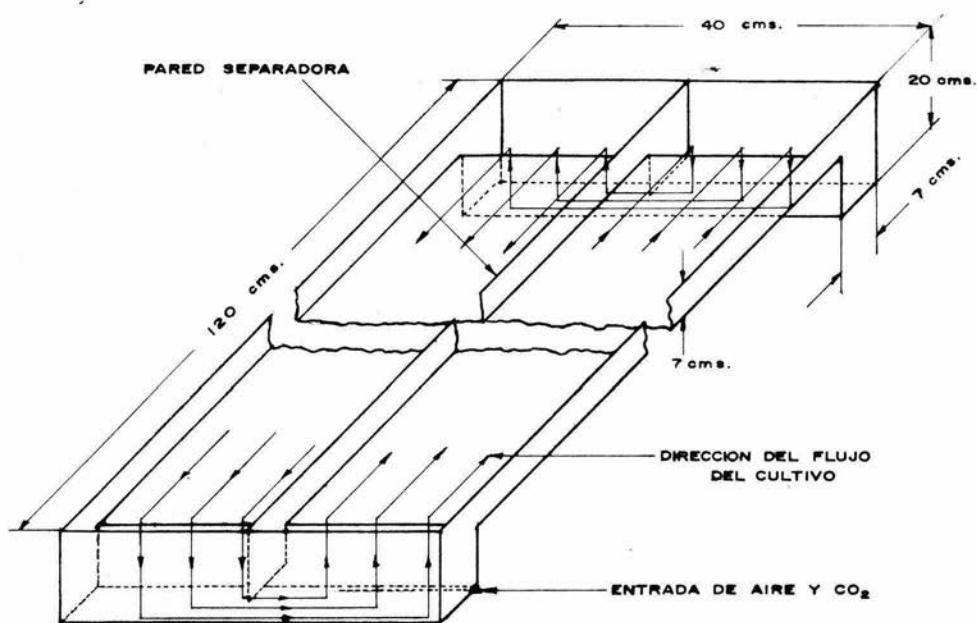
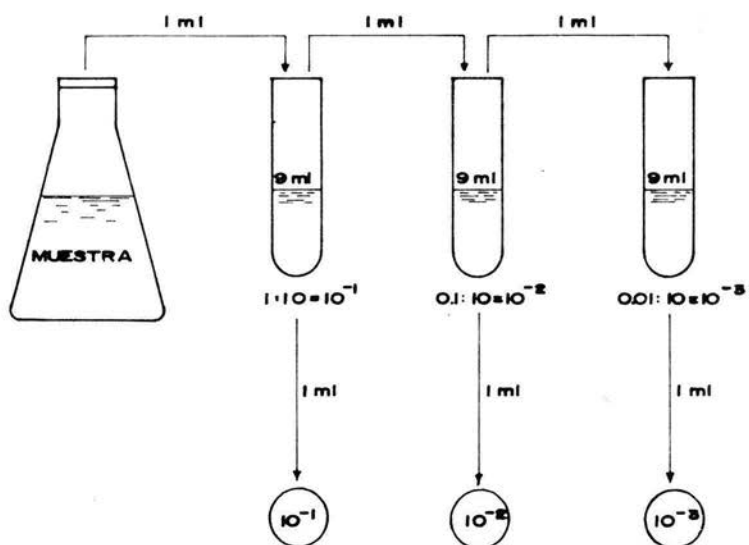


FIGURA 6

## DILUCIONES EN TUBOS



Tomado del manual del CIECA vol. II, SARH, 1973.

FIGURA 7

### PRUEBA PARA LA DETERMINACION DE COLIFORMES FECALES

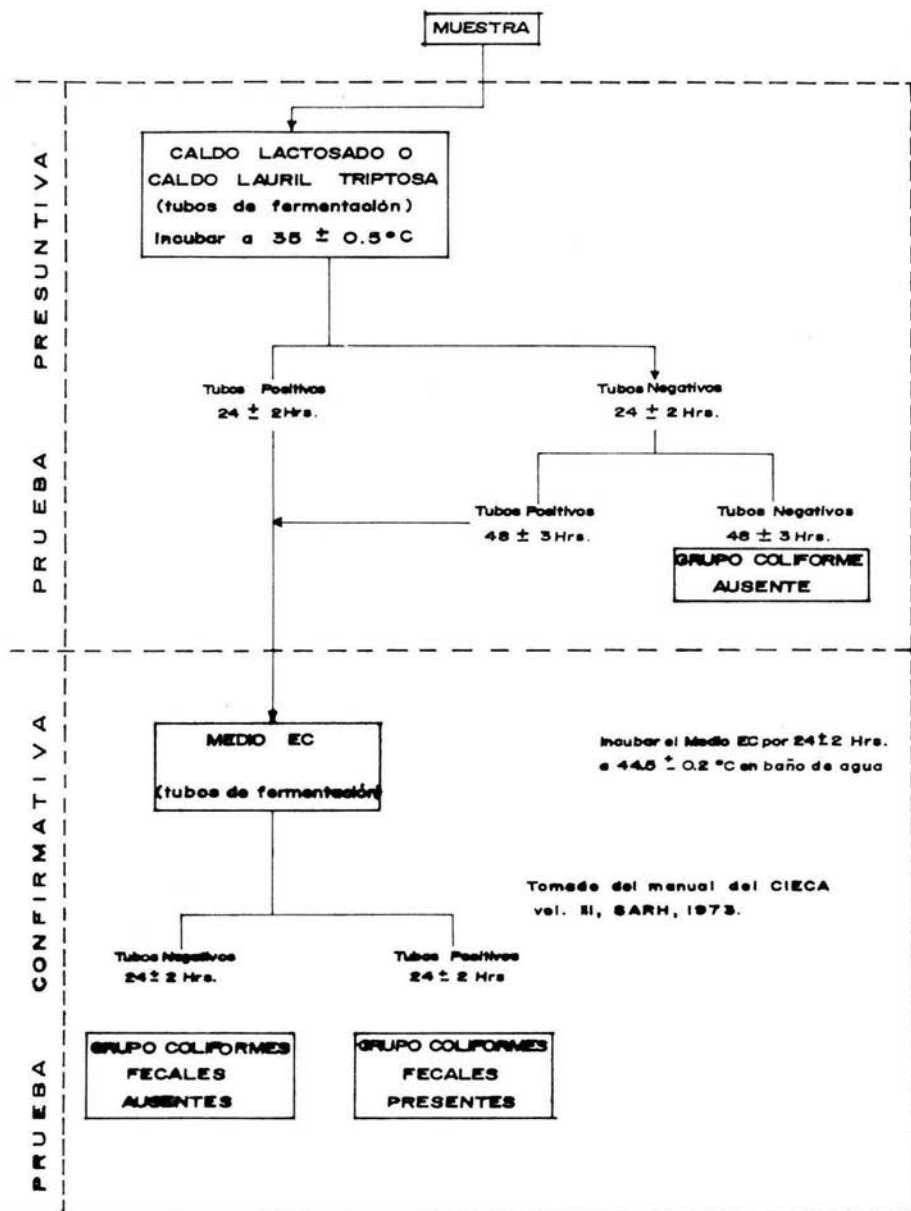


FIGURA 8

**PRUEBA PARA LA DETERMINACION DE COLIFORMES TOTALES**

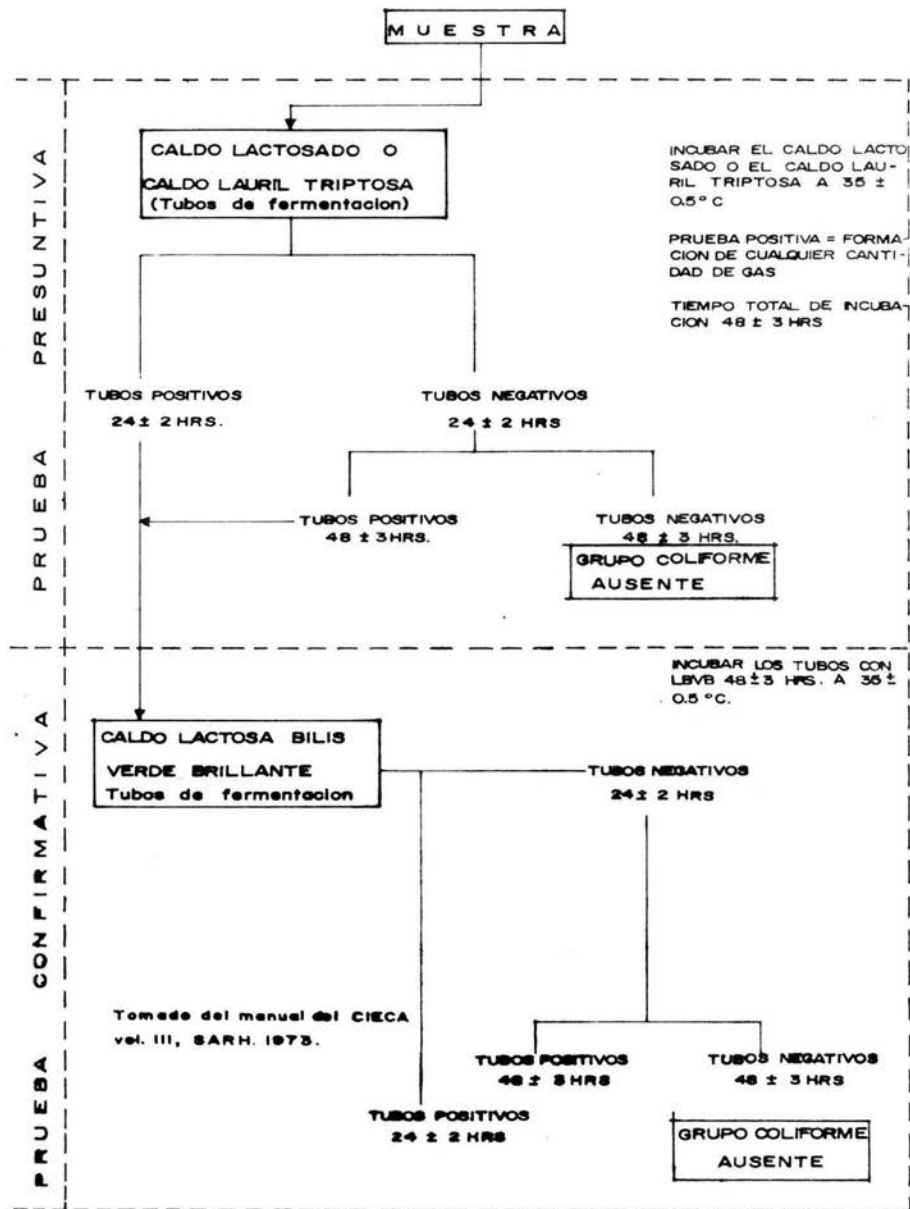


FIGURA 9

**PRUEBA PARA LA DETERMINACION DE  
ESTREPTOCOCCOS FECALES**

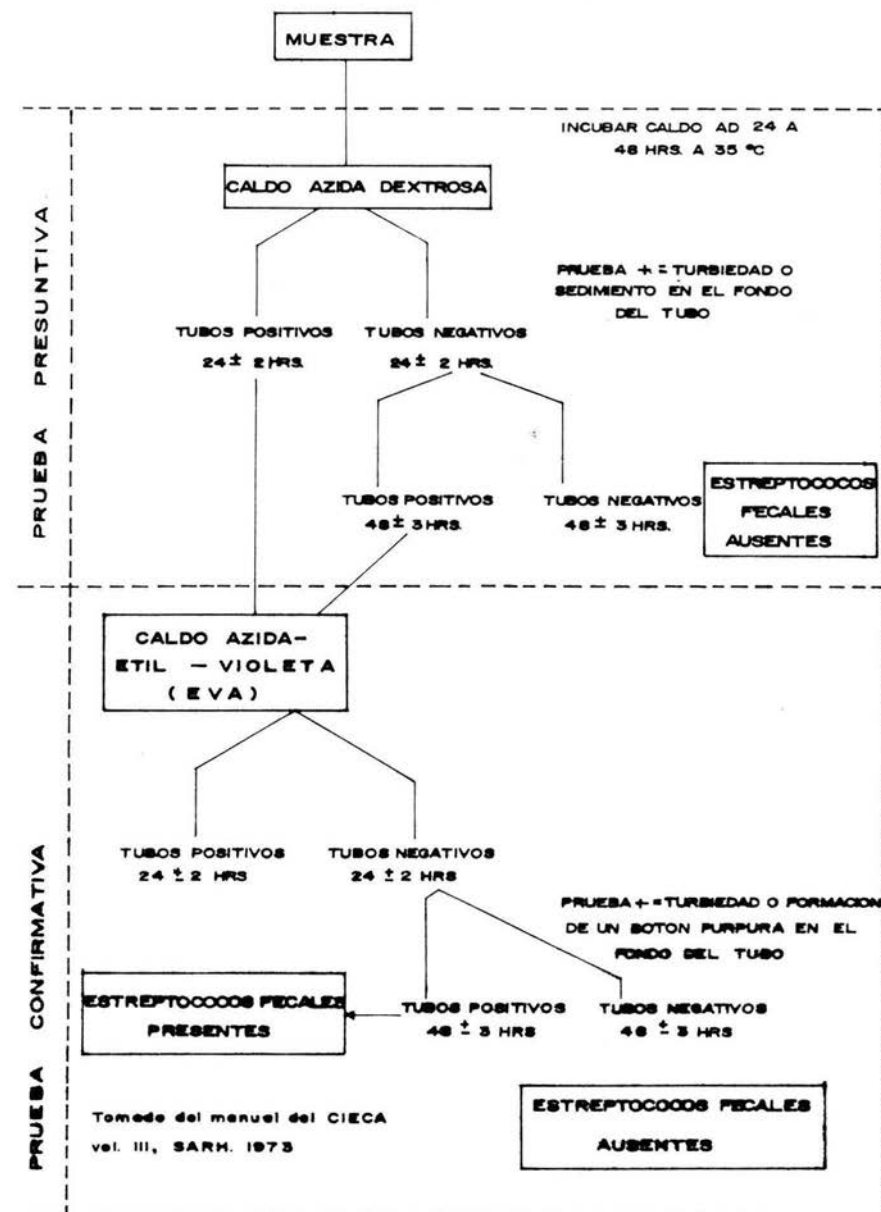


FIGURA 10



#### 6.2.7 DETERMINACION DE PARAMETROS FISICO - QUIMICOS

El oxígeno disuelto fue determinado mediante el método Whinkler, y realizados al mismo tiempo que se realizarón lo muestreos bacteriologicos.

El pH, se tomo mediante un potenciometro marca Corning modelo 10.

La temperatura fue tomada con un termometro para laboratorio marca propper.

La conductividad y el % de salinidad mediante un conductimetro marca Conductivity Bridge modelo 31.

El N amoniacal fue muestreado el 12 de octubre de 1985 y el 4 de noviembre de 1985, las dos muestras fuerón analizadas en le E. N. E.P., Iztacala en el laboratorio de contaminación ambiental por la Q. F. B. Esperanza Robles Valderrama.

Los resultados se encuentran en la tabla 2 .

El periodo de luminosidad durante el experimento se obtuvo mediante la ayuda del anuario astronómico del Instituto de Astronomía de la U.N.A.M. y los datos se encuentran en la tabla 3 .

## 7 - RESULTADOS

### 7.1 - RESULTADOS DEL EXPERIMENTO I

El comparar el crecimiento obtenido en el agua de la laguna de Xochiaca con el agua de tratamiento de tipo convencional ( planta de tratamiento de aguas residuales de C. U. ) y con medio sintético de crecimiento ( Zarco ) tuvo como finalidad estudiar las alternativas para alimentar la laguna de Xochiaca .

La laguna de Xochiaca es un cuerpo de agua de aproximadamente 100 hectareas, el agua de la laguna de Xochiaca lo constituyen las lluvias de temporal y aguas negras del Aeropuerto Internacional. ( Treviño, et al 1985 ). Las alternativas que existen para su mantenimiento son :

- a) Alimentación de la laguna con aguas tratadas provenientes del río Churubusco ó
- b) Tratar las aguas provenientes del Aeropuerto Internacional y alimentar la laguna de Xochiaca con dichas aguas ya tratadas.

A continuación se discuten los resultados obtenidos durante el Experimento I.

Testigo( medio sintético ).

El medio sintético ( medio A ) utilizado como testigo con la finalidad de comparar el crecimiento obtenido en el agua de la laguna de Xochiaca y en agua de tratamiento de tipo convencional ( planta de C. U. ) . El crecimiento más alto se dió en este medio de cultivo ( medio A ); la fig. 11 muestra un aumento constante del crecimiento ( 1% de absorbancia ) acentuado los días 10 y 16.

Variable Experimental I. ( alimentación con agua de Xochiaca ).

El agua de la laguna de Xochiaca fue empleada como medio de cultivo y comparada con el testigo; la primera presentó un crecimiento muy semejante al medio sintético ( medio A ) con crecimiento acentuado entre los días 10 y 15 ( fig. 15 ).

Estos resultados permiten apoyar la conveniencia de tratar el agua de la laguna de Xochiaca mediante el sistema de lagunas de alta tasa de oxidación - con lo cual se obtendría un crecimiento similar al obtenido con un medio sintético , con la ventaja de que los costos de cultivo de Spirulina geitleri - ( G. de Toni, 1936 ) serían mucho más bajos que los obtenidos mediante su cultivo en medio sintético.

Variable Experimental II. ( alimentación exclusiva con aguas tratadas ).

La laguna de Xochiaca puede ser alimentada exclusivamente con aguas tratadas. El emplear exclusivamente aguas tratadas provenientes de la planta de tratamiento de C. U. como medio de cultivo en el laboratorio, se observó un crecimiento errático , estabilizándose para el día 16 debido, probablemente, a la falta de nutrientes ( fig. 13 ) . De los resultados experimentales obtenidos - se puede concluir que el emplear exclusivamente aguas tratadas no sería adecuado ya que se afectarían las condiciones naturales que existen actualmente en la laguna.

Variable Experimental III. ( 50% de agua de Xochiaca y 50% de aguas tratadas ).

Este medio de cultivo fue utilizado para simular las condiciones que se

presentarían si la laguna de Xochiaca fuera alimentada en un 50 % con aguas tratadas del río Churubusco.

En los primeros días hubo un pequeño aumento que se mantuvo estable hasta el día 9 donde comenzó nuevamente la fase de crecimiento hasta el día 18. Este comportamiento extraño se debe probablemente a la existencias de sustancias tóxicas a las algas, lo que impide un crecimiento adecuado, aunque al parecer el alga creó cierta resistencia que podría explicar el aumento posterior al día 9. ( fig 14 ).

La mezcla de agua de la laguna de Xochiaca con 50% de agua tratada produce un crecimiento similar al obtenido al añadir nitrato de sodio y bicarbonato a las aguas tratadas de la planta de C. U. , no obstante puede observarse en la fig. 13 que su crecimiento fue errático, probablemente debido, como se mencionó con anterioridad, a la presencia de sustancias tóxicas a las algas, aunado al cambio de condiciones físico - químicas del medio .

Con base en estos datos experimentales es aconsejable, que el agua tratada que alimentaría a la laguna de Xochiaca fuera unicamente la que se pierda por evaporación y filtración si no se desea cambiar drásticamente las características del medio acuático que existen actualmente en la laguna de Xochiaca.

Variable Experimental IV. ( aguas tratadas y adicionadas con bicarbonato y nitrato de sodio ).

Esta variable supone añadir bicarbonato y nitrato de sodio ( medio E ) - a las aguas tratadas para mantener las condiciones que actualmente existen - en la laguna; con esta adición se obtuvo un crecimiento menor que el obtenido en agua de la laguna de Xochiaca, sin embargo el crecimiento fue mayor que en el mismo tipo de agua sin nutrientes . Lleva a cabo esta opción resultaría

demasiado costoso por lo que sería poco probable llevarla a cabo.

La decisión más razonable sería tratar el agua de la laguna de Xochiaca - mediante el sistema de lagunas de alta tasa de oxidación, lo que permitiría aprovechar los nutrimentos del cuerpo de agua en la obtención de biomasa algal de bajo costo y alimentar el mismo con las aguas negras tratadas provenientes del Aeropuerto ó de otra fuente siempre y cuando el volumen de éstas no rebase el 50 % del volumen del agua de la laguna.

En lo concerniente al funcionamiento del modelo de laguna de alta tasa de oxidación, los cambios más importantes fueron los que a continuación se mencionan. La disminución de la conductividad en un 40 % ( nitrito, nitrato, fosfato y sulfato ) ( Treviño et al , 1985 ) debido probablemente a la disminución de los iones.

En el caso de la salinidad, ésta disminuyó en un 34.5 %. La salinidad está dada por la presencia de carbonatos y bicarbonatos de sodio, por lo que su disminución se debió a la utilización de estos compuestos por parte del alga como fuente de carbono ( fig. 22 ).

La temperatura registrada durante el Experimento II en el modelo de laguna de alta tasa de oxidación a diferentes horas del día en diferentes fechas varió desde 26° C a las 13:00 horas ( 8 de octubre de 1985 ) a 13° c a las 9: 42 horas ( 29 de octubre de 1985 ).

Los análisis de nitrógeno amoniacal se realizaron el 12 de octubre de 1985 - obteniéndose un valor de .09 ppm y para el 4 de noviembre de 1985 se obtuvieron valores de .01 ppm.

### Análisis Bacteriológicos.

En la fig. 17 se muestra el decrecimiento de la población inicial de los 3 grupos de indicadores bacteriológicos escogidos. Los valores obtenidos en el muestreo inicial fueron para los 3 indicadores menores o iguales a 24,000 N.M.F. / 100 ml ( coliformes totales, estreptococos fecales, coliformes fecales ); este valor por ser mayor o igual a 24,000 se descarta ( ya que este método no indica, que tan mayor a 24,000 N.M.F. pueden ser los valores obtenidos ).

Para coliformes totales el segundo valor fue igual a 15,000 N.M.F. / 100 ml para coliformes fecales fue de 9,300 N.M.F. / 100 ml y para estreptococos fecales de 750 N.M.F. / 100 ml ; en los 3 casos el tiempo en que la población alcanzó un valor de cero de acuerdo con los valores experimentales ( fig. 17 ) fue de 23 días.

Para evaluar los resultados obtenidos se elaboró un programa de computación basado en las ecuaciones de Gompert y Von Bertalanfy. ( Duane et al, 1974 ) . Los resultados obtenidos al correr el programa solo coincidieron en el caso de coliformes totales, en los demás grupos los resultados difieren. Al comparar los valores experimentales ( fig. 17 ) con los valores obtenidos mediante el programa de computación ( figs. 18, 19 y 20 ) solamente coinciden los valores de coliformes totales ( fig. 18 ) mientras que en los demás casos no coinciden.

Esta discrepancia entre los valores experimentales y los valores obtenidos mediante el programa de computación se debió a que los muestreos de estreptococos fecales y coliformes fecales fueron insuficientes, y se requiere de emplear otras

técnicas de detección más eficaces como por ejemplo el método de filtración de membrana.

Los resultados obtenidos apoyan la conveniencia de tratar el agua de la laguna de Xochiaca, mediante el sistema de lagunas de alta tasa de oxidación con lo cual, además de mejorar la calidad del agua se obtendrá una producción de algas similar a la obtenida en un medio sintético, con la ventaja de que los costos de producción de *Spirulina geitleri* ( G. de Toni, 1936 ) serían mucho más bajos que los obtenidos mediante el cultivo en medio sintético.

7 - RESULTADOS DEL EXPERIMENTO I

7.1 DATOS OBTENIDOS AL HACER LAS LECTURAS DE ABSORBANCIA Y TRANSMITANCIA  
EN LOS MEDIOS A , B , C , D , E .

Lecturas de Absorbancia y Transmitancia del Medio A

Inicio del cultivo : 23 - julio - 1985

Absorbancia	Transmitancia	Fecha	Hora
.01	98 %	25 -julio -85	13:00
.01	98 %	26 -julio -85	13:00
.05	88 %	29 -julio -85	12:00
.10	79.5 %	1 - agosto -85	13:00
.12	76 %	2 - agosto -85	11:50
.25	63 %	6 - agosto -85	12:53
.30	50 %	7 - agosto -85	12:34
.35	45 %	8 - agosto -85	13:35
.4	40 %	9 - agosto-85	12:42



Lecturas de Absorbancia y Transmitancia del Medio B .

Inicio del cultivo : 23 - julio - 1985 .

Absorbancia	Transmitancia	Fecha	Hora
.030	94 %	25 -Julio - 85	13:0000
.015	97 %	26 - julio- 85	13:00
.05	89 %	29 -julio - 85	15:35
.07	85 %	1 -agosto-85	13:00
.07	83.5 %	2 -agosto-85	11:50
.23	59 %	6 -agosto-85	12:53
.28	53 %	7- agosto-85	12:34
.22	60 %	8 -agosto-85	13:35
.39	41 %	9 -agosto-85	12:42

Lecturas de Absorbancia y Transmitancia del Medio C

Inicio del cultivo : 23 - julio - 1985.

Absorbancia	Transmitancia	Fecha	Hora
.025	95 %	25 - julio - 85	13:00
.025	95 %	26 - julio - 85	13:00
.05	89 %	29 - julio - 85	12:30
.45	90 %	1 - agosto - 85	12:45
.095	81 %	2 - agosto - 85	11:50
.140	72 %	6 - agosto - 85	12:53
.16	69 %	7 - agosto - 85	12:34
.215	61 %	8 - agosto - 85	13:35
.20	63 %	9 - agosto - 85	12:42

Lecturas de Absorbancia y Transmitancia del Medio D.

Inicio del cultivo : 23 - julio - 85 .

Absorbancia	Transmitancia	Fecha	Hora
.025	95 %	25 - julio -85	13:00
.015	96.5 %	26 - julio -85	12:45
.06	87 %	29 - julio -85	15:35
.025	95 %	1 -agosto- 85	13:00
.049	89 %	2 -agosto- 85	11:50
.16	69 %	6 -agosto- 85	12:53
.18	66 %	7 -agosto- 85	12:34
.21	62 %	8 - agosto- 85	13:35
.28	53 %	9 -agosto- 85	12:42

Lecturas de Absorbancia y Transmitancia del Medio E.

Inicio del cultivo : 23 - julio -1985 .

Absorbancia	Transmitancia	Fecha	Hora
.01	94 %	25 - julio - 85	12:50
.02	96 %	26 - julio - 85	13:00
.04	92 %	29 - julio - 85	12:45
.05	89 %	1 - agosto -85	12:30
.05	89 %	2 -agosto - 85	11:50
.145	70 %	6 -agosto - 85	12:53
.19	65 %	7 -agosto - 85	12:34
.22	60.5 %	8 -agosto - 85	13:35
.29	52 %	9 - agosto- 85	12:42

MEDIO SINTETICO

ABSORBANCIA (660 nm)

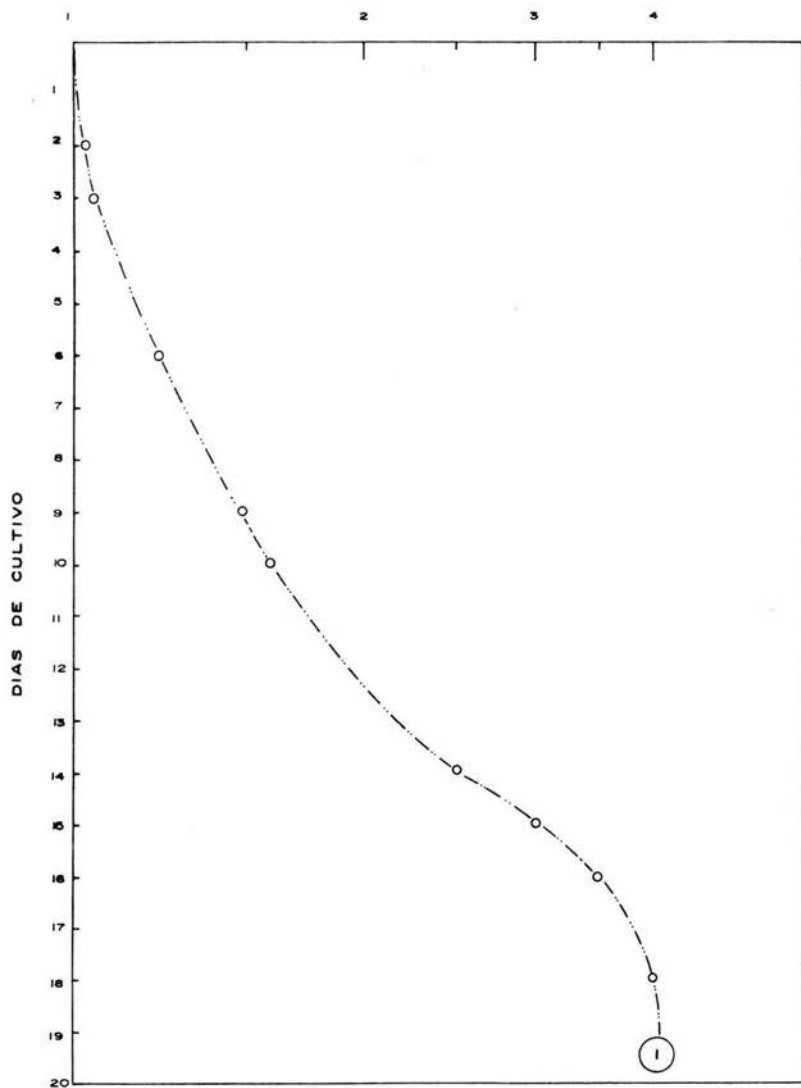


FIGURA II

AGUA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO +  
NUTRIENTES.

ABSORBANCIA (660 nm)

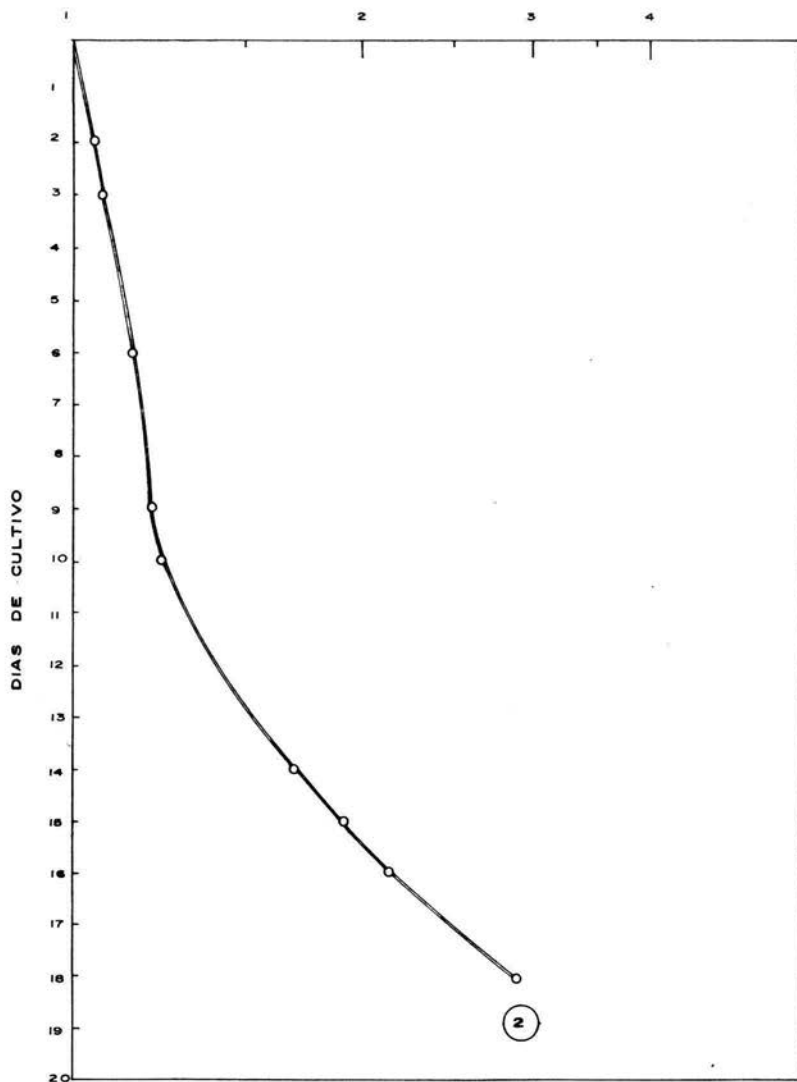


FIGURA 12

AGUA DE LA PLANTA

ABSORBANCIA (660 nm)

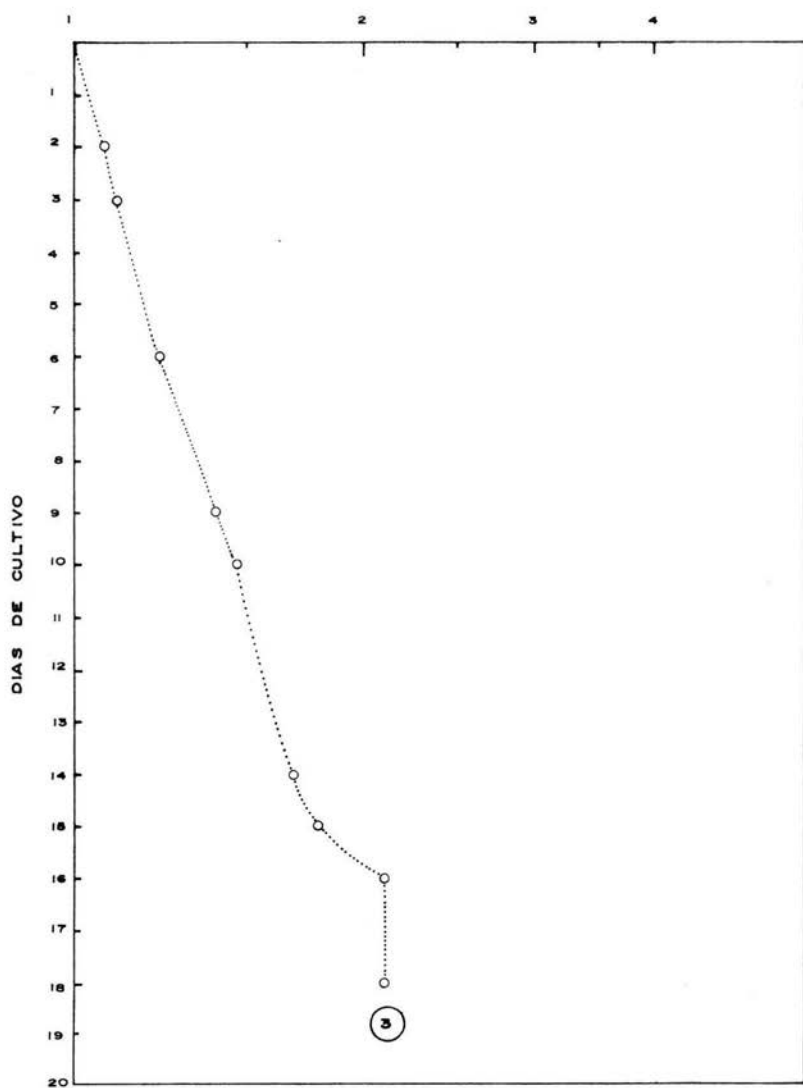


FIGURA 13

AGUA DE LA PLANTA Y AGUA DE XOCHIACA  
50 / 50

ABSORBANCIA (660 nm)

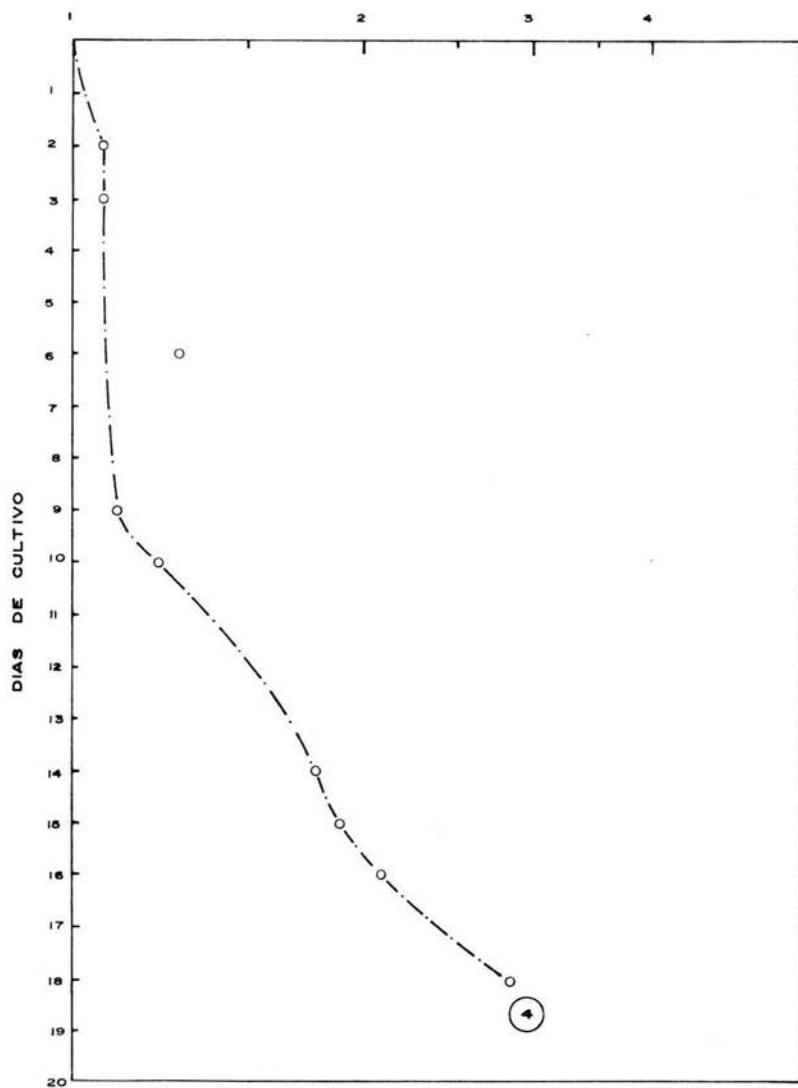


FIGURA 14



### AGUA DE XOCHIACA

DENSIDAD OPTICA (660 nm)

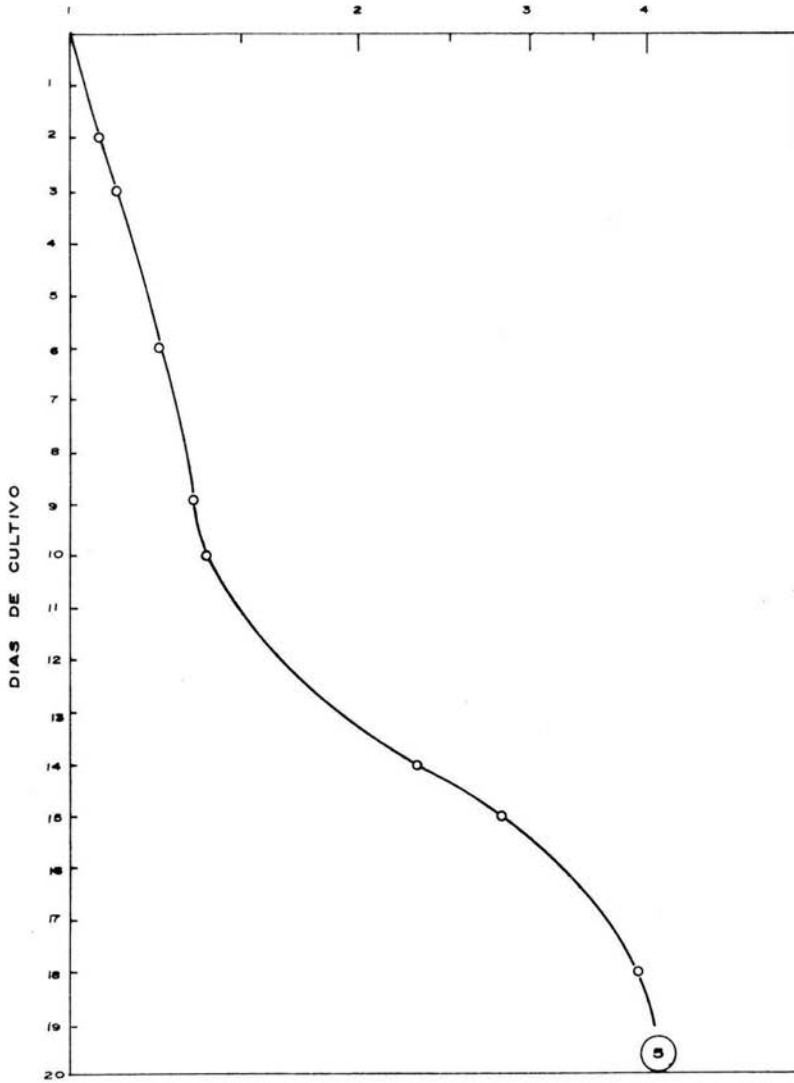


FIGURA 15

# GRAFICAS DE CRECIMIENTO DE SPIRULINA GEITLIERI EN DIFERENTES MEDIOS DE CRECIMIENTO.

ABSORBANCIA (660 nm)

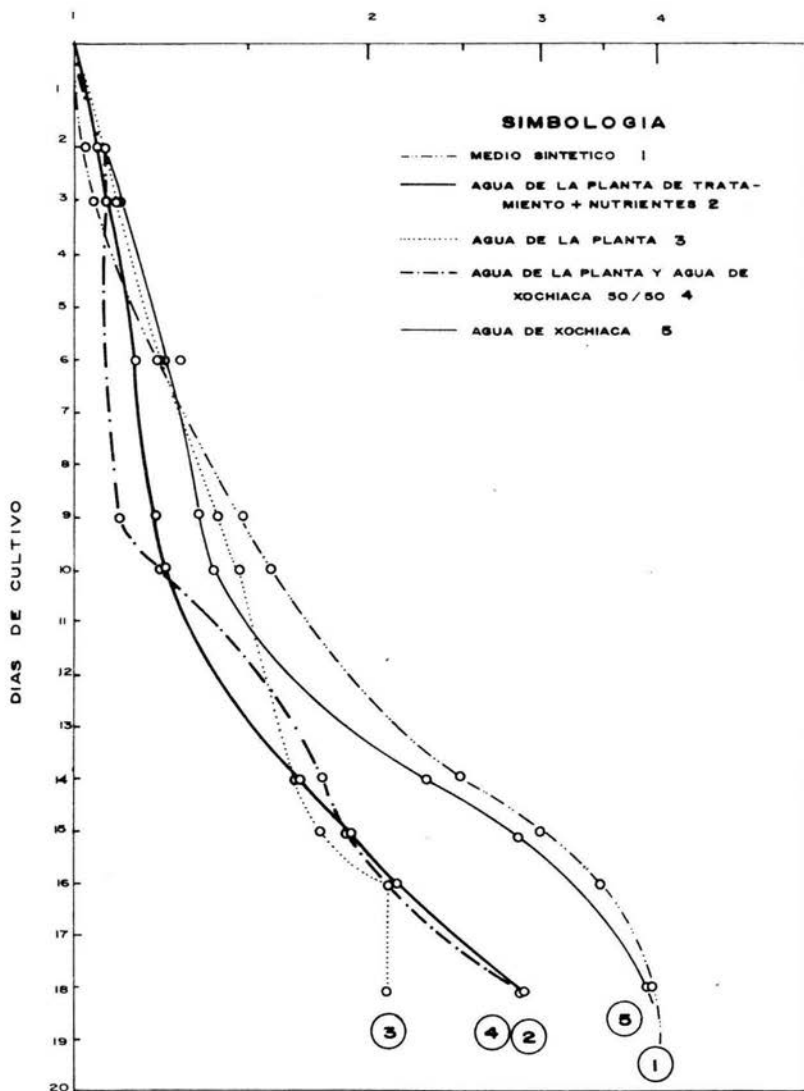


FIGURA 16

7.1. CAMBIOS DEL pH OBSERVADOS DURANTE EL CULTIVO DE Spirulina geltleri  
( G. DE TONI , 1936 ) , EN LOS MEDIOS A, B, C, D Y E .

pH Obtenido en el Medio A.

pH	Fecha	Hora
9.5	29 - julio - 85	15:35
9.6	2 - agosto- 85	11:50
9.8	6 - agosto- 85	12:53
9.8	8 - agosto- 85	13:35
9.8	9 - agosto- 85	12:42

pH Obtenido en el Medio B .

pH	Fecha	Hora
9.4	29 - julio - 85	15:35
9.45	2 - agosto- 85	11:50
9.6	6 - agosto-85	12:53
9.6	8 - agosto -85	13:35
9.3	9 - agosto- 85	12:42

7.2 - RESULTADOS DEL EXPERIMENTO II

7.2.1 VALORES FÍSICO - QUÍMICOS OBTENIDOS DURANTE LA OPERACION DEL MODELO DE LAGUNA DE ALTA TASA DE OXIDACION .

Oxígeno Disuelto	Hora	Fecha
19.00 mg / l	13 : 00	12 - octubre - 85
20.00 mg / l	11 : 30	15 - octubre - 85
18.00 mg / l	18 : 43	21 - octubre - 85
19.75 mg / l	15 : 16	29 - octubre - 85
19.00 mg / l	9 : 42	4 - noviembre - 85

p H	Hora	Fecha
9.8	13 : 00	12 - octubre - 85
9.75	11 : 30	15 - octubre - 85
9.6	18 : 43	21 - octubre - 85
9.3	15 : 16	29 - octubre - 85
9.25	9 : 42	4 - noviembre - 85

## pH Obtenidos en el Medio C.

pH	Fecha	Hora
9.75	29 - julio - 85	15:35
9.6	2 - agosto - 85	11:50
9.8	6 - agosto - 85	12:53
9.8	8 - agosto - 85	13:35
9.65	9 - agosto - 85	12:42

## pH Obtenido en el Medio D.

pH	Fecha	Hora
9.2	29 - julio - 85	15:35
9.3	2 - agosto - 85	11:50
9.4	6 - agosto - 85	12:53
9.5	8 - agosto - 85	13:35
9.3	9 - agosto - 85	12:42

pH Obtenidos en el Medio E .

pH	Fecha	Hora
8.6	29 - julio - 85	15:35
9.6	2 - agosto - 85	11:50
9.6	6 - agosto - 85	12:53
9.6	8 - agosto - 85	13:35
9.5	9 - agosto - 85	12:42

Temperatura	Hora	Fecha
26 °	13 : 00	8 - octubre - 85
20 °	11 : 30	12 - octubre -85
24 °	17 : 20	12 - octubre -85
19.5 °	18 : 43	21 - octubre -85
26 °	15 : 16	23 - octubre -85
13 °	7 : 42	29 - octubre -85

#### Conductividad .

Solamente se hicieron dos mediciones la primera cuatro días después de - iniciado el experimento (12 de octubre de 1985 ), y la segunda al concluir el - experimento ( 4 de noviembre de 1985 ) . Para la primera fecha el valor regis- trado fue de 7.97 mhoms y para la segunda fecha de 3.20 mhoms.

#### Salinidad .

Se obtuvieron dos datos el primero ( 12 de octubre de 1985 ) fue de 5.8% , y el segundo ( 4 de noviembre de 1985 ) dio 2 % .

#### Nitrogeno amoniacal.

Los muesteos fueron realizados en dos ocasiones ( 12 octubre de 1985 ) obteniendose valores de .09 ppm y el 4 de noviembre de 1985 cuy muestra dio valores menores de .01 p p m .

## PARAMETROS AMBIENTALES

TABLA 2

FECHA	OXIGENO DISUELTO		pH	CONDUCTIVIDAD	SALINIDAD	
					%	N amoniacal
8 - X - 85						
12 - X - 85	19.00 mg/l	13:00 hrs.	9.8	7.97 (mhoms)	5.8%	.09 PPM
15 - X - 85	20.00	11:30	9.75			
21 - X - 85	18.00	18:43	9.6			
29 - X - 85	19.75	15:16	9.3			
4 - XI - 85	19.00	9:42	9.25	3.20 (mhoms)	2.0%	No dio valores

### TEMPERATURA

8 - X - 85	13:00 hrs.	26 °C
12 - X - 85	11:30	20 °C
12 - X - 85	17:20	24 °C
21 - X - 85	18:43	19.5 °C
23 - X - 85	15:16	26 °C
29 - X - 85	9:42	13 °C



## PARAMETROS AMBIENTALES

TABLA 3

FECHA		SALIDA (SOL)	PUESTA DEL SOL	DURACION DEL DIA
Oct.	2	5:14 A.M.	19:37	14 hrs. 15 min.
	7	5:15	19:32	14 hrs. 47 min.
	12	5:16	19:28	15 hrs. 44 min.
	17	5:17	19:25	14 hrs. 42 min.
	22	5:19	19:22	14 hrs. 41 min.
	27	5:21	19:19	14 hrs. 40 min.
Nov.	1	5:22	19:18	14 hrs. 40 min.
	6	5:24	19:15	14 hrs. 39 min.

7.2.2 VALORES BACTERIOLÓGICOS ( N.M.P. ) OBTENIDOS DURANTE LA OPERACION DEL  
MODELO DE LA LAGUNA DE ALTA TASA DE OXIDACION.

Coliformes Totales

menor o igual a	24,000	Coliformes totales	8 de octubre de 1985
igual a	15,000	Coliformes totales	15 de octubre de 1985
	1,100	Coliformes totales	21 de octubre de 1985
	30	Coliformes totales	29 de octubre de 1985
menor a	3	Coliformes totales	4 de noviembre de 1985
	0	Coliformes totales	11 de noviembre de 1985

Coliformes fecales

menor o igual a	24,000	Coliformes fecales	8 de octubre de 1985
	9,300	Coliformes fecales	15 de octubre de 1985
	460	Coliformes fecales	21 de octubre de 1985
	30	Coliformes fecales	29 de octubre de 1985
menor de	3	Coliformes fecales	4 de noviembre de 1985
	0	Coliformes fecales	11 de noviembre de 1985

Streptococcus fecales

menor o igual a	24,000	Streptococcus fecales	8 de octubre de 1985
	750	Streptococcus fecales	15 de octubre de 1985
	240	Streptococcus fecales	21 de octubre de 1985
	30	Streptococcus fecales	27 de octubre de 1985
menor de	3	Streptococcus fecales	4 de noviembre de 1985
	0	Streptococcus fecales	11 de noviembre de 1985

### 7.2.3 EXTRAPOLACION DE RESULTADOS BACTERIOLÓGICOS ( N. M. I. ) MEDIANTE EL EMPLEO DE MODELOS MATEMÁTICOS DE CRECIMIENTO.

Para extrapolar los resultados bacteriológicos se emplearon dos ecuaciones diferentes de crecimiento basadas en las curvas de crecimiento, propuestas por

Gompert  $N = ae^{-be^{-kt}}$  y por Von Bertalanfy  $N = N_0 ( 1 - be^{-kt} )$ ,

( Gompert y Von Bertalanfy in: Duane and Scott, 1974 . )  
el procedimiento matemático que se siguió fue convertir estas formulas de la for-

ma  $A = A_0 e^{kt}$  a una forma lineal  $y = mx - b$  para ello se siguieron dos métodos diferentes :

$$\log A = \ln A - kt$$

ó

$$\log A = \log A - ( k \log e ) t$$

Obteniendose dos modelos diferentes de crecimiento logaritmico, ( curvas de mortalidad ) y un lineal.

regresión lineal  $C = mt - k$

$$C = -40.4876 t - 1128$$

Regresión logaritmica  $C = ke^{mt}$

$$C = 5,147 \cdot e^{-.227 t}$$

El modelo exponencial empírico empleando logaritmos naturales. Se explica a continuación por considerar que es el que más se acerca a los datos obtenidos en forma experimental.



$$m = -0.075$$

$$\ln C = 6.62$$

$$t = 13 \text{ días}$$

$$k_1 = 13 ( 0.075 ) + 6.62 = 7.595$$

$$\ln C = mt + k_1$$

$$\ln C = -0.075 t + 7.595$$

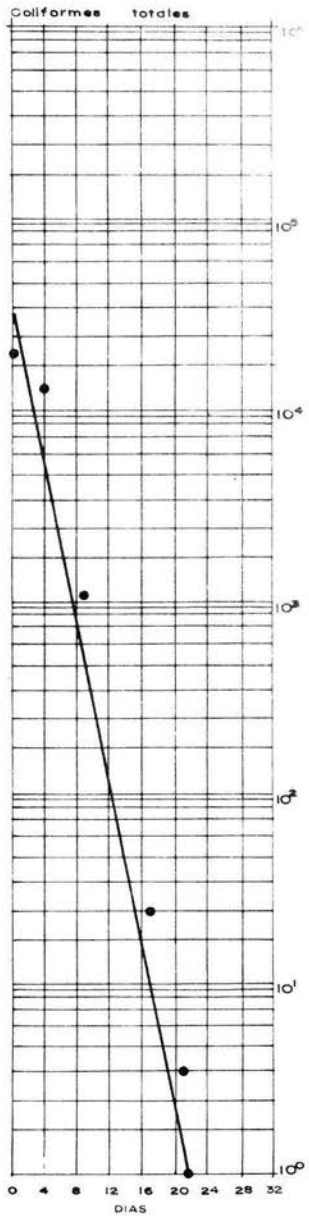
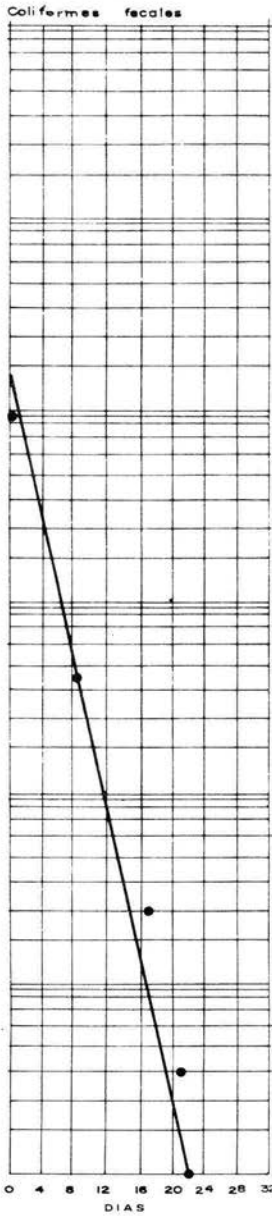
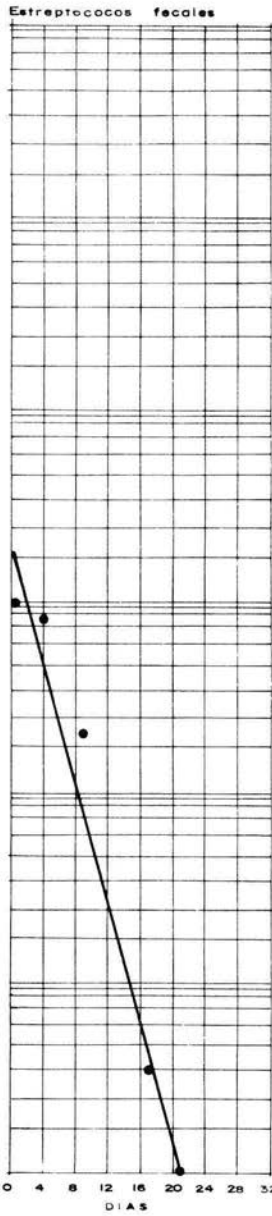
$$e^{\ln C} = e^{mt + k_1}$$

$$e^{\ln C} = e^{(-0.075 t + 7.595)} = e^{-0.075 t} \cdot e^{7.595}$$

$$C = e^{-0.075 t} \cdot 1808$$

Fórmula exponencial obtenida empíricamente.

FIGURA 17



ADIOS

- 75 -

READY.

PROGRAMA DE COMPUTACION

```
10 REM MODELO DE MORTALIDAD.
20 REM C = E ^ (K + (-M*T))
30 REM DONDE E = 2.7183
40 REM K ES LA ORDENADA AL ORIGEN 50 REM M ES LA PENDIENTE
60 REM T TIEMPO EN DIAS
70 REM
80 PRINT "{SC}"
100 INPUT "SALIDA A TERMINAL O IMPRE(*T/I) "; IT$
130 INPUT "ORDENADA AL ORIGEN "; K
140 INPUT "VALOR DE LA MORTALIDAD "; M
150 INPUT "MAXIMO TIEMPO EN DIAS "; T
155 IF IT$="I" THEN OPEN4,4:CMD4
160 PRINT " T", "MORT=";M, "ORD ORIG=";K, "SOBREV"
170 PRINT
180 REM EN ESTE LUGAR
190 REM FODEMOS HACER UNA VALIDACION
200 REM O CAMBIAR ALGUNOS VALORES
210 REM
230 REM PROCEDEMOS A RECORRER EL MODELO
240 REM VARIANDO LOS VALORES DE T.
250 FOR TA=0 TO T
260 LET C=2.7183^(K+(-M*TA))
270 IF C<1 GOTO 295
275 C= INT(C*100+0.5)/100.0
280 PRINT TA, , , , C
290 NEXT TA
294 GOTO 296
295 PRINT:PRINT "FIN DE POBLACION..."
296 IF IP$ = "I" THEN PRINT#4:CLOSE4
300 INPUT "INTENTAMOS OTROS VALORES (*N/S) "; SN$
310 IF SN$="SI" OR SN$="S" THEN PRINT "{SC}":GOTO 130
330 PRINT:PRINT:PRINT " ADIOS "
340 END
```



## CALIFORNIA TOTALS

T	MORT= .4463	ORD ORIG= 13.76	SOBREV
0			946089.07
1			605487.39
2			387505.78
3			247999.76
4			158717.32
5			101577.47
6			65008.55
7			41604.81
8			26626.66
9			17040.79
10			10905.93
11			6979.69
12			4466.93
13			2858.79
14			1829.6
15			1170.92
16			749.38
17			479.59
18			306.94
19			196.44
20			125.72
21			80.46
22			51.49
23			32.95
24			21.09
25			13.5
26			8.64
27			5.53
28			3.54
29			2.26
30			1.45

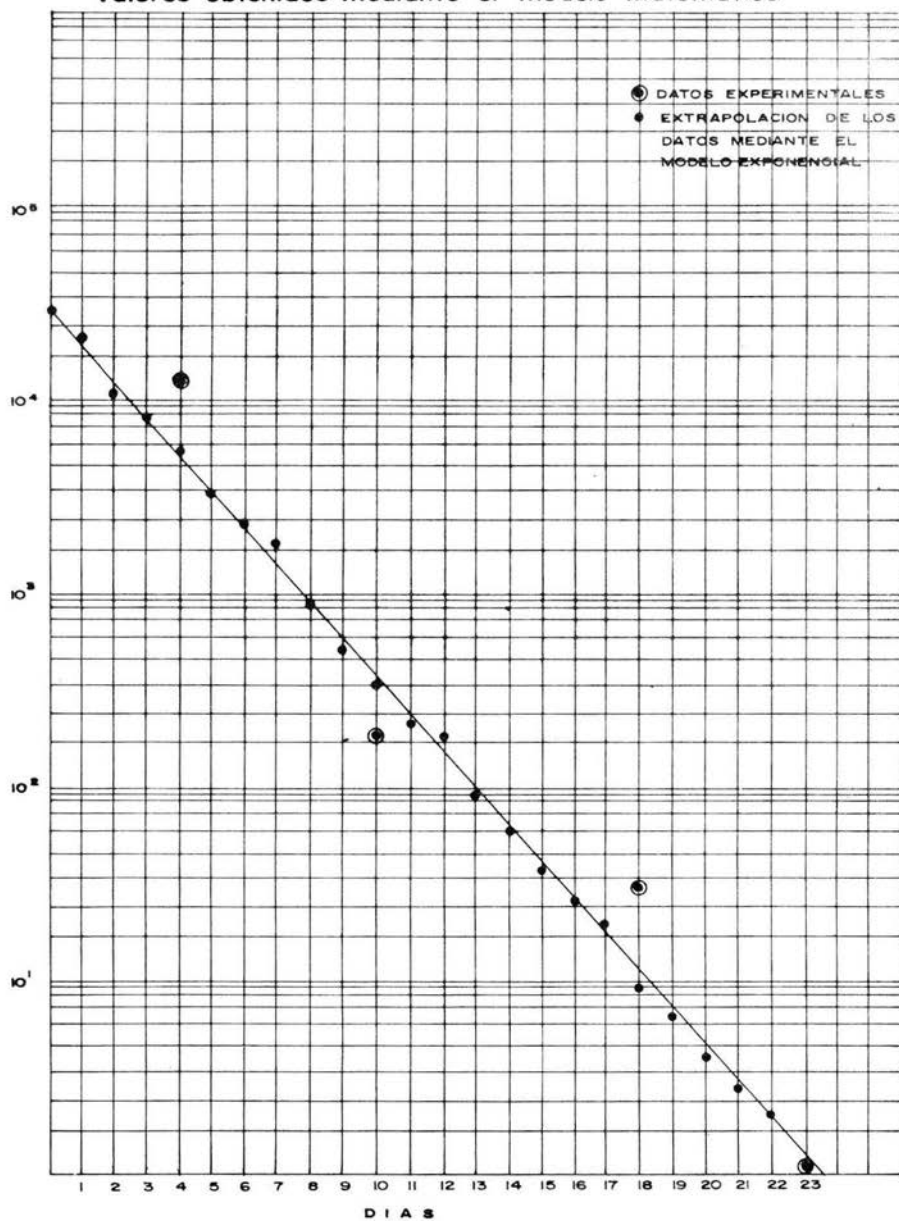
FIN DE POBLACION...  
 INTENTAMOS OTROS VALORES (\*N/S)

ADIOS

READY.

READY.

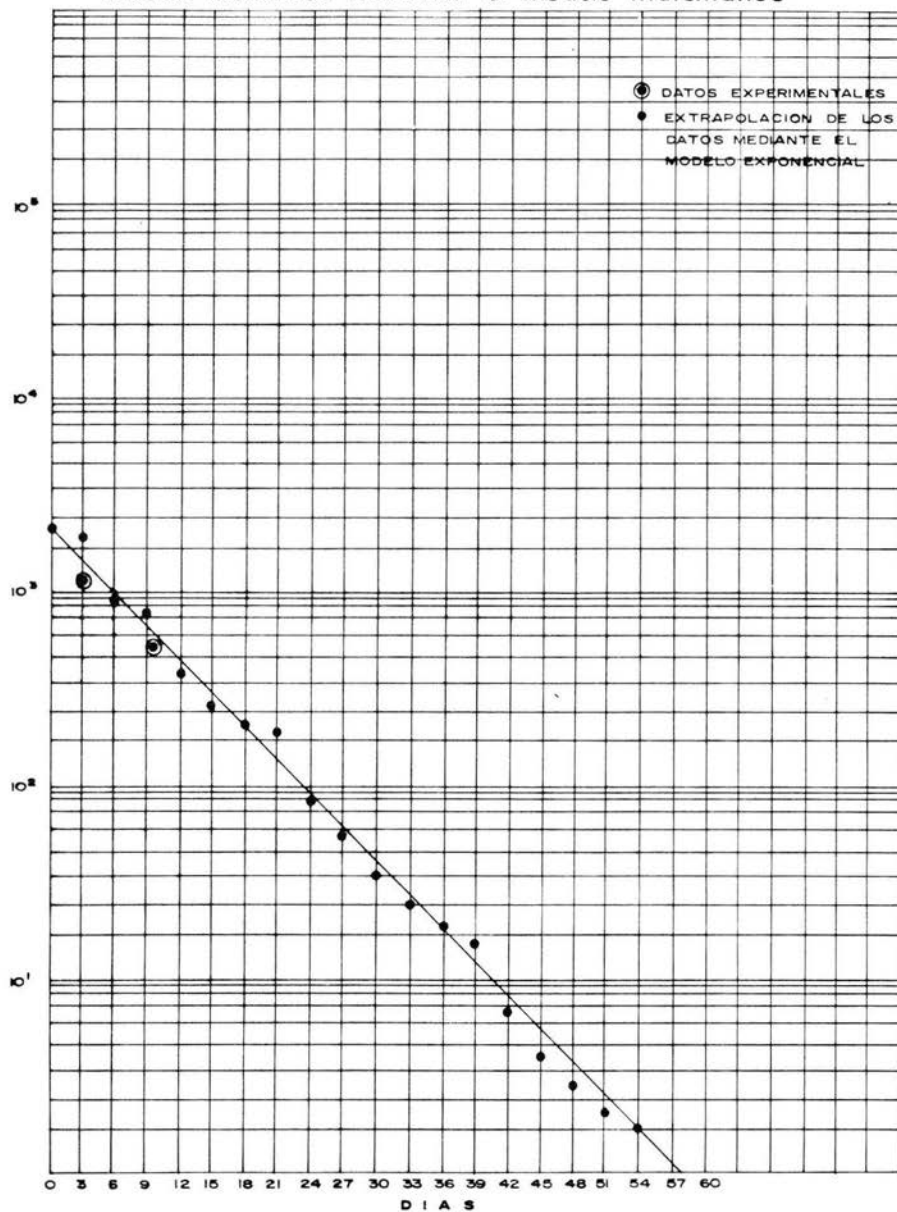
FIGURA 18 COLIFORMES TOTALES  
valores obtenidos mediante el modelo matemático



T	MORT= .1365	ORD ORIG= 7.4962	SOREV
0			1801.28
1			1571.44
2			1370.94
3		COLIFORMES FOCALIS	1196.01
4			1043.41
5			910.27
6			794.13
7			692.81
8			604.4
9			527.29
10			460.01
11			401.31
12			350.11
13			305.44
14			266.46
15			232.46
16			202.8
17			176.93
18			154.35
19			134.66
20			117.48
21			102.49
22			89.41
23			78
24			68.05
25			59.37
26			51.79
27			45.18
28			39.42
29			34.39
30			30
31			26.17
32			22.83
33			19.92
34			17.38
35			15.16
36			13.23
37			11.54
38			10.07
39			8.78
40			7.66
41			6.68
42			5.83
43			5.09
44			4.44
45			3.87
46			3.38
47			2.95
48			2.57
49			2.24
50			1.96
51			1.71
52			1.49
53			1.3
54			1.13

IN DE FOBLACION...

FIGURA 19 COLIFORMES FECALES  
valores obtenidos mediante el modelo matemático



53	37.34
54	34.64
55	32.14
56	29.82
57	27.66
58	25.65
59	23.81
60	22.09
61	20.49
62	19.01
63	17.64
64	16.36
65	15.18
66	14.08
67	13.07
68	12.12
69	11.25
70	10.43
71	9.68
72	8.98
73	8.33
74	7.73
75	7.17
76	6.65
77	6.17
78	5.73
79	5.31
80	4.93
81	4.57
82	4.24
83	3.94
84	3.65
85	3.39
86	3.14
87	2.92
88	2.7
89	2.51
90	2.33
91	2.16
92	2
93	1.86
94	1.72
95	1.6
96	1.48
97	1.38
98	1.28
99	1.19
100	1.1
101	1.02

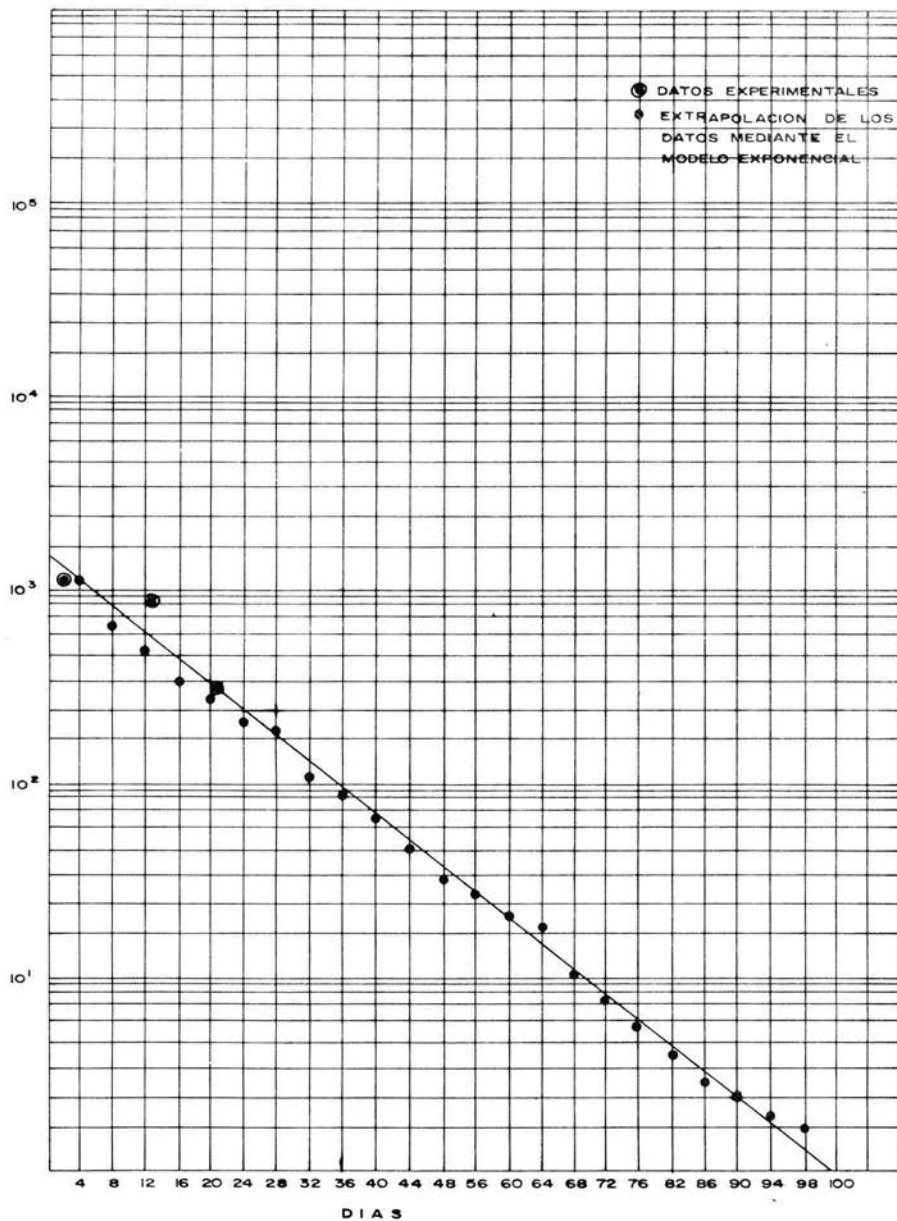
MORT= .075

GRD ORIG= 7.595

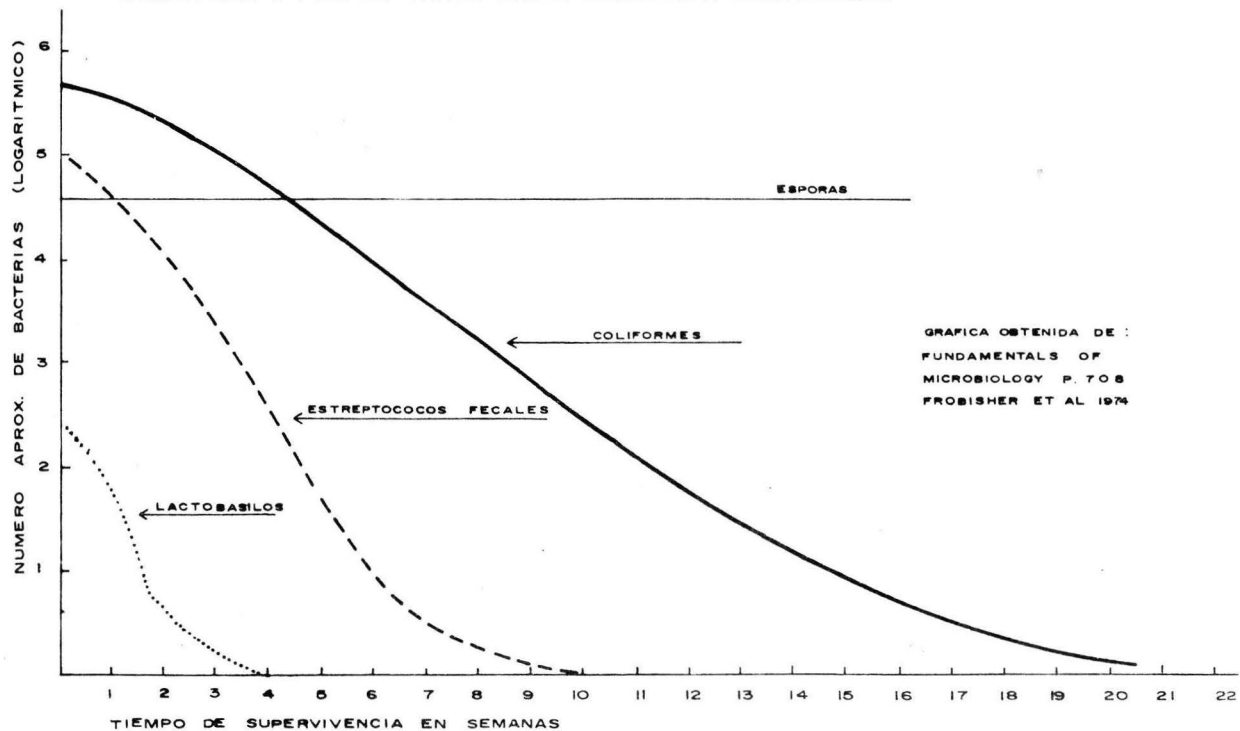
SOBREV

0		1989.33
1		1844.66
2		1711.37
3		1587.71
4		1472.99
5		1366.56
6		1267.81
7		1176.2
8		1091.21
9		1012.37
10		939.22
11		871.35
12		808.39
13		749.98
14		695.79
15		645.51
16		598.87
17		555.6
18		515.45
19		478.21
20		443.65
21		411.6
22		381.85
23		354.26
24		328.66
25		304.92
26		282.88
27		262.44
28		243.48
29		225.89
30		209.57
31		194.42
32		180.37
33		167.34
34		155.25
35		144.03
36		133.62
37		123.97
38		115.01
39		106.7
40		98.99
41		91.84
42		85.2
43		79.05
44		73.33
45		68.04
46		63.12
47		58.56
48		54.33
49		50.4
50		46.76
51		43.38
52		40.25

FIGURA 20 ESTREPTOCOCOS FECALES  
valores obtenidos mediante el modelo matemático



CURVAS DE APROXIMACION DE SUPERVIVENCIA DE VARIOS ORGANISMOS USADOS COMO INDICADORES DE CONTAMINACION EN AGUAS DE DESECHO. ESTAS CURVAS SON HIPOTETICAS Y ESTAN BASADAS EN DATOS OBTENIDOS EN DIFERENTES TIPOS DE CONTAMINACION Y POR LO TANTO ESTAN SUJETAS A VARIACIONES.



GRAFICA OBTENIDA DE :  
FUNDAMENTALS OF  
MICROBIOLOGY P. 708  
PROBISHER ET AL 1974

FIGURA 21



8 - DISCUSION DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos en el presente trabajo apoyan la posibilidad de cultivar Spirulina geitleri ( G. de Toni, 1936 ) en lagunas de alta tasa de oxidación y al mismo tiempo mejorar la calidad del agua de la laguna de Yochiaca.

Este doble propósito de obtener biomasa algal y al mismo tiempo tratar las aguas residuales ha sido ampliamente estudiado por Oswald y colaboradores ( 1972 ) en los Estados Unidos con buenos resultados quienes desarrollaron un tratamiento efectivo mediante la modificación de las lagunas convencionales de estabilización en lagunas de alta tasa de oxidación disminuyendo la profundidad e introduciendo mecanismos de mezclado y aereación.

Se observó que, en general, el crecimiento de Spirulina geitleri ( G. de Toni, 1936 ) en el agua de la laguna de Yochiaca fue mayor al crecimiento óptimo reportado por Saxena y colaboradores ( 1982 ) al igual al reportado por Kocmaric y colaboradores ( 1974 ) bajo condiciones óptimas de temperatura y luminosidad.

Testigo ( medio sintético ).

Los resultados del crecimiento de Spirulina geitleri ( G. de Toni, 1936 ) en el agua de la laguna de Yochiaca comparado con el crecimiento en el medio sintético y los otros medios ( A, C, D, F, ) fueron buenos; se observó un crecimiento continuo muy similar al obtenido en el medio sintético. Si se considera que uno de los principales problemas reportado en la literatura es el alto costo de los cultivos, el hecho de que se obtenga un crecimiento similar al obtenido en el

medio sintético representa una oportunidad para obtener biomasa algal a bajo costo.

Al comparar la concentración de Spirulina geitleri ( G. de Toni, 1936 ) obtenida por Oron y colaboradores ( 1979 ) en medio sintético a un pH de 9.2 y un temperatura de 32° C en cultivo de 2 g / l con la obtenida en este trabajo de la misma magnitud se puede considerar que la producción de Spirulina geitleri ( G. de Toni, 1936 ) que se obtiene en forma natural en la laguna de Yochiaca es muy alta.

#### Variable Experimental II.

Se han realizado varios trabajos para utilizar las aguas de tipo residual tanto de tipo doméstico como de tipo industrial para producir biomasa algal y tratar al mismo tiempo el agua con buenos resultados.

En este trabajo se propone un sistema similar al propuesto por Benemann y colaboradores ( 1978 ) ( fig. 32 ). No obstante las ventajas que presenta el cultivo de algas aguas residuales para el cultivo de Spirulina geitleri ( G. de Toni, 1936 ) se ha observado que es necesario añadir concentraciones de bicarbonato de sodio que van de 0.1M a 0.05 M ( Richmond et al, 1982 y Venshak et al 1982 ) cuando no se burbujea CO<sub>2</sub> en el medio de cultivo. En el caso de los monocultivos de Spirulina geitleri ( G. de Toni, 1936 ), la concentración mínima requerida de bicarbonato de sodio es de 0.2 M ( Amos et al , 1982 y Venshak et al , 1983 ).

El crecimiento que se obtiene con el agua de la planta de tratamiento de C. U. fue crítico pero mejor que el crecimiento obtenido por Saxena y colaboradores - ( 1982 ) ya que se estabiliza hacia los 16 días mientras que los cultivos de Saye

na las algas comenzaron a decrecer al cuarto día y la población se extinguió finalmente al día 14.

Comparados con los demás medios de cultivo empleados en este experimento - el agua de tratamiento de la planta de C. U. resultó ser la de crecimiento más bajo.

Variable Experimental III. ( Agua de Xochiaca 50% y Agua tratada 50% ).

Dado que este experimento es muy específico no existen antecedentes bibliográficos de este tipo de mezclas aunque en la bibliografía se reporta el empleo de agua de mar en algunos cultivos en pequeñas cantidades mezclados con aguas residuales o en medios de crecimiento para suplir a los micronutrientes. ( Becker, 1981 ).

Este medio de cultivo fue utilizado para simular las condiciones que pueden presentarse si la laguna de Xochiaca fuera alimentada en un 50% con aguas tratadas. Esta mezcla produce un crecimiento similar al obtenido al añadir nitrato y bicarbonato de sodio a las aguas tratadas en la planta de tratamiento de Ciudad Universitaria ( fig. 4 ). Habría que considerar, sin embargo, que este experimento se realizó en un medio esterilizado, en donde Spirulina zeitlieri ( G. de Toni, - 1936 ) creció sin competir con otras especies. No obstante, según reporta la bibliografía ( Vonshak et al 1983 y Richmond et al 1982) Spirulina zeitlieri ( G. de Toni, 1936 ) puede competir con otras especies siempre y cuando las concentraciones de bicarbonato no sean menores a 0.5 M y con un pH entre 9 y 11 ( Santillan et al, 1982 ).

También existen cambios en el pH entre el agua de la planta de tratamiento de C. U. que presenta un pH de 8.3, en comparación con el pH de la laguna de Xochiaca que es de 9.4. Estos factores afectarían notablemente en el caso de que se rebasara el 50% de aguas tratadas con las que se alimentara la laguna, provocando un cambio en las condiciones físico - químicas que facilitarían el crecimiento de otro tipo de algas como Chlorella, cambiando las cadenas tróficas y - finalmente, cambiando las características de las poblaciones de algas, insectos y macroinvertebrados que existen actualmente en la laguna.

Variable Experimental IV. ( Aguas tratadas adicionadas con bicarbonato de sodio y nitrato de sodio ).

Uno de los factores físico - químicos importantes medidos durante el experimento fué la temperatura. Goldman y Ruther ( 1976 ) estudiaron los efectos en la competencias de especies en cultivos intensivos de fitoplancton encontrando que la competencia entre Phaedactylum triconrnutum, Thalassiosiria pseudomona, Skelotone-ma costatum, Monochrysis lutheri y Dunaliella tertiolacta dependen en gran medida de la temperatura.

En el caso de Spirulina geitlieri ( G de Toni, 1936 ) encontraron que a mayor temperatura aumenta la población de Spirulina geitlieri ( G. de Toni, 1936 ) y que esta decrece por debajo de los 10°C aumentando la población de Chlorella sp.

El crecimiento registrado en el agua de la laguna de Xochiaca fue similar al crecimiento óptimo obtenido por Kosaric y colaboradores ( 1974 ) de acuerdo - con la temperatura ( fig. 25 ).

Los periodos de iluminosidad observados durante el experimento son similares a los óptimos de insolación reportados de 3000 a 4000 horas / año ( tabla 3 ). ( Landbberg, 1966 , In : Santillana, 1982 ).

Este fue uno de los factores que permitió mantener un alto crecimiento de Spirulina geitleri ( G. de Toni, 1936 ) durante el experimento.

Los dos cambios físico - químicos de mayor relevancia fueron la disminución de la salinidad y la conductividad consecuentemente.

La salinidad en la laguna de Xochiaca esta dada principalmente por la presencia de bicarbonatos y carbonatos de sodio por lo que la disminución en la concentración de la salinidad implicó una metabolización de estos iones por parte de - Spirulina geitleri ( G. de Toni, 1936 ), debido a que otro tipo de algas, especialmente a las algas verdes, solo pueden metabolizar el carbón en forma de  $CO_2$  . Se han encontrado evidencias sobre la utilización de los carbonatos y bicarbonatos por el alga Spirulina geitleri ( G. de Toni, 1936 ). ( Vonshak et al ,1983 y Richmond et al ,1982 ).

La conductividad disminuyó en un 40% en un lapso de 21 días. ( tabla 2 ). En el caso particular de la laguna de Xochiaca la conductividad está dada por la presencia de iones  $NO_2$ ,  $NO_3$ ,  $PO_4$ ,  $SO_4$  ( op. cit. p. 2 ) lo que hace suponer - en que los iones fueron integrados a la biomasa algal. Esta hipótesis está apoyada por los trabajos realizados por Kosaric y colaboradores ( 1974 ) quien obtuvo un porcentaje de remoción del 90 % en el caso de nitrógeno en el efluente y de - 70 % en el caso de fósforo en el mismo tipo de aguas ( fig. 29 y 30 ).

#### Análisis Bacteriológicos.

Los resultados obtenidos con coliformes totales confirman que el sistema de tratamiento de lagunas de alta tasa de oxidación es un buen sistema para remover los coliformes totales ya que de acuerdo a las observaciones experimentales y

con el programa de computación coliformes totales alcanza valores menores de 3 coliformes / 100 ml a los 25 días lo que implica una disminución del 83.92 % del tiempo de supervivencia reportado por Frobisher et al 1974 ( fig. 21 ).

En el caso de los valores obtenidos para estreptococos fecales estos valores no coinciden con las curvas de supervivencia debido probablemente a que los muestreos no se realizaron en los intervalos de tiempo adecuados.

Se concluye de lo anteriormente expuesto que el sistema de tratamiento de lagunas de alta tasa de oxidación presenta ventajas respecto a otro tipo de tratamiento de agua en la laguna de Acchiaca ya que permite obtener biomasa algal y mejorar la calidad del agua tratada tanto en el aspecto bacteriológico como en el físico - químico.

DISTRIBUCION EN FUNCION DEL PH DE LAS MOLECULAS

$\text{CO}_2$  ,  $\text{HCO}_3^-$  ,  $\text{CO}_3^{2-}$  T = 20 °C .

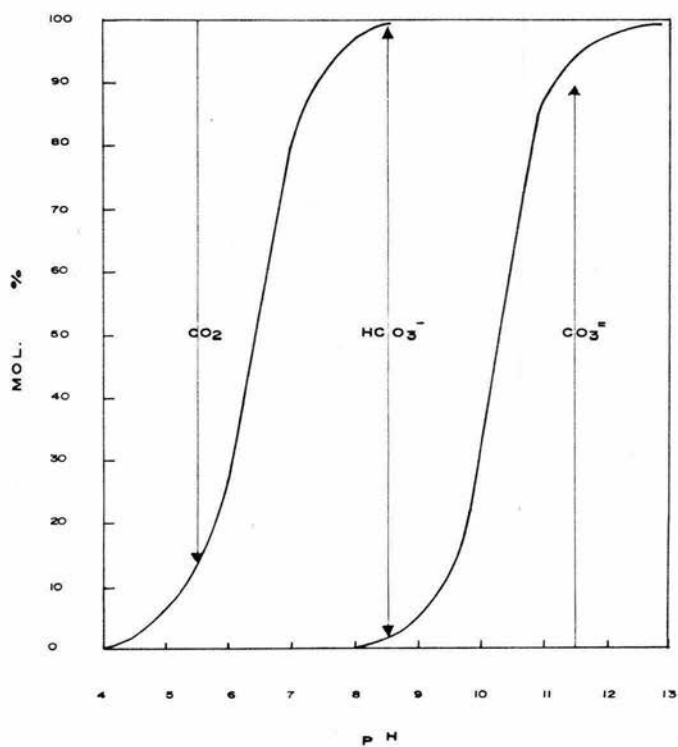
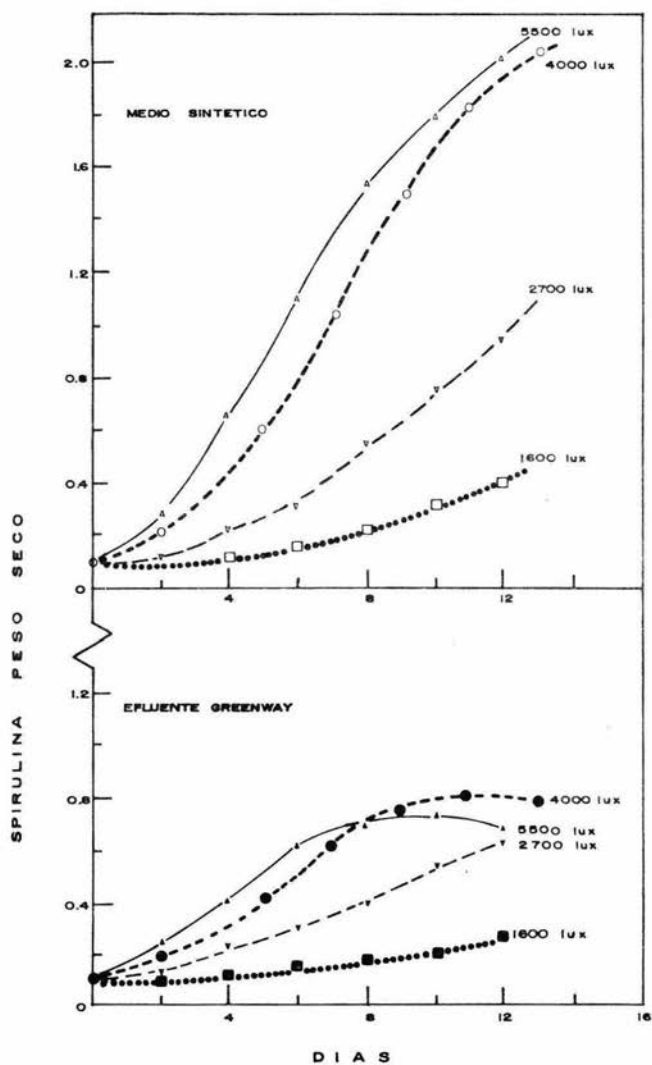


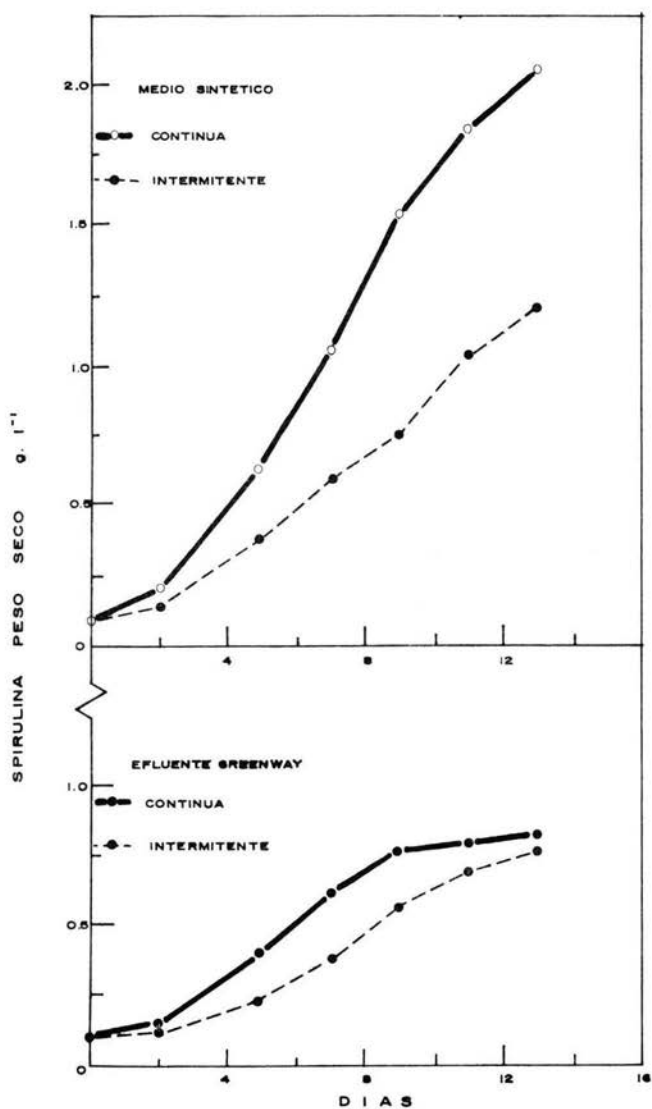
FIGURA 22



**EFFECTO DE LA INTENSIDAD LUMINOSA EN EL  
DESARROLLO DE S. MAXIMA.**

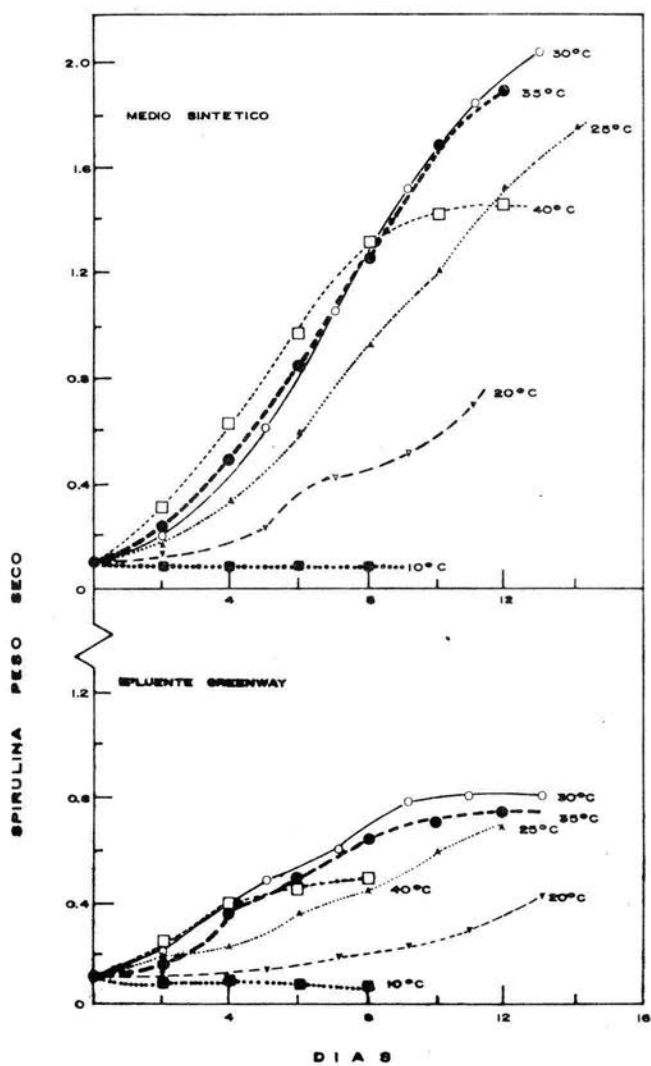
FIGURA 23





**EFFECTO DE LA ILUMINACION INTERMITENTE EN EL DESARROLLO DE LA S. MAXIMA.**

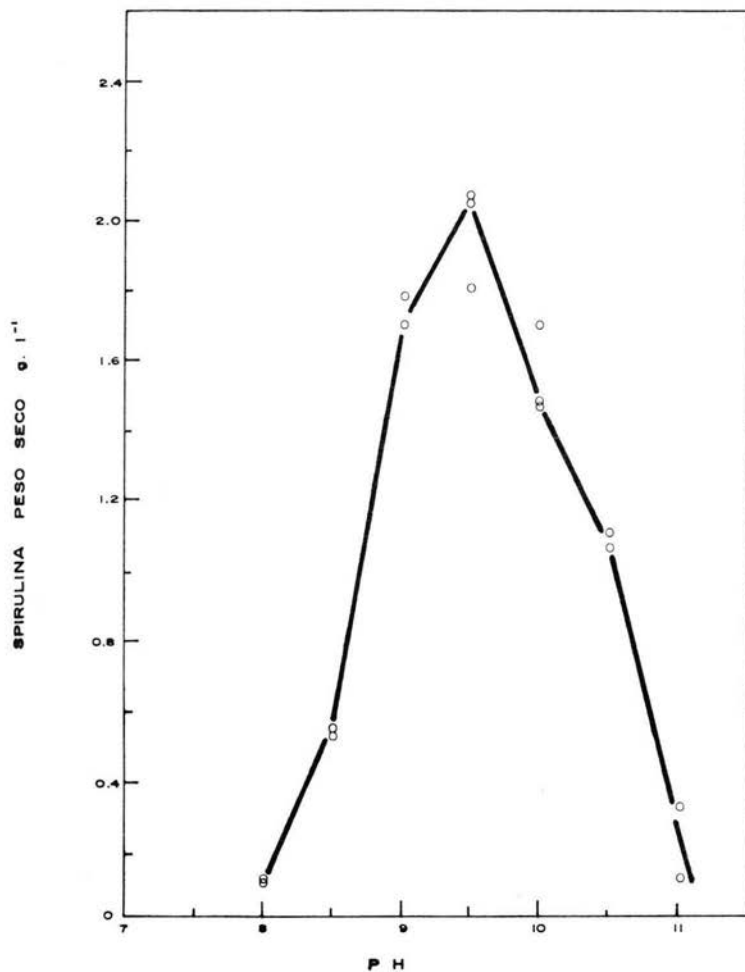
FIGURA 24



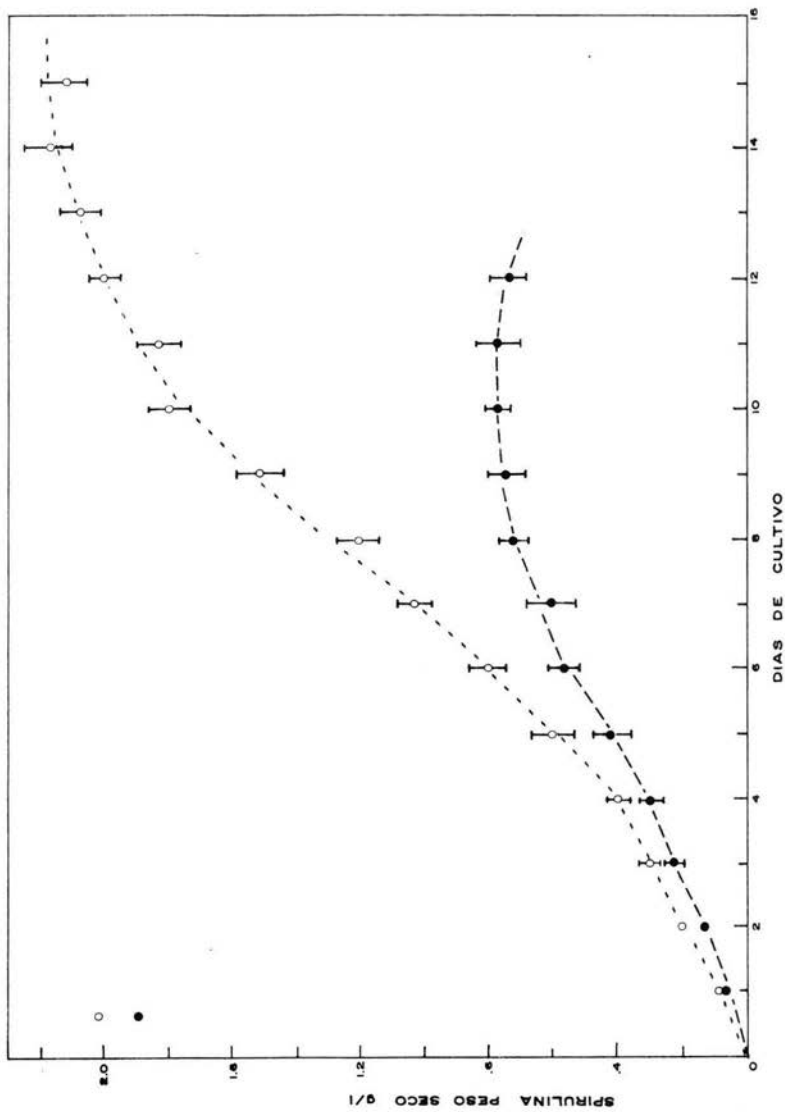
EFFECTO DE LA TEMPERATURA EN EL CRECIMIENTO DE *S. MAXIMA*.

FIGURA 25

FIGURA 26

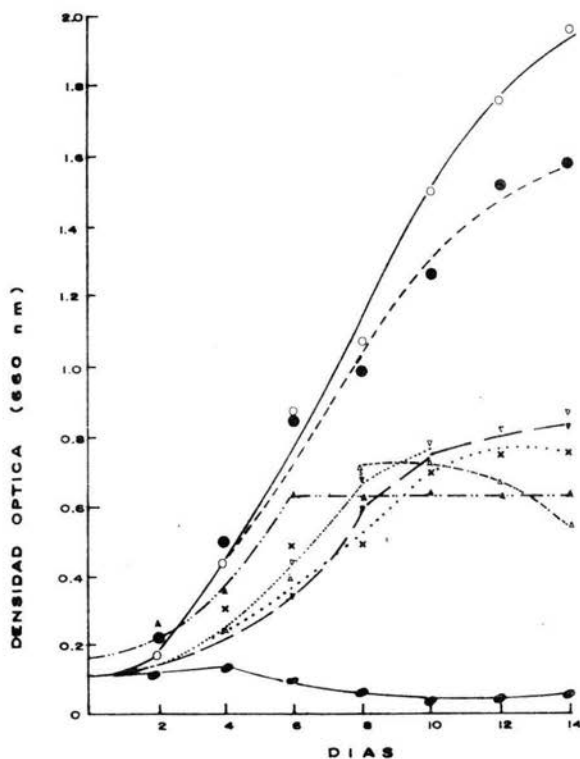


EFFECTO DEL pH EN EL DESARROLLO DE *S. MAXIMA* DESPUES DE 12 DIAS EN MEDIO SINTETICO.



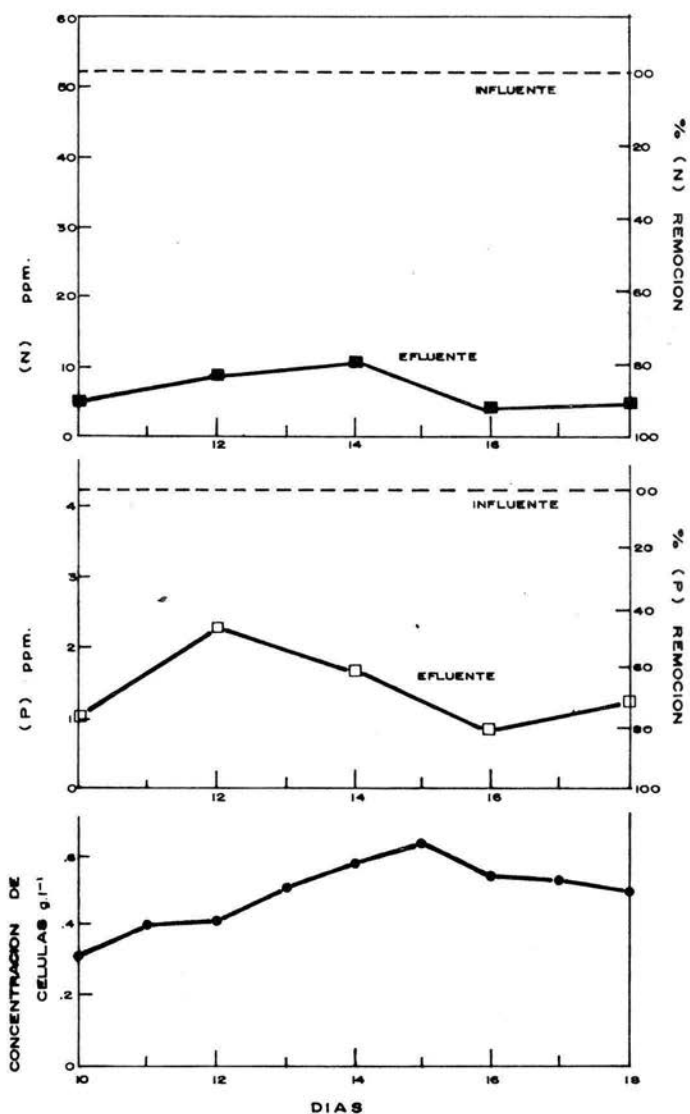
**CURVAS DE CRECIMIENTO DE S. MAXIMA EN MATRACES ERLENMEYER DE 250 ML. A 30° C. 4000 LUX Y CON AEREAACION DE 2 LITROS/LITRO/MIN**

FIGURA 28



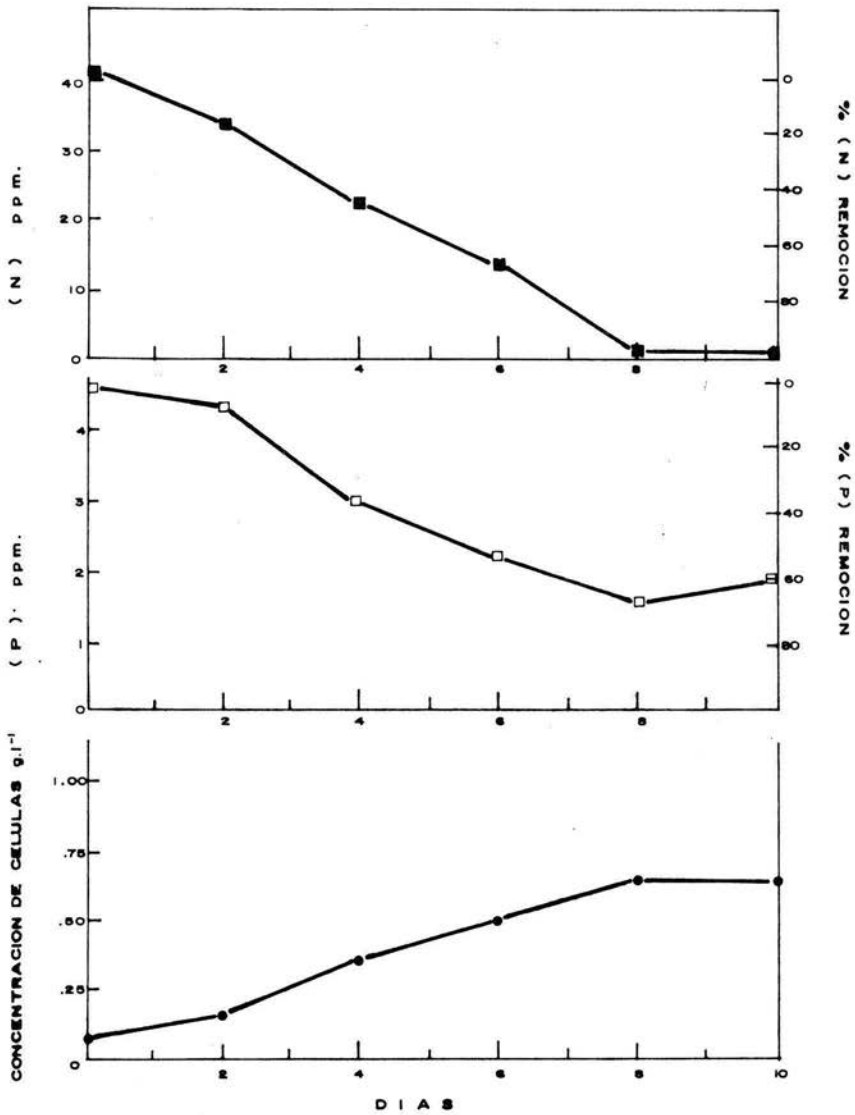
Saxena, et al. 1963. Experientia 39, p 1078

**DESARROLLO EXPONENCIAL DE SPIRULINA EN AGUAS RESIDUALES. ○ AGUAS RESIDUALES + TODOS LOS INGREDIENTES DE UN MEDIO BASAL; ● AGUAS RESIDUALES + BICARBONATO Y NITRATO; ∇ AGUAS RESIDUALES + NITRATO, MAGNESIO Y CALCIO; ∩ AGUAS RESIDUALES + NITRATO, FOSFATOS Y CLORURO DE SODIO; x AGUA PURA + BICARBONATO Y NITRATO; △ AGUAS RESIDUALES + BICARBONATO; ∩ AGUAS RESIDUALES + NITRATO; ◐ AGUAS CRUDAS.**



**REMOCION DE NITROGENO Y FOSFORO DURANTE CULTIVOS SEMICONTINUOS DE SPIRULINA MAXIMA EN AGUAS DE TRATAMIENTO SECUNDARIO.**

FIGURA 29



REMOCION DE NITROGENO Y FOSFORO DURANTE CULTIVOS DE SPIRULINA MAXIMA

FIGURA 30

Tabla 4

Análisis microbiológico de cultivos de espirulina en aguas residuales.

Colonias aerobicas contadas a 37° C	3 x 10 <sup>5</sup> Predominante: Bacillus sp.
Colonias anaerobicas contadas a 37° C	6 x 10 <sup>5</sup> Predominante Cocos catalasa negativa.
Mohos : colonias contadas a 25° C	7 x 10 <sup>3</sup>
<u>Clostridium perfringens</u>	menor de 1 x 10 <sup>2</sup>
<u>Bacillus cereus</u>	menor de 1 x 10 <sup>2</sup>
Enterobacterias totales	menor de 1 x 10 <sup>2</sup>
<u>Escherchia coli</u> tpo 1 N M P	0.4
Estreptococos fecales	2 x 10 <sup>5</sup>
Salmonella	No detectado
Shigella	No detectado
<u>Vibrio Cholerae</u> y otros vibrios	No detectado
Aeromonas en 0.1 g	No detectado

\* Datos tomados de Experiencia 39 ( 1983 ) . pp. 1079.

Saxena et al , 1983



9 - CONCLUSIONES

Después de haber realizado los Experimentos I y II podemos concluir :

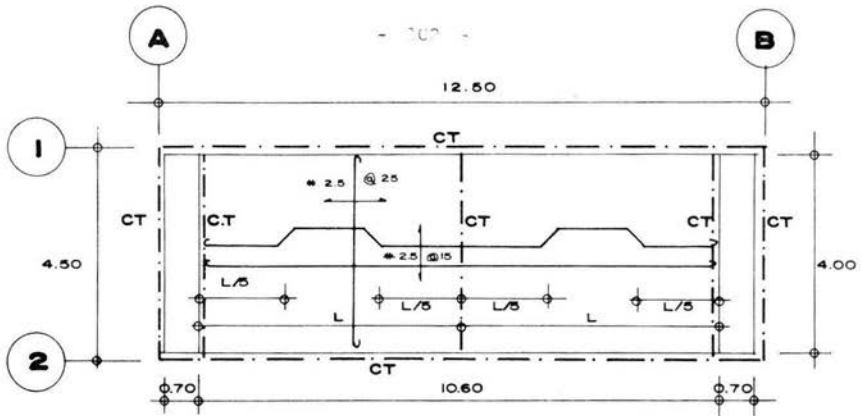
- 1.- Que el agua de la laguna de Xochiaca es un medio adecuado para el cultivo de Spirulina geitleri ( G. de Toni, 1936 ).
- 2.- Que Spirulina geitleri ( G. de Toni, 1936 ), es un buen productor de oxígeno que durante el día mantiene condiciones de saturación de oxígeno y que además incorpora nitrógeno y fósforo en forma de iones  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{PO}_3$  y  $\text{PO}_4$  a su biomasa.
- 3.- Que el sistema de tratamiento por lagunas de alta tasa de oxidación presenta las ventajas de aprovechar los nutrientes (  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{PO}_3$  y  $\text{PO}_4$  ) del agua para producir biomasa algal a diferencia de otros sistemas de tratamiento.
- 4.- Que el sistema propuesto tiene una buena remoción de coliformes totales y resulta conveniente para los fines recreativos y de rehabilitación de la laguna de Xochiaca.
- 5.- Las pruebas a nivel laboratorio fueron satisfactorias para tratar el agua de la laguna de Xochiaca, mediante el sistema de lagunas de alta tasa de oxidación.

10 - RECOMENDACIONES

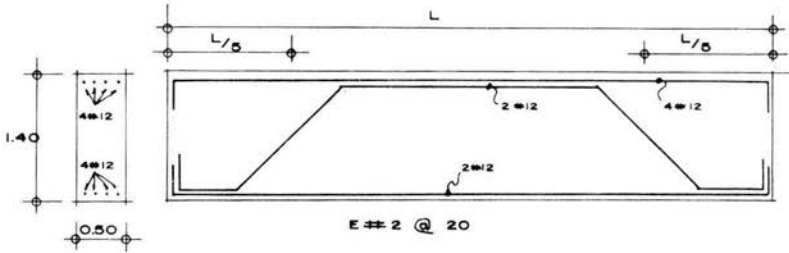
- 1.- Se propone emplear un sistema en serie que permita, separar las cuatro etapas de autpurificación ( zona de degradación, descomposición, recuperación y de agua limpia. fig. 31 ).
- 2.- Se propone la construcción de una planta de conjunto de dieciseis lagunas de alta tasa de oxidación en serie ( fig. 31 ) lo que permitira tratar 50.24 m<sup>3</sup> diarios, reduciendo la población de coliformes totales de 24,000/100 ml a menos de 30 coliformes totales / 100 ml.
- 3.- Se recomienda mantener cuando menos el 50% del agua de la laguna de Xochiaca para mantener el crecimiento de Spirulina geitleri ( G. de Toni, 1936 ) que existe actualmente.
- 4.- Se propone realizar más estudios a nivel de planta piloto de este sistema de tratamiento con respecto a la remoción de nitrógeno y fosforo. La degradación del amoniaco y la remoción bacteriana, empleando para esta última el método de filtración de membrana para valores menores de 30 coliformes/ 100 ml.

Nota : La forma en que recomendamos se haga la instalación de las lagunas de alta tasa de oxidación se explica en las figs. 29 y 30 donde se pueden observar los detalles de la construcción y las dimensiones propuestas.

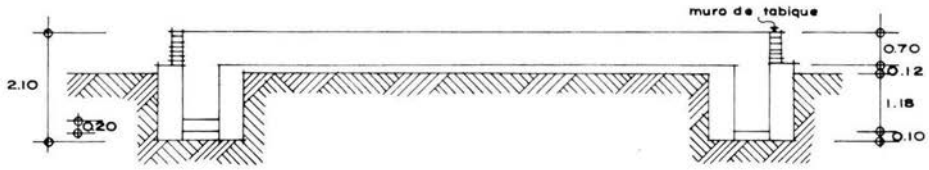
En la tabla 5 se expresa las cotizaciones elaboradas en noviembre de 1985, para que sirva de referencia con respecto al costo de otros sistemas de tratamiento.



**PLANTA**



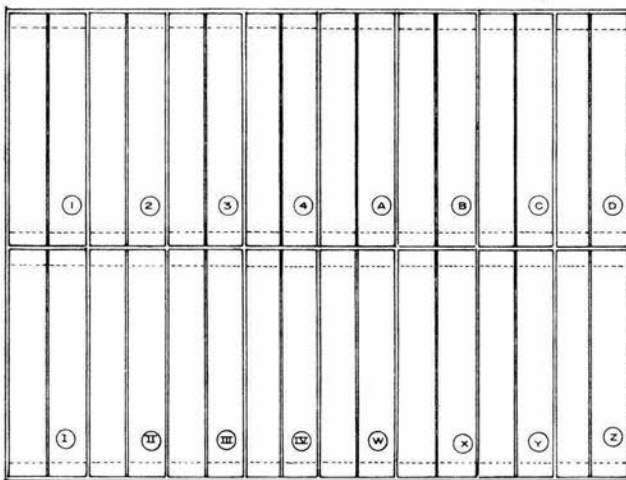
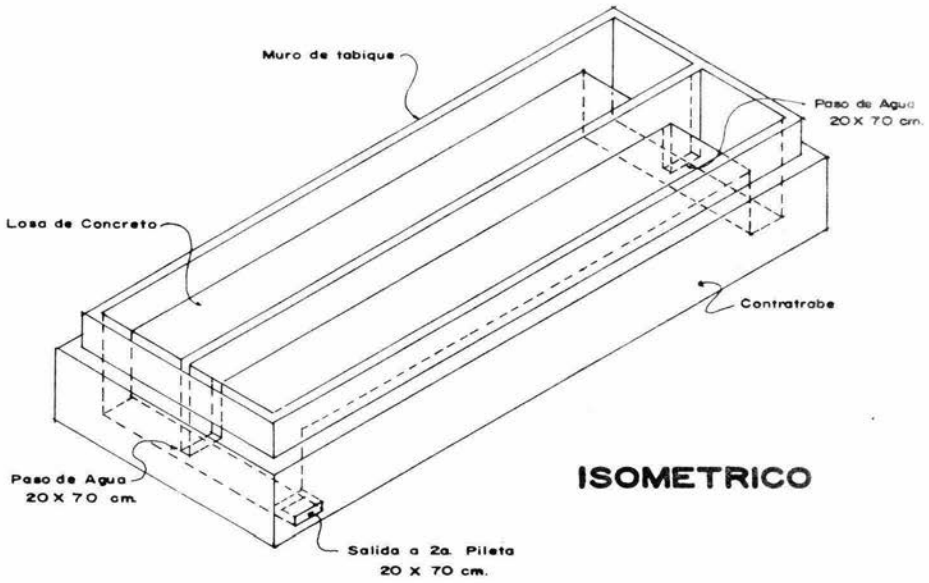
**CONTRATRABE CT.**



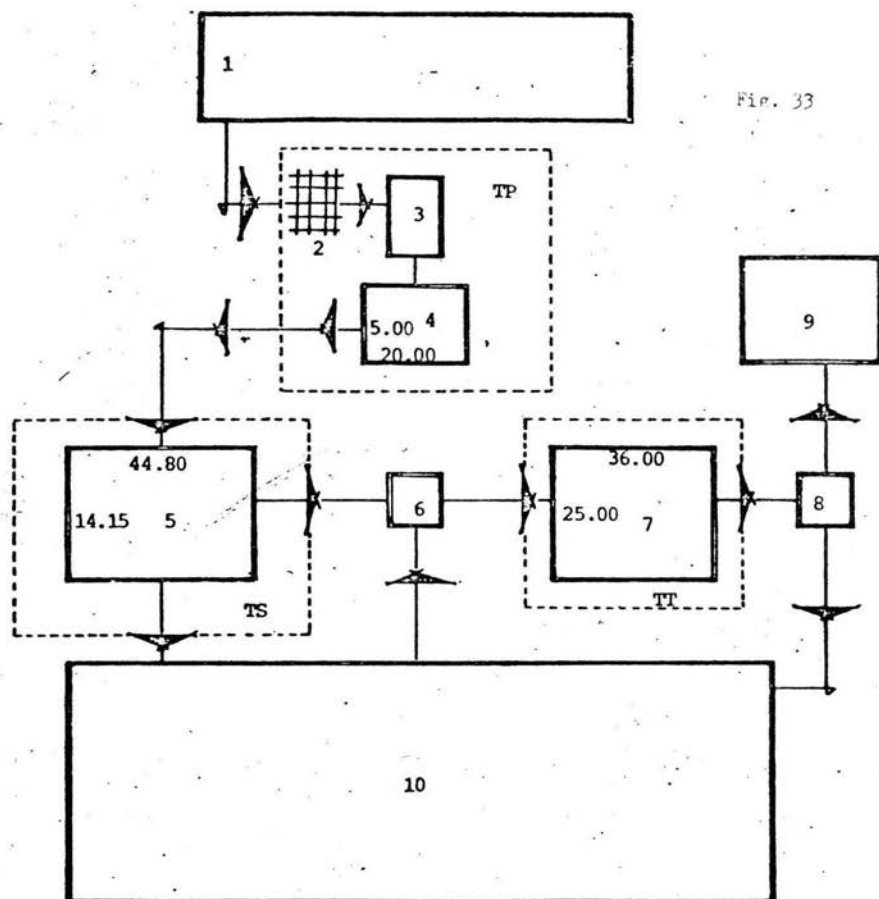
**CORTE**

FIGURA 31

FIGURA 32



SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LAS AGUAS QUE DESCARGAN EN LA LAGUNA DE XOCHIACA Y PRODUCCION DE Spirulina



1. Aeropuerto Internacional
2. Rejilla
3. Canal Parshall
4. Desarenador
5. Laguna de Oxidación

6. Cárcamo bombeo
7. Laguna de alta tasa de oxidación
8. Filtro
9. Planta de procesamiento Espirulina
10. Laguna de Xochiaca

TP = Tratamiento primario  
 TP = Tratamiento terciario

TS = Tratamiento secundario

Tabla 5

COSTOS DE MATERIAL DE UNA LÍNEA DE ALTA TENSION DE 132 KV. A NIVEL FIJADO.

<u>Concreto</u>	:	34.36 m <sup>3</sup>			
Cemento	:	13228.6 kg	13 Ton. 1/4		\$231,875.00
Arena	:	21921.6 kg	22 Ton.	17 m <sup>3</sup> 3 carros de 6 m <sup>2</sup> c/u	\$ 27,000.00
Grava	:	34016.4 kg	34 Ton.	26 m <sup>3</sup> 5 carros de 6 m <sup>3</sup> c/u	\$ 45,000.00
Tabiquer	:	31.02 m <sup>2</sup>	56 piezas/ m <sup>2</sup>	1750 piezas	\$ 74,500.00
<u>Varilla</u>	:	5.8 Ton.			
1/4"	:	752 m	x 0.251 kg / m	190 kg	
5/16"	:	516 m	x 0.384 kg / m	200 kg	
1/2"	:	616 m	x 2.938 kg / m	<u>5506 kg</u>	
Total Varilla	:	5896 kg			\$ 18,936.80
					\$15,743.00
					\$1,574.30
					<hr/>
					\$ 897,317.30
					<hr/>
Costo total de material					\$ 1031,914.80
I.V.A. incluido.					

T: 14 6

Mano de Obrero.

Traza	:	48	m <sup>2</sup>	x	74.90 / m <sup>2</sup>	¢	3,595.20
Excavación	:	28.6	m <sup>3</sup>	x	565.50 / m <sup>3</sup>	¢	16,173.30
Plantillas	:	22.0	m <sup>2</sup>	x	218.40 / m <sup>2</sup>	¢	4,802.80
Contratrabes	:	28.6	m <sup>3</sup>	x	9215" / m <sup>3</sup>	¢	263,549.00
Losas	:	5.70	m <sup>3</sup>	x	8940" / m <sup>3</sup>	¢	51,494.40
Impermeabilizar	:	31.01	m <sup>2</sup>	x	129.50 / m	¢	4,015.80
Auros	:	31.01	m <sup>2</sup>	x	430.00 / m <sup>2</sup>	¢	13,334.30
Aplanados	:	31.01	m <sup>2</sup>	x	460.00 / m <sup>2</sup>	¢	14,264.60

---

¢ 371,231.40

---

más 10% ¢ 408,354.50

Costo total de una Laguna de alta tasa de oxidación. - ¢ 1,440,269.30

Costo total de 4 unidades de L. A. T. O. - ¢ 3,601,077.90

Costo total de 8 unidades de L. A. T. O. - ¢ 6,482,154.00

Costo total de 16 unidades de L. A. T. O. - ¢ 11,044,308.00

11 - BIBLIOGRAFIA

- 1.- Aaronson, S., and Dubinky, Z. Mass production of microalgae. *Experientia* 38 ( 1982 ).
- 2.- Anuario del Observatorio Astronomico Nacional. Instituto de Astronomia. - U.N.A.M. ( 1985 ).
- 3.- Becker, E., W. Algae Mass Cultivation - Production and utilization. *Process Biochemistry*, Aug. / Sept. 1981.
- 4.- Beneman, J. R., et al , Development of microalgae harvesting and high-rate pond Technologies in California. In : G. Shelef C. J. Soeder ( eds ). *Algae - biomass, production and use*. Elsevier, North Holland Biomedical Press, p. - 457 ( 1980 ).
- 5.- Clement ( G ) et Durand - Chastel. L' algue Spiruline, aliment de mai IX Congres Intern. de Nutrición México, 1972.
- 6.- Davis, Bernard D, Dulbeco, Renato. Ginsberg, Harold S. *Microbiology* 3 er - edición ( 1980 ) .
- 7.- Duane J. Clow, N. Scott Urquhart. *Mathematics en Biology*. 1974. W. Noton and Company, Inc. pp. 124 - 135.
- 8.- Duncan Mara. Department of Civil Engineering University of Dundee Scotland - John Willey and sons. ( 1983 ).



- 9.- Departamento de Sanidad del estado de Nueva York. Manual de tratamiento de aguas negras. Ed. Linusa, S. A. 1983 .
- 10.- FAC. 1974. : La contaminación de las aguas del mar. Suplemento del informe de la Sexta Reunión del Grupo mixto de expertos. OCMI / FAC / UNESCO / OMM / OMS / OISA / Naciones Unidas.
- 11.- Fernández, C. L. eta al efecto sobre el crecimiento y pigmentación en peces alimentados con alga Spirulina. FIDEFA - S.I. C. 1975 .
- 12.- Fernández Escartin Eduardo. Microbiología sanitaria de agua y alimentos. Vol. I Universidad de Guadalajara 1981. pp. 173. - 275.
- 13.- Frobisner, M. Ronald D. Hindill, Crabtreek. T. Goodheart, Clyde R. Fundamentals of microbiology 1974. Saunders Company. pp. 698 - 709 .
- 14 .- Goldeberg Edward D. 1978 : Contaminación del mar : pasado, presente, futuro. Ciencia y Desarrollo. Sept. - Oct. 2º : 24 - 36 .
- 15 .- Goldman, J. C. and Rytner ( 1976 ) Temperature influend species in mass cultured of marine phytoplankton. Biotechnology Bioengineer. 18 pp. 1125 -1144.
- 16 .- Goldman, J. C. Outdoor algal mass cultures. I. Applications. Water Research. 13 ( 1979 ) pp. 1 - 19 .
- 17 .- Guzon, G. Centre Oceanologi que dn Pacifique Tahiti. Comunicación Personal. 1975 .
- 18 .- I.P.N. Manual de laboratorio de Microbiología Sanitaria. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Primera Edición . 1983 .

- 19 .- Jacouet J. et al Microflore et utilisation biologiques des Spirulines.  
Del Academie d' Agric. de France. pp. 771 - 781 . ( 1975 ).
- 20 .- Kosaric, N. Nguyen, T. an M. A. Bergougnou. Growth of Spirulina Máxima in  
Effluents from secondary waste - water treatanebte plants. Ciototechnology  
and Bioengineering ( 26 ) : 881 - 896 . ( 1974 ).
- 21 .- Kosaric, N., Nguyen, H. T. and Bergougnou, M. A. , Growth of maxima on cow-  
manure wastes. Biotechnology Bioengenering. 21 ( 1979 ) pp. 2169 - 2173 .
- 22.- Merrit S. Frederik, Manual del Ingeniero Civil. Ed. Mc. Graw - Hill. 1983.
- 23.- Odom, W. E. 1970 : Insidious aterations of the Stuarine environment ; Amer.  
Fish. Soc. 99 ( 2 ) : 836 - 847 .
- 24 .- Cron, G., Shelef, G. and Levi, A., Growth of Spirulina maxima alge in effluents  
from secondary waste water treatment plants. Biotechnology Bioengenering 16  
( 1974 ) pp. 881 - 886.
- 25.- Cron, Eideon ; Shelef, Gedaliah ; and Levi, Anna. Growth Spirulina máxima.  
on Cow - Manure wasters. Biotechnology and Bioengineering, ( 21 ) : 2169 -  
2173 . ( 1979 ) .
- 26 .- Oswald, W. J. Complete waste treatment in ponds Proc. 6th Intl. water. Foll.  
res. . Conf. Pergamon. Press ( 1972 ).
- 27 .- Person - Le Ruget ( 1976 ) Elevage laivaire d' artemia salina ( brachiopode )  
sur nourriture inert Spirulina máxima ( cyanophcee ) . Centre Oceanogicue -  
de Bretagne. B. P. 337. ( 1976 ).

- 28 .- Richmond, Amos. ; Karg, Sabine; and Koussiba, Samy. Effects of Bicarbonate and Carbon Dioxide on the competition between *Chlorella vulgaris* and *Spirulina plantesis*. Plant and Cell Physiology. 23 ( 8 ) : 1411 - 1417 .  
( 1982 ) .
- 29 .- Riccardi Giovanna, Cella Gino, Camerino Giovana and Cifferrri Ciro. Resistance to Azetidine - 2 - cartocilic acid and sodium chloride tolerance in carrot cell cultures and *Spirulina plantesis*.
- 30 .- Santillan, S. Claudio ; David S. Maurice ; Fontes, M. Ariel. ; La importancia actual de la Spirulina en la acuacultura y sus perspectivas en el futuro. I. Reunión Latinoamericana sobre ciencia y tecnología de los océanos. - 1976 .
- 31 .- Santillana, Claudio. Mass production of *Spirulina*. Experimentia. 38 : 40 - 42 .  
( 1982 ) .
- 32 .- SARN. 1973. Estudio ecológico de la Laguna de Alvarado. De la primera a la cuarta etapa.
- 33.- SARN. Manual del Curso Análisis de aguas y aguas de desecho. Curso B. Volumen II cuarta edición. Subsecretaría de Planeación y ordenación ecológica. . 1979.
- 34.- SARN. Manual del Curso Análisis de aguas y aguas de desecho. Curso B. Volumen I. cuarta edición. Subsecretaría de Planeación y ordenación ecológica. 1979.
- 35 .- SARN. Manual del Curso Análisis de aguas y aguas de desecho. Curso B. Volumen III cuarta edición. Subsecretaría de Planeación y ordenación ecológica. 1979.

- 36.- Saxena, P. N. ; Ahmad. M. R. Sngam. A. and Misra. P. S. Experientia ( 38 ) 1982.
- 37.- Shelef. G. Medan. A. Moraline, K. "Combined system for waste water treatment and reclamation production. Environmentan Engineering technion, Haifa. 1975.
- 38.- Sergelecos, P. The influence of algal food preparation on it is nutritional - efficiency for Artemia Salina larval. Thalassis Jugoslavica 10 ( 1 / 2 ) 313-320 .
- 39.- Satand Methods for the Examination of water waste water. A P H A , A W W A , - W P C F . 14 th. edition . 1976 .
- 40.- Satnley John G. et al , Utilización of algae by fish. Final ,report U. S. - Department of the Interior. U. S. Fish and Wildlife Service. Stuttgart, Arkansas. U.S. A.
- 41.- Treviño A. Luis, Bagaña M. Pedro, Manzano. C. Ricardo, Perez - Sandi Rosa - Mrtha. , Acevedo F. María Eugenia. Rehabilitación de la Laguna de Xochiaca. ( 1985 ).
- 42.- UNESCO. 1978. La Contaminación mundial del mar. Una recapitulación ( 18 ).
- 43.- Villegas de Gante, Zacarías Abraham. Proyecto de aguas residuales municipales. I. P. N. Tesis de Licenciatura. 1976.
- 44.- Villavicencio, O. Empleo de Spirulina y garbanzo en la dieta artificial para camarón café Penaeus Californiensis II Coloquio Franco - Mexicano de alga Spirulina . México.

- 45 .- Venshak, A. Boussiba. S. ; Abeliovich, A. ; And kemon'. Production of Spirulina Biomass ; Maintenance of Monoculgal Culture outdoors. Biotechnology and Bioengineering , 25 : 341 - 349 . ( 1983 ) .
- 46 .- Zaroui, C. "Contribution á l'etude d' une cyanophocée. Influence de divers factorurs pahysiques et chimiques sur la croissance et la photosynthése de spirulina Máxima . " P.h. D. Thesis, Université de París. 1966 .