



Universidad Nacional Autónoma de México

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
IZTACALA**

**EVALUACION DE LOS EFECTOS QUE LOS
DETERGENTES CAUSAN SOBRE LA POBLACION
FOTOSINTETICA DE UN MODELO DE LAGUNA
DE ESTABILIZACION DE TIPO FACULTATIVO**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
B I O L O G O
P R E S E N T A**

ALEJANDRA ALVAREZ VERONA

LOS REYES IZTACALA, MEXICO

1986



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.

"EVALUACION DE LOS EFECTOS QUE LOS DETERGENTES
CAUSAN SOBRE LA POBLACION FOTOSINTETICA DE UN
MODELO DE LAGUNA DE ESTABILIZACION DE TIPO
FACULTATIVO"



ALEJANDRA ALVAREZ VERONA

1 9 8 6



El presente trabajo se llevó a cabo en el área de Ecología del departamento de Biotecnología y Bioingeniería del Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN y en el laboratorio de Ficología del Departamento de Botánica de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del IPN, bajo la dirección del M en C. Vicente López Mercado y de la M en C. Ma Elena Sánchez Rodríguez.

AGRADESCO A LAS INSTITUCIONES UNAM.,
CINVESTAV., ENCB Y CONACYT POR BRIN-
DARME SU APOYO Y PERMITIRME ESTUDIAR
SOBRE UN PROBLEMA QUE AFECTA TANTO A
NUESTRO PAIS.

AGRADECIMIENTOS

EN LA VIDA LAS PERSONAS VAN REALIZANDO PEQUEÑOS OBJETIVOS QUE IMPLICAN RESPONSABILIDADES.

EN LO PERSONAL IMAGINO QUE A CADA UNO LE OBSEQUIAN UN PEQUEÑO BARCO DEL QUE CADA CUAL SE CONVIERTE EN GRUMETE, MARINO, PRIMER OFICIAL Y CAPITAN. AFORTUNADAMENTE SIEMPRE EXISTEN ALMIRANTES, FAROS Y UNA SERIE INFINITA DE ELEMENTOS QUE NOS APOYAN EN EL VIAJE, QUE NOS PERMITEN SEGUIR EN EL CAMINO CORRECTO Y QUE NO NOS DEJAN ENCALLAR.

ASÍ CADA PERSONA SE HACE A LA MAR, PRIMERO EN PEQUEÑOS VIAJES DE CABOTAJE, LUEGO EN VIAJES MAS LARGOS HASTA QUE FINALMENTE LLEGA LA HORA DE REALIZAR UNO DE ALTURA, EN EL QUE SUCEDEN MILES DE AVENTURAS POSITIVAS Y NEGATIVAS; EMOCIONANTES Y DESESPERANTES, ALEGRES Y TRISTES PERO FINALMENTE TODAS FORMATIVAS.

AL LLEGAR AL PUERTO DESTINADO TODO ES EMOCION TODO ES ALGARABIA, ES EL MOMENTO DE REFLEXIONAR Y RECONOCER QUE SIN LA EXPERIENCIA DE LOS PRIMEROS VIAJES ESTE ULTIMO NO HUBIERA SIDO POSIBLE, TAMPOCO LO HUBIERA SIDO SIN LA AYUDA DE LOS ELEMENTOS QUE INDICARON EL CAMINO O DE AQUELLOS QUE NO PERMITIERON QUE REGRESARA A CASA EN LOS DIAS DE MAL TIEMPO.

Así ENTONCES POR RAZONES DE MERA JUSTICIA ES EL MOMENTO ADECUADO DE AGRADECER A TODAS AQUELLAS PERSONAS QUE ME AYUDARON A REALIZAR ESTE OBJETIVO, EL CUAL YO CONSIDERO COMO MI PRIMER VIAJE - DE ALTURA, ASÍ COMO A TODAS AQUELLAS QUE ME AYUDARON EN OBJETIVOS ANTERIORES, A TODAS LAS QUE CONFIARON EN MI, A LAS QUE ME APOYARON ...

ESPECIALMENTE

GRACIAS MAMA !

GRACIAS PAPA !

GRACIAS JEFE !

POR PERMITIRME REALIZAR ESTE VIAJE Y ASI TAMBIEN TENGAN LA PROMESA QUE HABRÁ MAS.

CONTENIDO

INTRODUCCION	1
PROBLEMATICA DEL AGUA	3
SISTEMAS DE TRATAMIENTO	6
FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL FUNCIONAMIENTO DE LOS PROCESOS BIOLÓGICOS	9
SISTEMAS MICROBIANOS	9
MEDIO AMBIENTE	14
BIODEGRADACION	18
DETERGENTES	19
CLASIFICACION	20
ALQUILBENCENSULFONATOS	21
BIODEGRADACION	23
TIPOS DE SISTEMAS BIOLÓGICOS	28
SISTEMAS CON CRECIMIENTO SOBRE UNA SUPERFICIE ..	28
SISTEMAS CON CRECIMIENTO SUSPENDIDO	29
LAGUNAS DE ESTABILIZACION	31
OBJETIVOS	35
MATERIALES Y METODOS	36
INSTALACION Y ARRANQUE	37
EXPERIMENTACION	41
FASE I	41
FASE II	43
FASE III	43
TECNICAS DE ANALISIS	44
FACTORES CLIMATICOS	44

DETERMINACIONES LIGADAS CON LA EFICIENCIA DE LA LA-	
GUNA	45
CUANTIFICACION DE POBLACIONES	45
DETERMINACIONES CINETICAS	47
MUESTREOS	51
RESULTADOS	52
FASE I	53
FASE II	54
FASE III	55
DISCUSION	101
FASE I	102
FASE II	107
FASE III	111
CONCLUSIONES	116
APENDICE	119
BIBLIOGRAFIA	125

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

La vida sobre la tierra depende de que los elementos esenciales que constituyen el protoplasma celular circulen en la biósfera, del ambiente a los organismos y de éstos nuevamente al ambiente, por vías características, conocidas en forma general como ciclos biogeoquímicos (28). Si estos fenómenos no se llevaran a cabo, las sustancias nutritivas no tardarían en estar ligadas a cuerpos muertos.

En la naturaleza, los elementos circulantes dentro de estos ciclos nunca o casi nunca se encuentran distribuidos en forma homogénea, no se encuentran presentes en la misma forma química en todo el ecosistema, tampoco circulan con la misma velocidad en todas las regiones bióticas de la tierra, ni al pasar a través de cada una de sus fases. No obstante, las comunidades biológicas se han adaptado por medio de procesos sucesionales a la velocidad de circulación de los nutrientes hasta que alcanzan el equilibrio o clímax.

El hombre -con su intensa actividad, iniciada a raíz de la Revolución Industrial- ha acelerado el movimiento de muchos materiales y ha sintetizado otros, al punto que ha hecho que los ciclos biogeoquímicos tiendan a hacerse imperfectos, más lentos o incluso acíclicos. Por otra parte, los materiales que ha removido los acumula en sitios determinados habiéndolos agotado en otros, generando el fenómeno conocido por todos como "Contaminación".

En México, como en muchos de los países en vías de desarrollo, casi no se habían hecho sentir este tipo de problemas, debido a que su desarrollo tecnológico se venía realizando de forma paulatina, lo cual permitía que los desechos fueran descompuestos por los grupos microbianos presentes en los ecosistemas e incorporados a los ciclos biogeoquímicos,

manteniéndose así una armonía del hombre con la naturaleza. Sin embargo, este ritmo de crecimiento tecnológico tan lento confinaba a los pueblos del tercer mundo a ser sólo suministradores de materia prima, cuya cotización en el mercado internacional es baja, lo que a la postre provocaba el deterioro de sus economías (23).

En el afán de superar esta condición hacia la década de los 50 estas naciones comenzaron a acelerar su industrialización, acción que indudablemente les produjo grandes beneficios dentro de distintos órdenes (económico, social, político, etc.). Desafortunadamente, en forma paralela se presentaron varios fenómenos como son: el desecho de grandes cantidades de sustancias sintéticas (derivados de hidrocarburos de difícil biodegradación) y de sustancias tóxicas; explosión demográfica en centros urbanos producto de la concentración poblacional; aumento en el consumo de insumos por habitante, aumento en el volumen de desechos; fenómenos estos que rompieron con la armonía ecológica anteriormente imperante.

Por otra parte, dentro de muy pocos de estos países subdesarrollados se tomaron las medidas adecuadas para prevenir y controlar la problemática generada, creándose así una gran variedad de complicaciones de tipo ambiental, entre las cuales una de las más agudas es la referente al agua por las razones que en seguida serán expuestas (23).

PROBLEMÁTICA DEL AGUA.

El agua, por sus características Físico-Químicas, es la matriz dentro de la cual se sustenta la vida, además

es parte fundamental dentro de los procesos productivos.

Pese a su importancia y a la necesidad de conservarla con características adecuadas para el consumo, ha sido utilizada para conducir los desechos tanto animales como humanos, productos de su metabolismo, desde tiempos inmemoriales. No obstante, aunque este proceso se ha llevado a cabo en forma sistemática, hasta hace algún tiempo los volúmenes de agua potable con los que se contaban eran suficientes; pero al incrementarse la industria y las poblaciones aumentó con ellos la demanda del líquido, por una parte, por otra también se elevó la cantidad de desechos vertidos, a los que hubo que sumar cantidades cada vez más considerables de productos químicos de múltiples efectos nocivos, tanto para la flora y fauna como para el hombre mismo.

Estas cuestiones dieron origen a tres problemas fundamentales:

- Escasez de agua para consumo humano y para usos de tipo industrial y agrícola.
- Problemas de salud humana por la contaminación del agua potable con aguas residuales, las cuales contienen una carga alta de microorganismos patógenos y de otras sustancias tóxicas.
- Deterioro ecológico, específicamente eutrofización, de los sistemas acuáticos por el vertimiento directo a los cuerpos de agua de aguas residuales industriales y urbanas, - así como de aguas sobrantes del riego en la agricultura, que han sido enriquecidas con abonos y por el escurrimiento después de talas e incendios (24).

En México, la situación se tornó más grave por la naturaleza desértica o semidesértica de la mayor parte del

territorio y por la mala localización de las urbes, establecidas por diversas razones en las zonas que cuentan con menos recursos hidráulicos así como, por el incontrolado ritmo de crecimiento de las poblaciones y de la industria (25), motivos que han hecho que sea difícil cumplir en este momento las necesidades urbanas en materia de suministro de agua, presentes y futuras (ya que se espera que para 1990 los requerimientos de agua sean tan altos que no puedan ser cubiertos con aguas de primer uso). Por otra parte el recobrar el equilibrio ecológico es una tarea difícil de lograr que requiere de estrategias que contemplan desde elementos puramente técnicos hasta legales, económicos, políticos y administrativos (22).

Desde el punto de vista meramente técnico, someter el agua a un sistema de tratamiento que elimine de ellas las impurezas, es la solución más idónea.

Esta medida no sólo permite reutilizar el líquido, disminuyendo con ello considerablemente la cantidad de agua potable que hay que abastecer, sino que también logra que los sistemas ecológicos se recuperen al verter en ellos un líquido de mejor calidad, y ayuda a renovar el ciclo hidrológico, lo cual constituye un punto de vital importancia, ya que si se consigue alterar en menor grado el ciclo del agua, se tendrán mayores probabilidades de controlar los elementos nutritivos arrastrados por ella.

En cuanto a lo que a sistemas de tratamiento se refiere, se han diseñado una gran diversidad de procesos en los países más avanzados que, en primera instancia, podrían aliviar la problemática expuesta. Sin embargo, estos sistemas han sido desarrollados en forma empírica, lo cual dificulta su adaptación a condiciones distintas para las que fue

ron creados, sobre todo en lugares como México, que por su gran diversidad geográfica presenta una gran variedad de climas y, por otra parte, no cuenta con muchos recursos económicos, ni humanos.

SISTEMAS DE TRATAMIENTO.

Fue Inglaterra, en el año de 1882, el país que dió el primer paso para combatir la contaminación, al nombrar una Comisión Real para la disposición de desechos urbanos (Royal Commission on Metropolitan Sewage Disposal), debido a los problemas de salud que este fenómeno estaba ocasionando.

Esta comisión dictaminó que los sólidos suspendidos presentes en las aguas residuales debían ser separados de ellas antes de ser descargados a los cuerpos de agua (27).

Hoy en día, luego de un poco más de 100 años de este primer esfuerzo, la finalidad de los sistemas de tratamiento es la de eliminar del agua, los compuestos y materiales que se le agregan al usarla, no importando si éstos se encuentran en forma suspendida, coloidal o disuelta (24).

Para cumplir con este propósito, básicamente se conocen tres tipos de procedimientos: Físicos, Químicos y Biológicos.

METODOS FISICOS.- Los métodos físicos separan del agua los sólidos suspendidos más pesados, por ejemplo en la sedimentación.

METODOS QUIMICOS.- Son aquéllos que separan tanto los sólidos

dos suspendidos como la materia orgánica, pudiéndose citar como ejemplos: precipitación, ósmosis inversa, etc.

MÉTODOS BIOLÓGICOS.- Transforman el material orgánico (coloidal y disuelto del agua) en material celular, que por encontrarse en forma suspendida puede ser removido con mayor facilidad (37), lo cual los convierte en los métodos más versátiles, ya que son susceptibles de emplearse en la reducción de sólidos suspendidos, de sólidos disueltos, de nutrimentos y de microorganismos.

Para llevar a cabo esta conversión, es necesario que dentro de los sistemas se establezcan las condiciones adecuadas para que se desarrollen en éstos las poblaciones de organismos capaces de utilizar los materiales de desecho como alimento (organismos saprófitos), organismos que crecen y actúan de forma cotidiana en la naturaleza, sólo que en ella las condiciones (físicas, químicas y biológicas) regulan la velocidad de descomposición, mientras que en los sistemas de tratamiento biológico, el hombre trata de manipular o controlar alguna, o varias de estas condiciones, para aumentar la velocidad y volumen de desechos tratados y para mejorar la eficiencia de remoción, procurando que los costos sean los más bajos posibles.

Al actuar los microorganismos sobre los desechos, los incorporan al ciclo de los nutrientes, el cual es el movimiento de los elementos y compuestos indispensables para la vida, entre la región biótica y abiótica de la ecósfera (28).

Este ciclo consta de dos partes

- una llamada depósito, de movimiento lento, que en general involucra fenómenos no biológicos,

- otra de intercambio o de movimiento activo, en el que los elementos se desplazan rápidamente entre los organismos y su medio inmediato (28).

Dentro de éste último se pueden distinguir dos vías principales para la regeneración de los elementos nutritivos:

- Retorno por la vía de excreción primaria
- Retorno por vía de descomposición microbiana

La vía de descomposición microbiana es la principal ruta de transformación, cuya importancia reside en el hecho de que los organismos involucrados en ella (hongos y esencialmente bacterias) presentan una elevada capacidad metabólica, de dispersión y de cambios adaptativos que les permiten actuar sobre una cantidad de materia tal, que incluso puede ser superior a su propio peso; así también, les permite ejercer sobre una gran diversidad de compuestos (26), por lo que en los sistemas de tratamiento se intentan aprovechar tan ventajosas características.

Debido a que ninguna especie de organismo saprófito es capaz de producir la descomposición completa de la materia, es preciso que esta acción la realicen grupos heterogéneos de microorganismos, estableciéndose dentro de los sistemas verdaderas comunidades bióticas, semejantes a las encontradas en los lagos eutróficos, con toda la organización trófica y de relaciones interpoblacionales que ello implica.

"Desafortunadamente, aún cuando se ha estudiado extensamente la descomposición microbiana, ésta comprende una diversidad tal de organismos y una red tan complicada de intercambios y retroalimentaciones, que todavía no se comprende la totalidad de la vía" (28).

No obstante se sabe que en la naturaleza, los organismos que participan en ella, se encuentran en estado de actividad retardada, lo que puede atribuirse a varios factores, los cuales es necesario conocer con el propósito de acelerar la velocidad de la vía, así como con el objeto de mejorar el manejo de los sistemas de tratamiento.

FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL FUNCIONAMIENTO DE LOS PROCESOS.

En general se puede decir que son dos los factores más importantes para la descomposición de la materia: sistemas microbianos adecuados y un medio ambiente propicio, los cuales deben conjugarse para que este proceso se lleve a cabo de forma adecuada.

SISTEMAS MICROBIANOS.- La materia sólo es transformada cuando existen los sistemas microbianos con las características enzimáticas y de adaptabilidad al medio para usar el sustrato en cuestión (24). Estos sistemas se encuentran organizados en comunidades complejas, cuya actividad depende de las interrelaciones que se establezcan con el medio, como de las interacciones que existan entre las poblaciones de la comunidad (33).

En cuanto a las interacciones entre organismos, éstas pueden ser benéficas (+), nocivas (-) o neutras (0), conforme se afecte la curva de crecimiento de cada una de las poblaciones entre las que se establezca la relación.

De acuerdo con esto, puede formarse todo un mosaico de combinaciones, como puede verse en la Tabla 1. De esta Tabla también se deduce que las interacciones pueden favo

recer, impedir o al menos disminuir la actividad de algún microorganismo de especial interés dentro de la descomposición de la materia. Por otro lado, las interacciones funcionan como regulador del sistema, manteniendo un balance ecológico entre las poblaciones de la comunidad, por lo que para mejorar el funcionamiento de los sistemas de tratamiento es necesario considerar, dentro de los objetivos de la investigación ecológica, el determinar qué organismos juegan un papel benéfico dentro del tratamiento, cómo se interrelacionan éstos con los demás organismos del sistema, cómo el diseño y los procesos de operación favorecen el crecimiento de los mismos y cómo impiden el crecimiento de los organismos no deseados (33).

TABLA NO. 1

INTERACCIONES ENTRE ORGANISMOS

INTERACCIÓN	POB 1	POB 2	
NEUTRALISMO	(0)	(0)	NINGUNA POBLACIÓN AFECTA A LA OTRA
COMENSALISMO	(+)	(0)	UNA POBLACIÓN ES BENEFICIADA, LA OTRA NO ES AFECTADA
MUTUALISMO	(+)	(+)	LAS DOS POBLACIONES SE BENEFICIAN SIENDO OBLIGATORIA LA RELACIÓN
PROTOCOOPERACION	(+)	*(+)	LAS RELACIONES SON BENEFICAS PARA AMBAS POBLACIONES, PERO NO SON OBLIGATORIAS
PARASITISMO	(+)	(-)	UNO DE LOS ORGANISMOS VIVE A EXPENSAS DEL OTRO
PREDACION	(+)	(-)	UN ORGANISMO INGIERE AL OTRO

COMPETENCIA	(-)	(-)	LOS MIEMBROS SE DISPUTAN - LOS NUTRIENTES Y EL ESPACIO EN ALGUNOS CASOS UNO INHIBE AL OTRO
AMENSALISMO	(-)	(0)	UNO DE LOS MIEMBROS PRODUCE CAMBIOS NEGATIVOS EN EL ME- DIO AMBIENTE DEL OTRO

Desde el punto de vista bioquímico es posible clasificar en tres formas a los organismos que intervienen en la degradación de la materia: organismos anaerobios, aerobios y facultativos.

Organismos Anaerobios.- Son aquellos que realizan el proceso de degradación en ausencia de oxígeno ambiental, utilizando como receptor final de H^+ el oxígeno contenido en la materia orgánica, nitratos, nitritos y sulfatos (32).

Este proceso se lleva a cabo en dos etapas:

- Hidrólisis enzimática de materiales complejos, y
- Descomposición o Fermentación de los productos resultantes del proceso anterior. A su vez, esta fase se lleva a cabo en dos etapas:
 - Producción de alcoholes, ácidos y aldehídos por bacterias acidogénicas, y
 - Formación de CH_4 y CO_2 a partir de los compuestos precedentes por medio de bacterias metanogénicas.

Un resumen de las reacciones que ocurren es el siguiente (14)





Este proceso tiene las siguientes ventajas:

- No ejerce demanda de oxígeno.
- Reduce el volumen de lodo.
- Reduce fuertemente la carga de microorganismos patógenos.
- Soportan cargas orgánicas altas.
- Se ven poco afectados por los cambios de temperatura ambiental (38).

No obstante, también presenta las siguientes desventajas:

- Producción de malos olores.
- Producción de fangos.
- Tiempos de retención altos.
- Degradación incompleta de la materia.

por lo que generalmente son usados como tratamiento primario y para la digestión de lodos residuales.

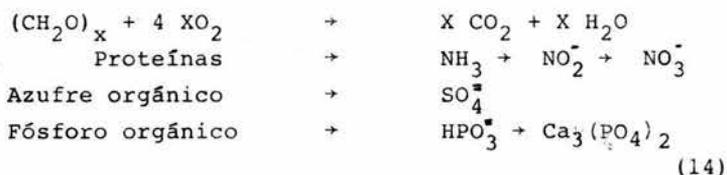
Organismos Aerobios.- Son aquellos que utilizan como receptor final de H^+ el oxígeno disuelto en el medio, por lo que solo pueden desarrollarse en ambientes bien oxigenados (39).

Estos organismos realizan la descomposición mediante la siguiente secuencia de reacciones:

- Rompimiento de las moléculas orgánicas grandes (proteínas, lípidos y carbohidratos) en unidades simples (aminoácidos, ácidos grasos y azúcares), efectuado generalmente por enzimas excretadas al medio por los microorganismos.
- Oxidación parcial, que es la transformación de las unidades anteriores en intermediarios de las rutas metabólicas (ac. pirúvico, acetyl CoA., ac. α cetoglutarico, ac. oxalacético, etc.)

- Ciclo de los ácidos tricarbóxicos, en el que los compuestos son llevados a los productos finales (CO_2 , H_2O , NO_3^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-}) (39).

La forma resumida de ellas es la siguiente:



Los sistemas que funcionan con este tipo de organismos presentan los siguientes beneficios:

- La degradación llega hasta los productos finales.
- No produce malos olores.
- Los tiempos de detención necesarios son cortos.

Y ofrecen las siguientes desventajas:

- Exigen una demanda de oxígeno alta que puede convertir a los sistemas en costosos.
- Se ven fuertemente afectados por las condiciones ambientales.

Organismos facultativos.- Entre los organismos aerobios estrictos y los anaerobios se puede encontrar una gradación - de ellos que van modificando sus necesidades de oxígeno conforme se acercan a cada uno de los extremos, estos organismos se conocen como facultativos.

Son especies que se desarrollan tanto en presencia de oxígeno como en ausencia de él, realizando los procesos de oxidación en forma análoga a como los organismos aerobios lo hacen, o bien llevando a cabo el proceso de acuerdo a como lo hacen los organismos anaerobios.

MEDIO AMBIENTE.- Como ya se ha mencionado, la presencia y el éxito de los organismos depende de un conjunto de factores ambientales (físicos y químicos) que determinan los límites sobre los cuales la población puede desarrollarse y los cambios que pueden causar en los desechos que serán tratados (33).

Si estos factores se aproximan a los límites de tolerancia de los organismos, o los rebasan, funcionan como factores limitantes en sentido perjudicial, pero también pueden actuar como reguladores benéficos, en el sentido de que la comunidad, en general, puede alcanzar el máximo grado de homeostasia en dichas condiciones (28).

Entre los factores del medio ambiente que deben considerarse se tienen:

Medio Ambiente Físico: Temperatura y luz.

Medio Ambiente Químico: pH, oxígeno, sustancias tóxicas y nutrientes.

Temperatura: La temperatura es un factor decisivo para el desarrollo y distribución de los organismos. Cada especie de ellos se sitúa entre determinados límites del margen de variación de temperatura como consecuencia de la integración de formas de comportamiento y características fisiológicas (26).

Dentro de este ámbito, se suele hablar de un punto óptimo, que puede considerarse en el punto de máxima producción de trabajo físico o de potencial reproductivo (20).

En términos generales, el aumento de la temperatura

ra acelera las reacciones químicas y los procesos fisiológicos, lo que es evidente en el crecimiento, desarrollo y metabolismo de los organismos, hasta ciertos límites en los que las proteínas comienzan a desnaturalizarse (22).

En el agua, la variación de temperatura es significativamente menor a la que sufre la atmósfera diariamente, - por lo que para los sistemas de tratamiento biológico son más importantes los fenómenos provocados por las variaciones estacionales que los ocurridos diariamente (20).

LUZ.- La luz sólo es importante para aquellos sistemas que emplean organismos fotosintéticos.

En el agua, la luz se encuentra sometida a una serie de influencias que la modifican profundamente, la primera de esas influencias es la profundidad, que hace que la luz disminuya conforme aumenta ésta, razón por la cual los sistemas que funcionan con organismos fotosintéticos son diseñados con una profundidad máxima de 2 m.

Las partículas en suspensión y las sustancias disueltas (dentro de las cuales deben ser considerados los organismos) son los otros elementos que reducen la transparencia y modifican la composición espectral de la luz (22).

pH.- Este factor tiene una importancia ecológica menor a la que le fuera atribuida en décadas pasadas por el hecho de ser importante en la regulación de la respiración y de los sistemas enzimáticos, ya que a menos que los valores sean extremos las comunidades compensan las diferencias mediante variados mecanismos (26 y 28).

Por otra parte, cuando las variaciones son más mar

cadav los organismos muestran predilección o no por ciertos pH; así, se tiene que las bacterias se desarrollan bien en pH neutro, en contraste con los hongos que crecen perfectamente en pH ácido (26).

Finalmente, un registro periódico de este factor puede permitir precisar la marcha de fenómenos tales como la evolución del CO₂.

OXIGENO.- En los sistemas de tratamiento aerobios y facultativos, es uno de los factores más importantes debido a que de su disponibilidad depende la degradación de la materia, reflejándose este carácter en el hecho de que para medir la cantidad de nutrientes o carga orgánica, se utilizan técnicas tales como la Demanda Química de Oxígeno (DQO) o la demanda Biológica del mismo (DBO), métodos que relacionan la cantidad de materia orgánica con la cantidad de oxígeno necesario para llevar a cabo el proceso.

La disolución de este gas en el agua esta sujeta a la presión parcial en la atmósfera, a la concentración de sales y a la temperatura (a mayor temperatura menor solución de O₂).

Debido a la importancia que tiene este gas en algunas modalidades de los sistemas de tratamiento, se provee por medios mecánicos, lo que aumenta su eficiencia, aunque también los costos. En los sistemas más económicos se usan organismos fotosintéticos como medio para proveerse de oxígeno.

SUSTANCIAS TOXICAS.- Muchas sustancias producidas por los organismos o bien sintetizadas por el hombre son capaces de reducir o inhibir la actividad microbiana, por lo

que es preciso detectarlas para el buen funcionamiento de los sistemas.

El pH, la temperatura, la concentración de sales y el período de contacto son elementos capaces de influenciar su actividad (39).

NUTRIMENTOS.- Para realizar las funciones vitales (crecimiento, reproducción, metabolismo, movimiento) los organismos saprófitos toman la energía y los nutrientes necesarios de los productos de desecho orgánicos, así como de los organismos muertos, dando como residuos nutrientes inorgánicos que sirven de alimento a los organismos autótrofos, renovándose así el ciclo de los mismos. (39).

Sin embargo, estos nutrientes deben de mantenerse dentro de ciertos límites por encima de los cuales el sistema resulta envenenado, por lo que se hace necesario el controlar: la cantidad de nutrientes o carga orgánica, el tiempo que los organismos tienen para actuar sobre los nutrientes, o tiempo de residencia celular e hidráulico, el cual está relacionado inversamente con el flujo, la velocidad con que se suministran o flujo, y la proporción en que se encuentra uno respecto a otros. Simpson (39) menciona como relación óptima de nutrientes una DBO:N:P de 100:5:1, mientras que Aguirre (1) da una de 100:20:1.

En general, las aguas residuales industriales y urbanas poseen una carga alta de elementos nutritivos aunque se dan casos en el que las aguas industriales son deficientes en N y P, lo que retrasa la formación de protoplasma.

Además de nutrientes y energía, los desechos deben de proveer a los organismos algunos otros factores como

son los constituyentes enzimáticos, coenzimas y activadores, aún cuando sólo se requieren pequeñas cantidades de ellos.

Desafortunadamente, no todos los desechos pueden ser empleados por los organismos como alimento, es decir, no todos son susceptibles de sufrir una oxidación, sino que son varias las características que deben de presentar para ello, por lo que es necesario establecer algunos conceptos de biodegradación.

BIODEGRADACION.

Para que un compuesto pueda ser utilizado por los microorganismos es necesario que presente las siguientes características:

- [Que pueda ser usado como fuente de carbono.
- Que no se encuentre en concentraciones tóxicas.
- Que sea soluble.
- En el caso de materiales orgánicos sintéticos, que presenten similitud con sustancias degradables. *
- Que presenten estructuras químicas susceptibles de ser metabolizadas (15).)

A pesar de que se cumplan todas estas condiciones, algunos compuestos se degradan muy lentamente, por lo que se acumulan en el medio, resultando su efecto tóxico, algunas veces magnificado a medida que circulan en los ciclos biogeoquímicos (28).

Por razones prácticas, se ha establecido que los compuestos biodegradables son aquellos que al cabo de 19 días de ser sometidos a tratamiento en un sistema biológico, su

estructura se modifica total o parcialmente. Las sustancias que en ese lapso no sufren modificación son las llamadas no biodegradables o recalcitrantes (29).

Desafortunadamente, este concepto es relativo, ya que lo que es degradable bajo ciertas condiciones, bajo otras puede no serlo, haciendo que el éxito de un sistema de tratamiento resida en la capacidad de reproducir las condiciones en las que un compuesto si es degradado (24).

En el caso particular de los compuestos orgánicos sintéticos, su síntesis reciente no ha permitido una evolución paralela de los sistemas microbianos para que los consuman y/o transformen (24).

Este hecho hace que su biodegradación dependa del grado de similitud de estos compuestos con otros ya existentes y biodegradables. No obstante, la mayoría de ellos ocasiona serios problemas en los ecosistemas, así como en los sistemas de tratamiento. Entre estas sustancias encontramos a los hidrocarburos y sus derivados, siendo de ellos los detergentes los compuestos que ocupan el primer lugar en abundancia dentro de las aguas residuales.

DETERGENTES.

Para mantener la limpieza, tradicionalmente se han utilizado los compuestos conocidos como jabones, pero ante la escasez de grasa natural necesaria para su elaboración, se empezaron a buscar nuevos productos que pudieran cumplir con esta función (25).

hacia finales de la segunda guerra mundial, gracias al desarrollo de la industria petroquímica, se obtuvieron algunos compuestos cuyas características químicas les permitía actuar con mayor eficacia que la de los jabones, ya que no precipitan en presencia de sales de Ca^{++} y Mg^{++} ; estos compuestos son los que hoy en día conocemos como detergentes sintéticos (12).

En general, se pueden definir como sustancias capaces de limpiar sin provocar abrasión, ni corrosión (4). Su molécula presenta una cadena alifática que es hidrofóbica y una cadena polar que es hidrofílica, configuración que le otorga las siguientes características:

- Abatimiento de la tensión superficial (acción humectante).
- Desintegración de las partículas que se aglomeran (acción dispersante).
- Incorporación de dichas partículas al agua (acción emulsificante).

Además le permite actuar con interfases: líquido - aire (agua-aire), líquido-líquido (agua-aceite) y líquido sólido (agua-suciedad), lo que los convierte en compuestos adecuados para el lavado, así como para manufacturar diversos productos como son: geles para cosméticos, espumas para afeitarse, aerosoles, emulsificantes, desengrasantes, para el teñido de telas, para extinguidores, pinturas, agentes antimicrobianos, etc. (20 y 25).

CLASIFICACIÓN.

De acuerdo a la forma en que se disocian en el agua, las sustancias antes mencionadas se clasifican en:

NO IONICAS.- Las que no generan carga, generalmente derivados oxietilenados y oxipropilenados de cadenas hidrocarbonadas hidrófobas, que poseen un grupo funcional con un H^+ activo, tales como los alcoholes.

IONICAS.- Las que producen una carga al disociarse. A su vez, estas últimas se subdividen en: catiónicas y aniónicas.

Catiónicas - moléculas que al disociarse en el agua dan una carga (+). En general son derivadas de sales cuaternarias de amonio, de aminas grasas y de sales de aminas - grasas.

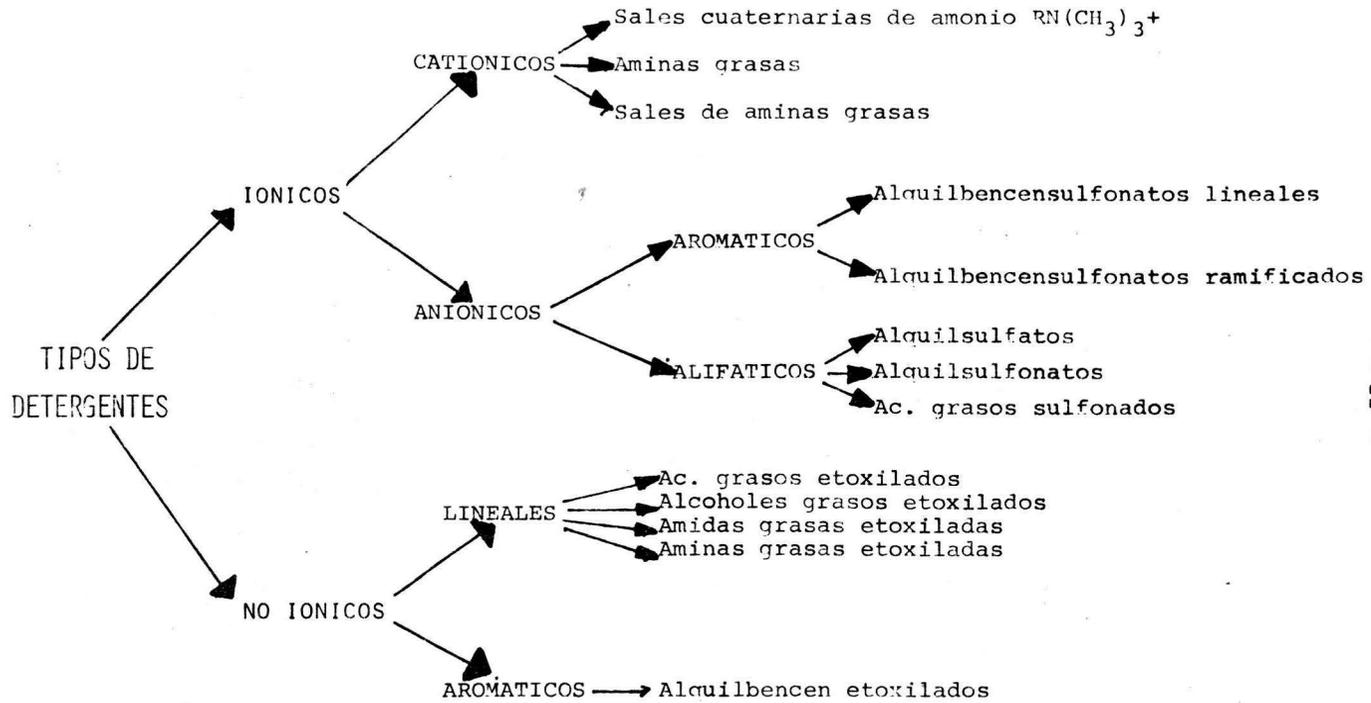
Aniónicas - son moléculas que dan lugar a cargas (-) al disociarse en el agua. Pueden ser de naturaleza alifática, del tipo de los alquil sulfatos, alquil sulfonatos y de productos de condensación de los ac. grasos; o de naturaleza aromática del tipo de los alquil bencén sulfonatos lineales o ramificados. Lo anterior, de forma esquemática, se representa en la Figura 1.

ALQUIL BENCEN SULFONATOS (ABS).- De todos los compuestos mencionados, los tensoactivos más utilizados en México son los aniónicos, específicamente los alquil bencén sulfonatos ramificados (ABS), por su eficacia, estabilidad química y bajo costo de producción (21).

Los ABS son sustancias derivadas de una mezcla de polímeros de polipropileno que, debido a su configuración molecular altamente ramificada, se prestan para la elaboración de muchos isómeros dependiendo de:

- Presencia de olefinas cuando se prepara el tetrámero y el pentámero de polipropileno.
- Tipo de polimerización que se emplee.
- Posibles reacciones de fragmentación que tienen lugar du

FIGURA NO 1.



rante la alquilación del benceno (32).

BIODEGRADACION.- Pese a los efectos tóxicos de estos detergentes, algunos organismos son capaces de degradarlos, siendo las bacterias los principales agentes encargados de esta acción, aún cuando se conocen algunas algas capaces de realizar este proceso (8).

La secuencia de reacciones seguida por los microorganismos se describe a continuación, la cual ha sido dividida en tres partes por razones prácticas.

Degradación de la cadena alquílica.- Se lleva a cabo por medio de la ω oxidación mediante:

- Hidroxilación del metilo terminal por medio de una monooxigenasa lo que da como resultado un alcohol.

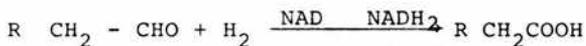


reacción que requiere de condiciones aerobias.

- Deshidrogenación del alcohol en forma sucesiva por lo que se forma cada vez ac. carboxílico y una cadena más corta.



- Como resultado de la oxidación se obtiene un alcanato



El alcanato es degradado por oxidación hasta acetil Co.A que sirve de intermediario en las rutas metabólicas.

Esta secuencia sufre algunas modificaciones para isómeros muy ramificados o con un número par de carbonos, pudiendo dar en este caso propionil CoA., como producto final o alcoholes como el isopropílico.

En el caso de las moléculas con número non de átomos de carbono, se obtiene como residuo un benzoato, en el caso de un número par, se tendrá un fenil acetato, siempre que el grupo sulfonato no haya sido removido, en caso contrario los productos serán p-hidroxibenzoato y el p-hidroxifenil acetato (8).

Biodegradación del anillo aromático.- Este proceso sólo ha sido detectado en estudios de flora mixta. Comienza con un sistema oxidativo inducible, para después mediante enzimas específicas, se lleve a cabo la ruptura del anillo dando como productos compuestos alifáticos fácilmente metabolizables (40), lo cual es mostrado en la Figura 2. *ejemplo:*

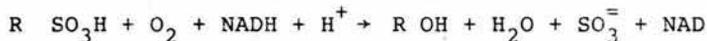
Metabolismo de los grupos sulfato y sulfonato.- La degradación de este grupo puede llevarse a cabo al principio o al final del ataque a la molécula del alquil bencen sulfonato. No obstante el mecanismo de desulfonación no ha sido examinado en detalle, este puede consistir en los siguientes pasos

(8):

- Ataque hidroxilativo del grupo sulfonato:



- Catálisis por medio de una oxigenasa



- Desulfonación reductiva en los casos en que los productos son fenil alcanos



- En el caso especial de los aril sulfonatos, los primeros productos detectables corresponden a catecoles, fenol-p-sulfonatos o monofenoles.

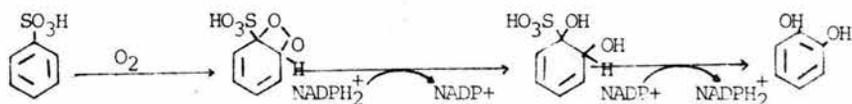
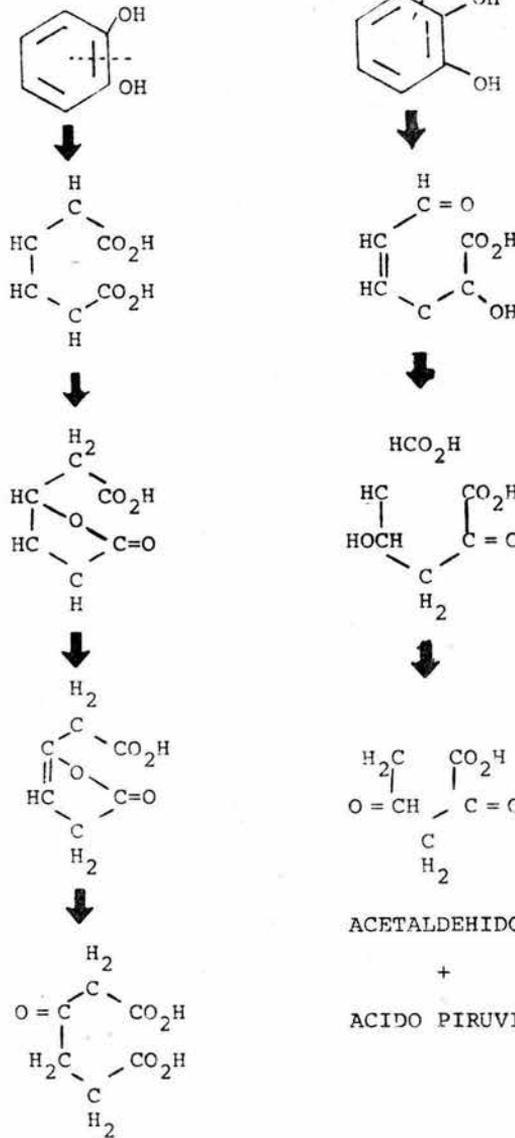


FIGURA N 2

RUTAS DEGRADATIVAS DEL ANILLO AROMATICO.



ACIDO β CETODIPIDICO

Estos patrones de degradación son los más característicos, no obstante las rutas metabólicas que suceden en la naturaleza son numerosas, pudiéndose resumir en la forma que sigue (8):

- ω y β oxidación de la cadena alifática sin desulfonación o metabolismo del anillo.
- ω y β oxidación de la cadena alifática con desulfonación hidroxilativa y rompimiento del anillo.
- ω y β oxidación de la cadena alifática sin desulfonación reductiva dando fenil alcanato o intermediarios del para hidroxifenil alcanato.
- ω oxidación y desulfonación seguida de α y β oxidación con rompimiento del anillo.
- ω oxidación y desulfonación seguida de α y β oxidación sin rompimiento del anillo.
- Degradación de la cadena tipo valina o pantotenato enlazada a desulfonación y rompimiento del anillo.
- Desulfonación del anillo aromático para formar los alquil catecoles correspondientes, seguido de rompimiento del anillo en meta, para alquil bencén sulfonatos de cadena corta.
- Degradación Co metabólica.

La velocidad con la que se lleve a cabo la degradación, depende de la composición química de la molécula, influyendo, en forma diferente cada uno de los grupos.

La longitud, ramificación y presencia de grupos metilo en la cadena alifática influyen en forma determinante, así también el número de sustituyentes en el anillo aromático, en cambio el grupo sulfonato en general tiene poca influencia (25).

* (En la mayoría de los países del mundo, los ABS han

dejado de ser empleados debido a los problemas que ocasionan en las corrientes y en las plantas de tratamiento, por lo que han sido sustituidos por alquil bencén sulfonatos lineales - (LAS) cuya degradación es más rápida.

En México argumentando que los ABS tienen una toxicidad aguda menor que la de los LAS, las formulaciones no han sido cambiadas por lo que se tienen que enfrentar los siguientes problemas del uso de estos compuestos (25).

Algunos de estos problemas son los que a continuación se mencionan:

- Espumas aún en concentraciones de ABS tan bajas como 1 ppm que arrastran organismos patógenos que pueden contaminar las zonas urbanas, además de ocultar las instalaciones de las plantas de tratamiento.
- Disminución de la velocidad de absorción de oxígeno en el agua, aún en concentraciones de 0.1 ppm. afectando a los organismos y procesos aerobios de purificación.
- Daños a los organismos presentes en los sistemas ecológicos y a los participantes en los sistemas de tratamiento (21 y 32).

Estudios en algas sugieren que los ABS actúan en la obtención de energía provocando una oxidación rápida de la glucosa, puesto que aumenta la permeabilidad de la membrana (32).

Algunos autores (32) opinan que los detergentes, debido a su actividad y efectos en la pared de los microorganismos, pueden penetrar al interior de la célula ocasionando la lisis del núcleo, mientras que otros han encontrado que inhiben la división mitótica de los organismos, sin embargo, la mayoría de los autores coinciden en que los daños causa-

dos a los organismos residen en los efectos ocasionados sobre la superficie de la célula (32). Al parecer, este efecto es causado por la presencia de la parte lipofílica de la molécula de detergente que les permite el libre acceso al interior de la célula (32). *termina y sigue*

A estos y otros efectos causados a los organismos, es necesario sumar los ocasionados por los compuestos presentes en los productos comerciales tales como:

- Sales alcalinas de ácidos orgánicos débiles.
- NaOH o KOH.
- Sales inorgánicas neutras que actúan como agentes quelantes para que los detergentes puedan actuar en aguas duras (4).

Estos compuestos son capaces de provocar daños a los cuerpos de agua, tales como la aceleración de la eutrofización, lo que hace necesario buscar la forma de aumentar la velocidad de degradación del principio activo y disminuir el efecto que tienen sobre los cuerpos receptores y sistemas de tratamiento las sustancias que acompañan a los agentes tensoactivos en las presentaciones comerciales.

TIPOS DE SISTEMAS BIOLÓGICOS.

En cuanto a los tipos de sistemas de tratamiento biológico, aunque se han diseñado un gran número de ellos, en general se pueden dividir en dos tipos principales:

SISTEMAS CON MICROORGANISMOS CON CRECIMIENTO SOBRE UNA SUPERFICIE.

Este tipo basa su funcionamiento en hacer crecer a los microorganismos sobre lechos empacados con piedras, plás

tico, o bien en discos giratorios a través de los cuales pasa el agua residual, de forma que los organismos pueden tomar de ella los nutrimentos necesarios para su crecimiento, obteniéndose así un líquido de mejor calidad. Como ejemplo de este tipo de sistemas tenemos: Filtros de percolación, Discos biológicos rotatorios y los Filtros anaerobios (25).

SISTEMAS CON MICROORGANISMOS CON CRECIMIENTO SUSPENDIDO.- Funcionan a base de hacer crecer a los microorganismos en forma suspendida en el agua, de la que toman los nutrimentos necesarios para su desarrollo, teniéndose entre este tipo de sistemas: Lodos activados, Lagunas de estabilización, Lagunas de oxidación, Digestores anaerobios y Lagunas aerobias de alta velocidad.

De estos tipos, los sistemas con crecimiento suspendido son los más utilizados en México, como puede verse en la Tabla 2, la cual muestra el número, tipos y distribución de las plantas de tratamiento existentes. Esto se debe a que en ellos el suministro de oxígeno es menos complicado que en los sistemas con crecimiento sobre una superficie. En esta misma tabla, también es evidente que las lagunas de estabilización son la modalidad más abundante, lo que se debe a su alta eficiencia y economía en sus costos de construcción y operación, aunque es importante mencionar que son sistemas lentos que toleran sólo bajas cargas de materia orgánica, razón por la cual se utilizan principalmente en áreas rurales donde las poblaciones no son tan grandes y cuentan con una gran superficie de terreno para la ubicación de la planta (25).

T A B L A N O . 2

PLANTAS DE TRATAMIENTO EN MEXICO

TIPO DE TRATAMIENTO	NO. DE PLANTAS	U B I C A C I Ó N
PRIMARIO	22	BAJA CALIFORNIA NORTE, BAJA CALIFORNIA SUR, GUA NAJUATO, GUERRERO, HIDAL GO, JALISCO, NUEVO LEÓN, PUEBLA, QUERÉTARO, QUIN- TANA ROO, SONORA, TAMAU- LIPAS, VERACRUZ
LAGUNAS ESTABILIZACION	82	AGUASCALIENTES, BAJA CA- LIFORNIA NORTE, BAJA CA- LIFORNIA SUR, SONORA, VE RACRUZ, COAHUILA, COLIMA, DURANGO, HIDALGO, JALIS- CO, MÉXICO, GUERRERO, MO- RELOS, NAYARIT, NUEVO - LEÓN, OAXACA, PUEBLA, - SAN LUIS POTOSÍ, TLAXCA- LA
LAGUNAS AIREADAS	6	AGUAS CALIENTES, GUANA - JUATO, OAXACA, PUEBLA, QUINTANA ROO, SINALOA
ZANJAS DE OXIDACION	6	BAJA CALIFORNIA NORTE, BA JA CLAIFORNIA SUR, COAHUI LA, COLIMA, GUANAJUATO, JALISCO, NUEVO LEÓN
LODOS ACTIVADOS	45	BAJA CALIFORNIA NORTE, BA JA CALIFORNIA SUR, COAHUI LA, COLIMA, GUANAJUATO, GUERRERO, JALISCO, MÉXICO MICHOCÁN, MORELOS, NUEVO LEON, OAXACA, SINALOA, VE RACRUZ, ZACATECAS

LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN.

Las lagunas o estanques de estabilización, han sido empleadas desde hace muchos siglos como sistemas de tratamiento de aguas, sin embargo, hasta hace algunas décadas este uso era más bien accidental que producto de una planeación adecuada, hasta que finalmente en los Estados Unidos, se inició el estudio formal de los mismos (14).

Gracias a esto, el uso de las lagunas de estabilización se difundió, primero a través de muchas ciudades de Norte América y posteriormente a muchas ciudades del mundo, lo que las convirtió en uno de los sistemas más utilizados - (17 y 27).

Existen tres modalidades de estos estanques, los que trabajan exclusivamente a base de organismos aerobios - (lagunas aerobias), cuyas condiciones son muy difíciles de mantener; los estanques que funcionan con microorganismos anaerobios (lagunas anaerobias) y los que trabajan con organismos aerobios, anaerobios y facultativos (lagunas facultativas).

Este último tipo de estanques son los más empleados por la eficiencia de su funcionamiento, por su facilidad y versatilidad de manejo y por sus bajos costos de operación. Pueden ser utilizadas solas, conectadas con otras en serie o paralelo o bien con otros tipos de sistemas de acuerdo al uso para el cual serán destinadas (17).

Los estanques facultativos funcionan en forma muy similar a como lo hacen los lagos eutróficos naturales.

Estos presentan una zona aerobia superior, una facultativa intermedia y una anaerobia inferior.

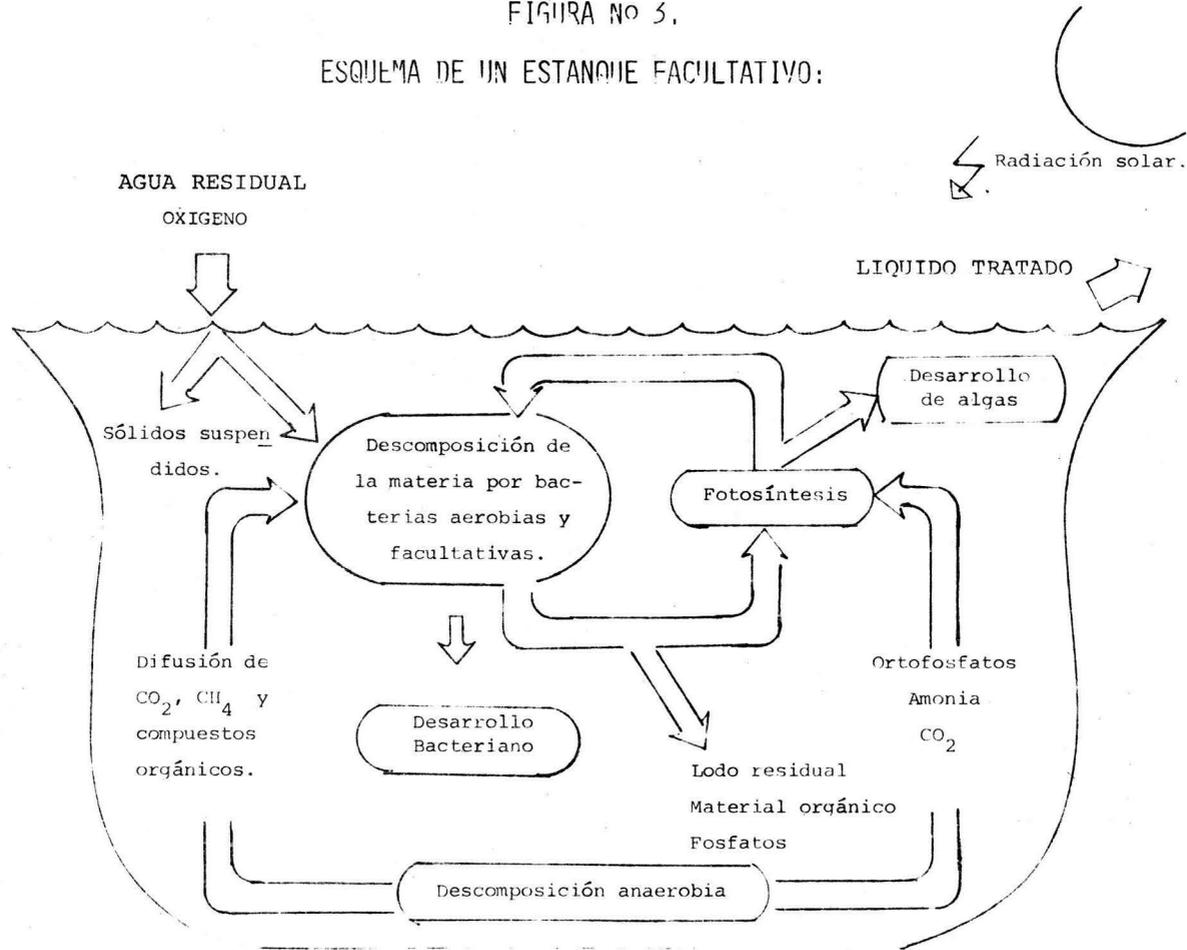
En las capas superiores predomina el proceso aerobio durante las horas de luz y primeras horas de la noche. En estas capas, los desechos orgánicos que entran al estanque son descompuestos por las bacterias, para obtener la energía necesaria para realizar sus funciones vitales (crecimiento, reproducción, movimiento, etc.), al tiempo que aumentan su material celular a través de la biosíntesis, dejando como residuos compuestos inorgánicos y simples como: H_2O , $SO_4^{=}$, $PO_4^{=}$, NO_3^- , que utilizan las algas como nutrientes (39).

El CO_2 resultante de la oxidación de la materia se utiliza para la fotosíntesis, dando como producto oxígeno, necesario para que las bacterias lleven a cabo la degradación de la materia por vía aerobia, aquí cabe señalar que aunque algunas de las especies de los géneros de *Chlamydomonas*, *Euglenas* y *Mallomonas*, pueden metabolizar material orgánico, su participación dentro del sistema en cuanto a degradación de materia es realmente bajo, si se le compara con el de las bacterias (3).

Por otro lado, la materia que no alcanza a ser degradada en las capas superiores sedimenta acumulándose en el fondo de los estanques, sitio en donde es transformada por vía anaerobia, produciendo compuestos orgánicos solubles (ác. grasos, alcoholes, etc.) y gases (CH_4 y CO_2) que pasan a las capas facultativas por un proceso de difusión para ser estabilizadas por las bacterias que ahí se encuentran, de acuerdo como se muestra en la Figura 3.

No obstante las condiciones necesarias para mantener los porcentajes de remoción de materia altos, para favorecer a las poblaciones más adecuadas, así como el equilibrio entre las mismas, no han sido establecidas, por lo que el funcionamiento de los estanques esta dependiendo de la habilidad

FIGURA NO 3.
 ESQUEMA DE UN ESTANQUE FACULTATIVO:



y experiencia de los operadores.

Esto trae como consecuencia varios problemas en el diseño y operación del sistema entre los cuales están:

- Bajos porcentajes de remoción de la materia orgánica.
- Florecimiento de algas azul verdes, que al formar natas - en la superficie del agua, impiden el paso de luz y la di fusión del oxígeno.
- Azolvamiento.
- Dificultad en la remoción de sustancias sintéticas del ti po de los detergentes.
- Imposibilidad de correlacionar las condiciones de estan - ques que funcionen bien con los que no lo hacen.

Por estas razones es que se decidió plantear los siguientes objetivos:

O B J E T I V O S

Conocer las poblaciones fotosintéticas de un modelo de laguna de estabilización tipo facultativo, con el fin de encontrar su relación con los parámetros de diseño, así como para evaluar los efectos que sobre ellos tienen los de tergentes de tipo aniónico que se usan en México (ABS).

MATERIALES Y METODOS

Para la realización del objetivo planteado se siguió la metodología que a continuación se describe:

INSTALACIÓN Y ARRANQUE DE LAS UNIDADES.

Para simular las lagunas de estabilización facultativas se empleó el modelo de laboratorio diseñado por Eckenfelder (14), el cual por su sencillez permite manejar el sistema con facilidad.

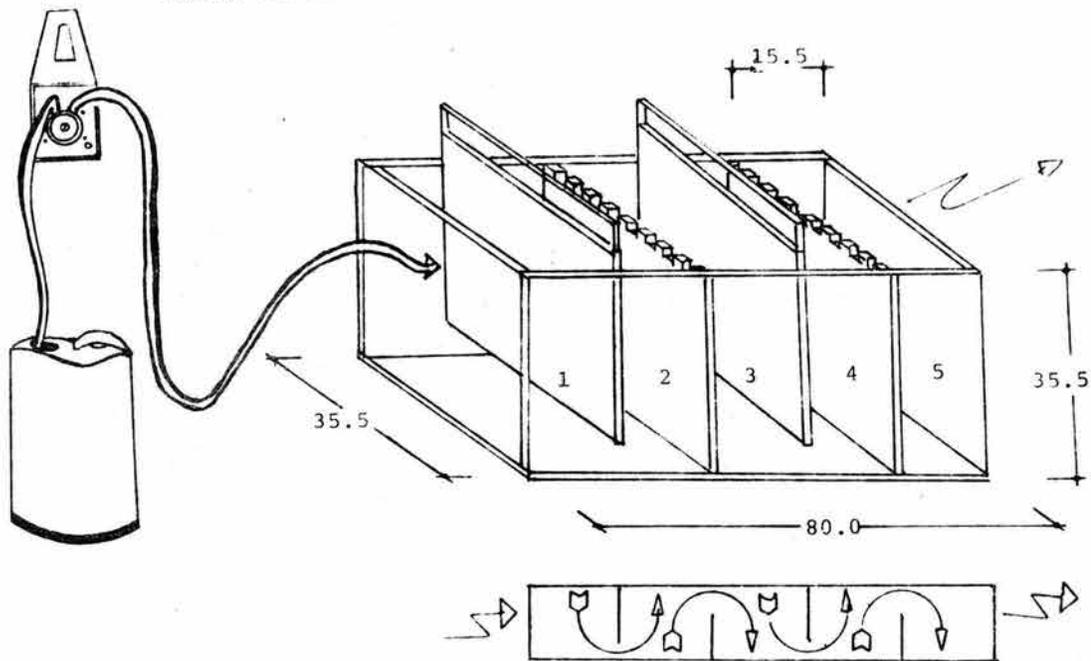
El modelo consiste en un recipiente rectangular provisto de cinco celdas, las que se comunican en forma alternante por el fondo y por la parte superior por medio de mamparas, lo que provoca la distribución vertical del fluido y - evita en forma considerable corto circuitos. Lo anterior es mostrado en forma esquemática en la Figura 4.

En estas condiciones la unidad se comporta con un patrón de flujo pistón (16).

Para la experimentación se contó con tres unidades de este tipo, las cuales fueron denominadas: Unidad I, II y III respectivamente; como ya habían sido usadas en estudios previos la Unidad II se encontraba pintada de negro, mientras que la Unidad I y III eran transparentes. Como se consideró conveniente que la luz sólo les diera por la parte superior, las Unidades I y III se forraron de papel aluminio. Las características y dimensiones de ellas se muestran en la Tabla No. 3.

FIGURA NO 4

MODELO DE LABORATORIO PARA UNA LAGUNA DE ESTABILIZACION



T A B L A NO. 3

CARACTERISTICAS DE LOS MODELOS DE LABORATORIO

PARA METRO	DIMENSIÓN
M A T E R I A L	LUCITA DE 1.0 CM. DE ESPESOR
P R O F U N D I D A D	35.5 CM.
PROFUNDIDAD DEL AGUA	28.0 CM.
A N C H O	35.5 CM.
L A R G O	80.0 CM.
LONGITUD DE CADA CELDA	15.0 CM.
DISTANCIA DE LAS MAMPAS AL FONDO	5.0 CM.
VOLUMEN DE AGUA	80.0 L.

Con el propósito de alimentar a los sistemas en forma continua, se utilizaron bombas peristálticas Masterflex - Modelo 7535-10 y cabezales 7016 equipados con manguera de Tygon 6408-02 y 6408-45 marca Cole Palmer (EUA).

El agua de alimentación y de salida de las unidades se almacenó en botes de plástico de 20 l. de capacidad.

La optimización para la remoción de la materia orgánica por parte de las lagunas fue realizada en un estudio previo (16), encontrándose como las mejores condiciones para trabajar con la máxima eficiencia las mostradas en la Tabla No. 4.

T A B L A N O . 4

CONDICIONES OPTIMAS DE REMOCION DE MATERIA
ORGANICA EN UN MODELO DE LAGUNA DE
ESTABILIZACION

P A R A M E T R O

D Q O	375.0 MG O ₂ /L
TIEMPO DE RESIDENCIA HIDRAULICO	7.5 DÍAS
CARGA ORGANICA SUPERFICIAL	7 500.0 MG DQO M ² DÍA

Como afluente se manejó el agua residual sintética (ARS) sugerida por la OECD (29) para este tipo de experimentos. El ARS presenta características semejantes a las de un agua doméstica, con la ventaja de que con ella es posible controlar los componentes, la carga orgánica y la presencia de

compuestos tóxicos. La composición del agua se presenta en la Tabla No. 5.

Dichas soluciones cuando se usan en una cantidad de 1 ml. por litro de agua dan lugar a una carga orgánica de 275 mg/l de Demanda Química de Oxígeno, obteniéndose cargas mayores o menores al variar la cantidad agregada por litro de agua en forma proporcional. Para iniciar el proceso, las lagunas se inocularon con lodos activados de las unidades del propio laboratorio y con un cultivo de algas generado a partir del agua residual.

Para comenzar la etapa experimental se inició de inmediato la alimentación en forma continua con el agua residual sintética y se esperó a que las unidades alcanzaran condiciones de estado estacionario, lo cual se consideró logrado cuando la demanda química de oxígeno del efluente no variaba significativamente, es decir, cuando permanecía constante la eficiencia de remoción de materia orgánica.

EXPERIMENTACIÓN.

Una vez logrado lo anterior, se inició la etapa experimental propiamente dicha, la cual para propósitos prácticos fue dividida en tres fases:

FASE I El objetivo de esta fase fue conocer el comportamiento de las lagunas y de las poblaciones fotosintéticas cuando son afectadas por las condiciones estacionales que se presentan a través del año.

Con este propósito se muestrearon y analizaron durante un año dos de las tres unidades trabajadas, la unidad I con una frecuencia de muestreo de cada dos

T A B L A NO. 5

COMPOSICION DEL AGUA RESIDUAL
SINTETICA*

C O M P O N E N T E	CANTIDAD
PEPTONA DE GELATINA	160 MG/L
EXTRACTO DE CARNE	110 MG/L
U R E A	30 MG/L
NA _{CL}	7 MG/L
CA _{CL} ₂ 2H ₂ O	4 MG/L
M _G SO ₄ 7H ₂ O	2 MG/L
K ₂ HPO ₄	21.75 MG/L
KH ₂ HPO ₄	8.5 MG/L
NA ₂ HPO ₄	33.40 MG/L
NH ₄ CL	1.7 MG/L

* OECD (29)

meses aproximadamente y la Unidad II con una frecuencia de muestreo mensual.

FASE II Durante esta fase el objetivo fue evitar las variaciones estacionales mediante la exposición de las unidades a una intensidad luminosa constante para con ello, poder evaluar algunas constantes de crecimiento como son: velocidad específica de crecimiento, rendimiento en base a sustrato y velocidad específica de respiración. Adicional a lo anterior, se conoció la variación poblacional de las unidades. Para esta fase se emplearon las Unidades I y III en condiciones de iluminación controlada, lo cual se logró con la exposición a dos lámparas fluorescentes de 39 watts a una distancia de 50 cm. del agua (lo que corresponde a una intensidad luminosa de 697 luxes) de cada una de las unidades, con un fotoperíodo de 16 horas luz contra 8 horas de oscuridad. Es importante mencionar que las poblaciones de las dos unidades fueron mezcladas en su totalidad al inicio de esta fase para asegurar un inóculo homogéneo.

FASE III Para esta fase se utilizaron las mismas unidades y condiciones que en la Fase II, con la salvedad de que la Unidad III fue adicionada con detergentes para estudiar los efectos que éstos tienen sobre los estanques y específicamente sobre las poblaciones fotosintéticas, mientras la Unidad I permaneció como control durante todo el experimento. El detergente utilizado en los estudios fue un principio activo extraído de muestras comerciales disponibles en el mercado, lo cual ya fue reportado en un estudio previo (24). Dicho detergente corresponde a un alquil bencén sulfonato de tipo ramificado

(ABS), las dosis empleadas en el estudio fueron de: 2.5, 5.0, 7.5, y 12.5 mg/l. de detergente adicionado en forma creciente.

Una vez agregado el detergente al agua de alimentación se empezó a cuantificar su concentración en el efluente y cuando ésta permanecía constante se tomaban muestras de las unidades en dos o tres ocasiones, de forma tal que los resultados reflejaran el efecto que los detergentes tienen sobre el sistema.

TÉCNICAS DE ANALISIS.

Como criterio para evaluar las Fases experimentales se utilizaron las siguientes técnicas de análisis:

FACTORES CLIMATICOS.

Como ya ha sido mencionado, los factores climáticos juegan un papel muy importante en el proceso, razón por la cual se hizo necesario llevar un registro semanal de los siguientes parámetros: Temperatura del agua, pH, oxígeno disuelto, e intensidad luminosa para cada celda de cada unidad, medidas a tres profundidades distintas (superficie, media y fondo) en la forma siguiente:

- a) Temperatura del agua. Se midió mediante un termómetro de mercurio graduado de 0 - 50°C.
- b) pH. Se cuantificó mediante un medidor de pH digital provisto de electrodo marca Cole Palmer 5986 (EUA).
- c) Oxígeno disuelto. Este parámetro se midió mediante un analizador de oxígeno YSI Modelo 54 de Yellow Spring Instruments (EUA).
- c) Oxígeno disuelto. Este parámetro se midió mediante un analizador de oxígeno YSI Modelo 54 de Yellow Spring Ins

truments (EUA).

- d) Intensidad luminosa. La intensidad de la luz incidente se midió por medio de un exposímetro para fotografía marca Gossen Luna-Pro de Alemania.

DETERMINACIONES LIGADAS CON LA EFICIENCIA DE LA LAGUNA.

Para calcular la eficiencia de remoción de materia orgánica se midió la Demanda Química de Oxígeno (DQO) tanto del efluente como del afluente, razón por la cual fue necesario determinar la DQO tanto del agua que entra como de la que sale de la laguna. La DQO fue realizada siguiendo el método del dicromato de potasio, dado en los manuales de análisis de agua residual de la SARH (9) y del Standard Methods (2).

En el caso de los experimentos con detergentes, éstos fueron medidos como sustancias activas al azul de metileno (SAAM), que es una determinación para detergentes de tipo aniónico, que son del tipo de los que fueron usados. La metodología seguida es la reportada en los manuales de análisis de agua y aguas residuales de la SARH (9) y del Standard Methods (2).

CUANTIFICACION DE POBLACIONES.

Aunque las poblaciones presentes en una laguna de estabilización son muy complejas, se puede simplificar el sistema como el equilibrio dado por la población fotosintética y la población bacteriana heterotrófica, razón por la cual la evaluación de las poblaciones se centró en estos dos grandes tipos.

- a) Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV). La concentración total de los organismos que se encuentran en la laguna fue determinada como sólidos suspendidos volátiles que es

una determinación que se considera directamente proporcional a la cantidad total de organismos tanto autotróficos como heterotróficos.

La metodología seguida para ello es la recomendada en los Manuales de Análisis de agua y aguas residuales de la SARH (9) y del Standard Methods (2).

- b) Clorofilas a, b y c.- Esta determinación correlaciona en forma directa la presencia de organismos autotróficos (fotosintéticos), los cuales presentan estos pigmentos.

En forma complementaria con la determinación de SSV, la diferencia entre los SSV y las clorofilas, multiplicadas por el contenido de clorofilas aproximado de los organismos fotosintéticos, da una idea de la presencia de organismos heterotróficos.

La cuantificación de clorofila se llevó a cabo por el método tricromático en la forma como indica el Standard Methods (2).

- c) Identificación y cuantificación de algas.- Para identificar y cuantificar los organismos fotosintéticos se utilizó una muestra de 20 ml. fijada con una solución de lugol-acético (43), reactivo que funge como fijador al restar movilidad e impedir la reproducción de los organismos fotosintéticos, facilitando el conteo.

A su vez este reactivo, debido a la presencia de yodo ayuda en la identificación de las clorofíceas, debido a que estos organismos sintetizan almidón, el cual se tiñe de azul en presencia del yodo.

La cuantificación de los organismos se llevó a cabo colocando muestras homogéneas de 0.072 ml. en portaobjetos, leyéndose posteriormente a través de un microscopio Karl Zeiss, Mod. K7, barriando el campo en zig-zag. Cada muestra fue leída por triplicado (43).

La identificación de las algas fue hecha por medio de las claves taxonómicas de Bourrley (5, 6 y 7) Tiffany (42), Patrick (31) y Prescott (34). Para facilitar la identificación de las diatomeas, éstas fueron tratadas con la Técnica de Hasle (16) y montadas en bálsamo del Perú.

DETERMINACIONES CINÉTICAS.

Con el propósito de tener una información cuantitativa sobre las lagunas de estabilización, que al mismo tiempo proporcione datos capaces de correlacionarse con las ecuaciones de diseño y con la población microbiana presente, se decidió medir algunos parámetros que puedan cumplir con dichos requerimientos, los cuales fueron:

- a) Velocidad Específica de Crecimiento.- Este parámetro es, por definición la rapidez con la cual un microorganismo se reproduce por unidad de masa celular presente, lo que en términos matemáticos se expresa como:

$$\mu = \frac{1}{x} \frac{dx}{dt} \quad (1)$$

En donde:

μ - Velocidad específica de crecimiento 1/hr

x - Concentración microbiana g/l

t - Tiempo hr.

En este caso, como se tiene un sistema en cultivo continuo con acumulación de sólidos en el fondo de la laguna, lo que se hizo fue medir la velocidad de crecimiento en las etapas transitorias generadas entre una medición y

otra, lo cual se puede realizar mediante la expresión:

$$\mu = \frac{\ln(X_2/X_1)}{t_2 - t_1} \quad (2)$$

En donde:

t_1 y t_2 - son tiempos de experimentación

x_1 y x_2 - son las concentraciones microbianas en los tiempos t_1 y t_2

Para calcular el crecimiento de la población autrófica - x_2 y x_1 fueron las concentraciones de clorofila obtenidas en los tiempos 1 y 2, y para la evaluación del crecimiento de las poblaciones tanto autotróficas como heterotróficas x_2 y x_1 , se tomaron como las concentraciones de - ssv, a los tiempos 1 y 2 (25).

- b) Rendimiento Celular en base a sustrato.- Esta constante cinética da una idea de la eficiencia con la cual el sustrato se transforma en células o biomasa microbiana. Es muy importante porque da una forma rápida de evaluar la producción de sólidos biológicos con el simple conocimiento de la carga orgánica suministrada. En sistemas - con gran producción de sólidos como los lodos activados, es determinante para el diseño del sistema de tratamiento de lodos residuales; mientras que en sistemas de baja producción de lodos, como son las lagunas de estabilización es importante para determinar el azolvamiento de la laguna (25).

Por definición, el rendimiento esta dado por la siguiente ecuación:

$$Y_{x/s} = \frac{x_2 - x_1}{s_2 - s_1} \quad (3)$$

En donde:

x_1 y x_2 - son las concentraciones de los sólidos biológicos, medidos a dos tiempos diferentes como SSV.

S_1 y S_2 - son las concentraciones de materia orgánica del agua residual a la entrada y la salida de la laguna, medido como DQO.

Las cargas orgánicas fueron tomadas como 100% para las celdas 1 - 2, como 30% para las celdas 3 - 4 y como 15% para la celda 5, de acuerdo con un perfil de concentración horizontal, el cual es mostrado en la Figura 5.

- c) Velocidad Específica de Respiración.- Este parámetro que no es otra cosa sino el consumo de oxígeno por unidad de tiempo por unidad de peso celular, refleja el tipo de metabolismo predominante en un momento dado en el sistema, ya que el consumo de oxígeno para el metabolismo heterotrófico es diferente que para el autotrófico. Por otra parte, los cambios en los valores de este parámetro pueden ser indicadores de los estados de "salud" de determinada población (25).

Por definición, la velocidad específica de respiración es ta dada por:

$$Q_{O_2} = \frac{1}{x} \frac{dO_2}{dt} \quad (4)$$

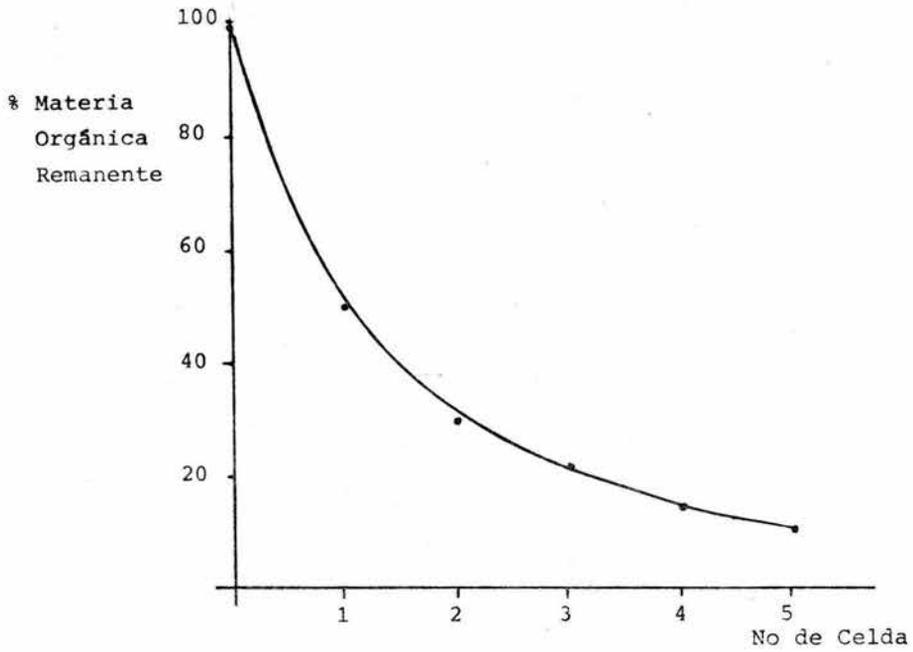
En donde:

Q_{O_2} - es la velocidad específica de respiración en mg. O_2 /g. SSV. min.

x - es la concentración microbiana medida como SSV en g/l.

FIGURA Nº 5

PERFIL HORIZONTAL DE CONCENTRACION EN LA LAGUNA
DE ESTABILIZACION UTILIZADA



$\frac{dO_2}{dt}$ - es la velocidad de consumo de oxígeno en mg O₂ - por minuto.

Para la cuantificación de este parámetro se obtuvo el cociente de la velocidad de consumo de oxígeno con respecto a los SSV. de la muestra.

La velocidad de consumo de oxígeno se obtuvo mediante la determinación de oxígeno disuelto en dos tiempos diferentes a una muestra de microorganismos colocada en una celda cerrada de un medidor de oxígeno disuelto YSI modelo 53 equipado con electrodo y graficador de Instrumentation Specialties Co. Modelo 613 (EUA).

MUESTREOS.

El procedimiento seguido para tomar las muestras - consistió en tomar 200 ml. de suspensión de cada celda previamente homogenizada mediante agitación con una pala de madera.

Como las celdas 1 - 2 y 3 - 4 se encuentran comunicadas por la parte inferior, se consideraron como muestras provenientes de una sola celda, razón por la cual son reportadas como: 1 - 2, 3 - 4 y 5, ya que el agua para las muestras de dichas celdas se mezcló.

Durante la fase II, cuando se iban a determinar las constantes cinéticas, a cada celda se le extrajo un volumen - de 2 litros de agua, 24 horas antes de llevar a cabo el - muestreo, con el objeto de hacer dichas determinaciones en el estado transitorio del sistema.

R E S U L T A D O S

Como el trabajo se desarrolló en tres fases, de la misma forma los resultados son presentados en tres fases con el propósito de facilitar la discusión.

FASE 1.

Los resultados para los parámetros estudiados en la unidad I en condiciones de iluminación natural son mostrados en las figuras 6, 7 y 8 para Q_{O_2} , SS y SSV; en las figuras 9, 10 y 11 se muestran los valores para clorofilas, intensidad luminosa, pH y temperatura; en las figuras 13, 14 y 15 se muestra la cuenta total y la dominancia de los principales organismos encontrados en esta unidad; finalmente en la figura 12 se presenta la gráfica del % de remoción de materia orgánica con la que trabajó la unidad.

Para la unidad II de esta misma fase, los resultados de los parámetros estudiados se muestran en las figuras 16, 17 y 18 para Q_{O_2} , SS y SSV; en las figuras 19, 20 y 21 se presentan los valores para clorofilas, intensidad luminosa, pH y temperatura; en las figuras 23, 24 y 25 se muestra la cuenta total y la dominancia de los organismos encontrados en esta unidad; la remoción de materia orgánica se muestra en la figura 22. Es importante señalar que, aunque el oxígeno fue medido en todos los casos, sus valores fueron siempre en general inferiores a 0.1 mg/l, razón por la cual no fue posible graficarlos.

Durante esta fase se identificaron a las siguientes especies: *Nitzschia linearis*, *Nitzschia dissipata*, *Navícula ryncoccephala*, *Navícula subhamulata* y *Gonmphonema parvulum*, los cuales son organismos típicamente bentónicos (3). *Mallomonas reginae*, y un fitoflagelado euglenoide, el cual por sus características morfológicas y citológicas no ha podido ser ubicado todavía, por lo que tentativamente se la ha denominado *Eucebia ipnii*.

Estos dos últimos organismos son típicamente epilimnéticos (2). Las descripciones de ellos y la ubicación taxonómica - aparecen en el Apéndice I. En las figuras 13, 14, 15, 23, 24 y 25 se muestran las variaciones de las poblaciones de *Eucebia ipnii*, *Nitzschia linearis* y *Mallomonas reginae*, organismos que presentaron el mayor porcentaje de dominancia.

FASE II.

Como ya se mencionó, esta fase también fue realizada en dos unidades, las cuales tenían la iluminación controlada con el objeto de evitar las variaciones de iluminación que se presentan durante el año y, al mismo tiempo, calcular los parámetros cinéticos. Los resultados del estudio para la Unidad I se muestran en las figuras 26, 27 y 28 para Q_{O_2} , SS y SSV; en la figura 29, 30 y 31 se presenta el comportamiento para las clorofilas, pH y temperatura; en las figuras 33, 34 y 35 se muestran los valores para cuenta total y dominancia de los organismos encontrados y, finalmente, en la figura 32 se presenta el comportamiento para el % de remoción.

Para la experimentación desarrollada en la Unidad III, los resultados se presentan en las figuras 36, 37 y 38 para Q_{O_2} , SS y SSV; en las figuras 39, 40 y 41 se presentan los resultados de clorofilas, pH y temperatura; en las figuras 43, 44 y 45 se muestran los resultados de la cuenta total y de la dominancia y en la figura 42 se presenta el porcentaje de remoción.

Para el cálculo de las velocidades específicas de crecimiento y el rendimiento para esta fase se usaron las gráficas de SSV de las figuras 21, 22 y 23 para la Unidad I y las gráficas de SSV de las figuras 36, 37 y 38 para la Unidad III. De igual forma se pudo calcular la velocidad específica de crecimiento para los organismos autótrofos median-

te el uso de las gráficas de clorofila-a mostradas en las figuras 24, 25 y 26 para la Unidad I y en las gráficas de clorofila a de las figuras 39, 40 y 41 para la Unidad III. Los resultados promedio obtenidos se muestran en las tablas 6 y 7.

A lo largo de esta fase se encontraron los siguientes organismos que a continuación se mencionan: *Nitzschia linearis*, *Nitzschia dissipata*, *Navicula subhamulata*, *Gomphonema parvulum*, *Mallomonas reginae*, *Encebia ipnii* y *Chlamydomonas sp.* (Ver Apéndice I).

Los organismos que tuvieron mayores porcentajes de dominancia, esta vez fueron: *E. ipnii*, *Nitzschia linearis* y *Chlamydomonas sp.*, cuyas variaciones poblacionales son mostradas en las figuras 33, 34 y 35 para la Unidad I y en la primera parte de las figuras 43, 44 y 45 para la Unidad III.

FASE III.

Para este experimento se usó la Unidad III, mostrándose en la segunda parte de las figuras 36, 37 y 38 los componentes de Q_{O_2} , SS y SSV; en las figuras 39, 40 y 41 se muestran clorofilas, el pH y la temperatura; en las figuras 43, 44 y 45 se presenta la cuenta total y la dominancia y finalmente en la figura 42 se presenta la eficiencia de remoción tanto para DQO como para SAAM.

Los resultados de velocidad específica de crecimiento y rendimiento fueron calculados de las gráficas de los SSV de las figuras 36, 37 y 38 y de las gráficas de clorofila-a de las figuras 39, 40 y 41. En las Tablas 8 y 9 se presentan los resultados.

Durante esta fase se identificaron los organismos siguientes: *Nitzschia linearis*, *Gomphonema parvulum*, *Mallomonas re*

ginae, *Chlamydomonas* sp. y *Eucebia ipnii*, presentando *E. ipnii*, *Chlamydomonas* sp. y *Nitzschia linearis* los mayores porcentajes de dominancia. Las variaciones ocasionadas por el detergente - pueden observarse en las figuras 33, 34 y 35 para la Unidad I y en la segunda parte de las figuras 43, 44 y 45 para la - Unidad III.

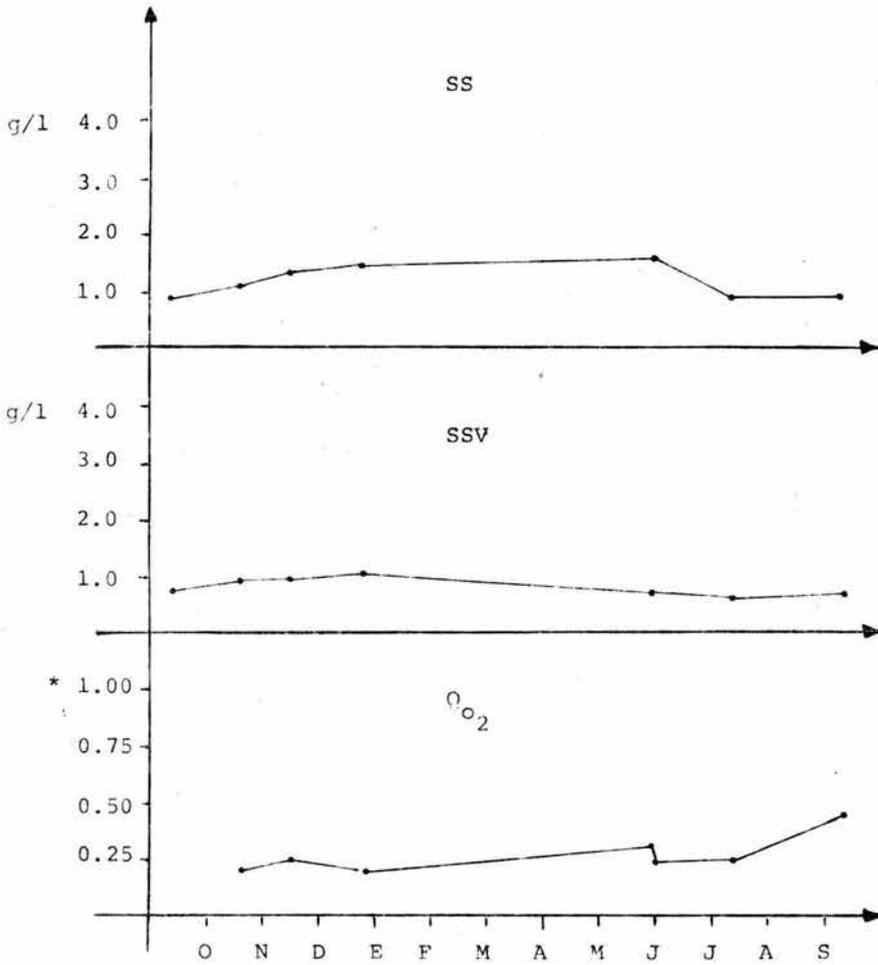
FIGURA No. 6

VARIACION ESTACIONAL DE LOS SOLIDOS SUSPENDIDOS,
SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES Y VELOCIDAD ESPECI
FICA DE RESPIRACION

UNIDAD I

LUZ NATURAL

CELDA 1-2

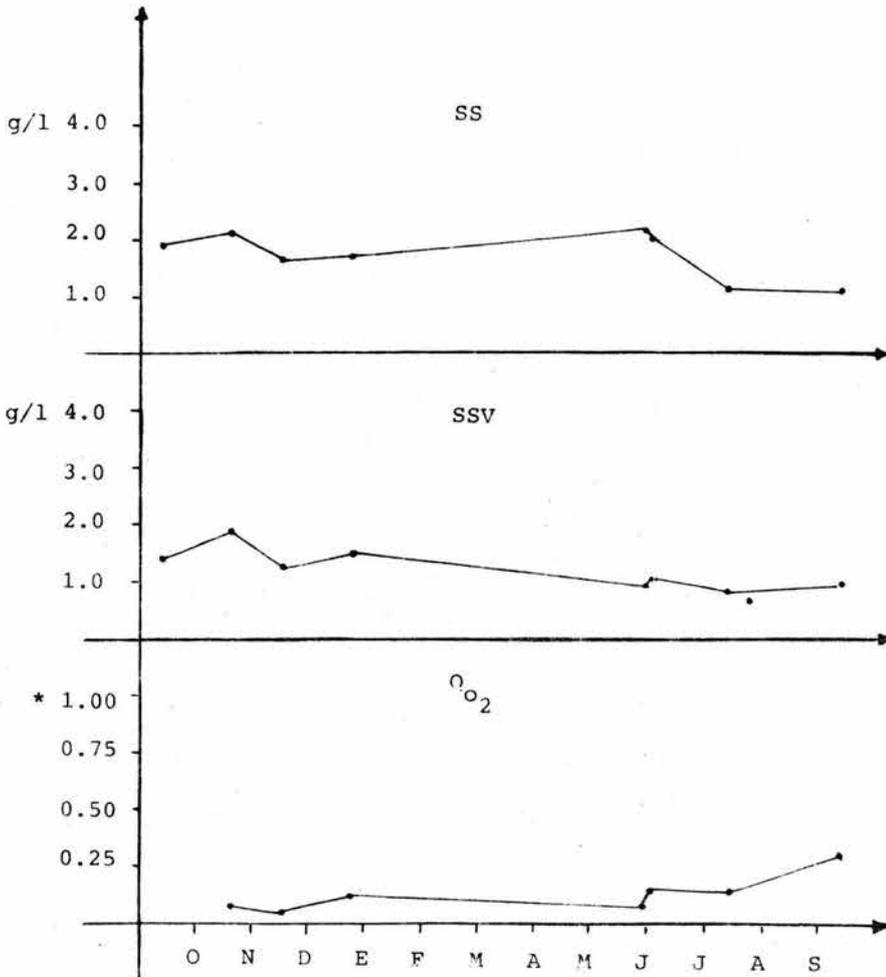


*mg de O₂/g(SSV)min.

FIGURA No. 7

VARIACION ESTACIONAL DE LOS SOLIDOS SUSPENDIDOS,
SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES Y VELOCIDAD ESPECI
FICA DE RESPIRACION

UNIDAD I LUZ NATURAL CELDA 3-4



* mg de O₂/g(SSV)min.

FIGURA No. 8

VARIACION ESTACIONAL DE LOS SOLIDOS SUSPENDIDOS,
SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES Y VELOCIDAD ESPECI

FICA DE RESPIRACION

UNIDAD I

LUZ NATURAL

CELDA 5

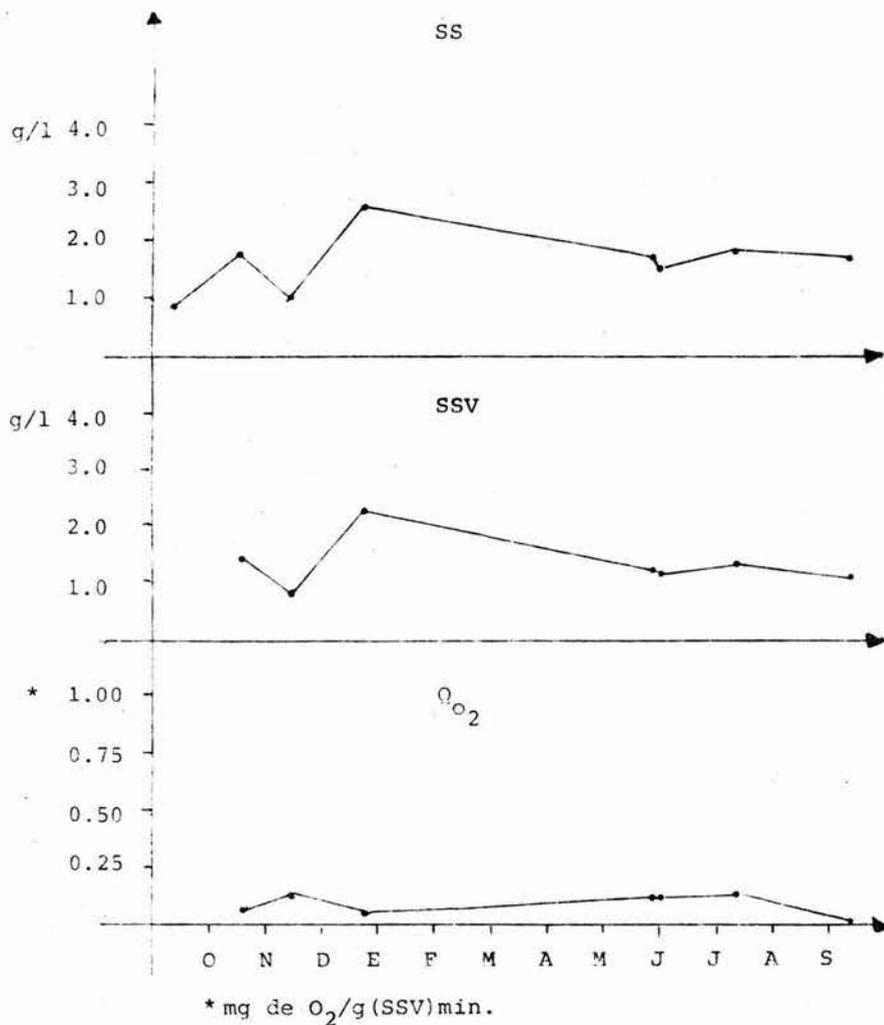


FIGURA No. 9

VARIACION ESTACIONAL DE LAS CLOROFILAS a, b y c,
INTENSIDAD LUMINOSA, pH Y LA TEMPERATURA
UNIDAD I LUZ NATURAL CELDA 1-2

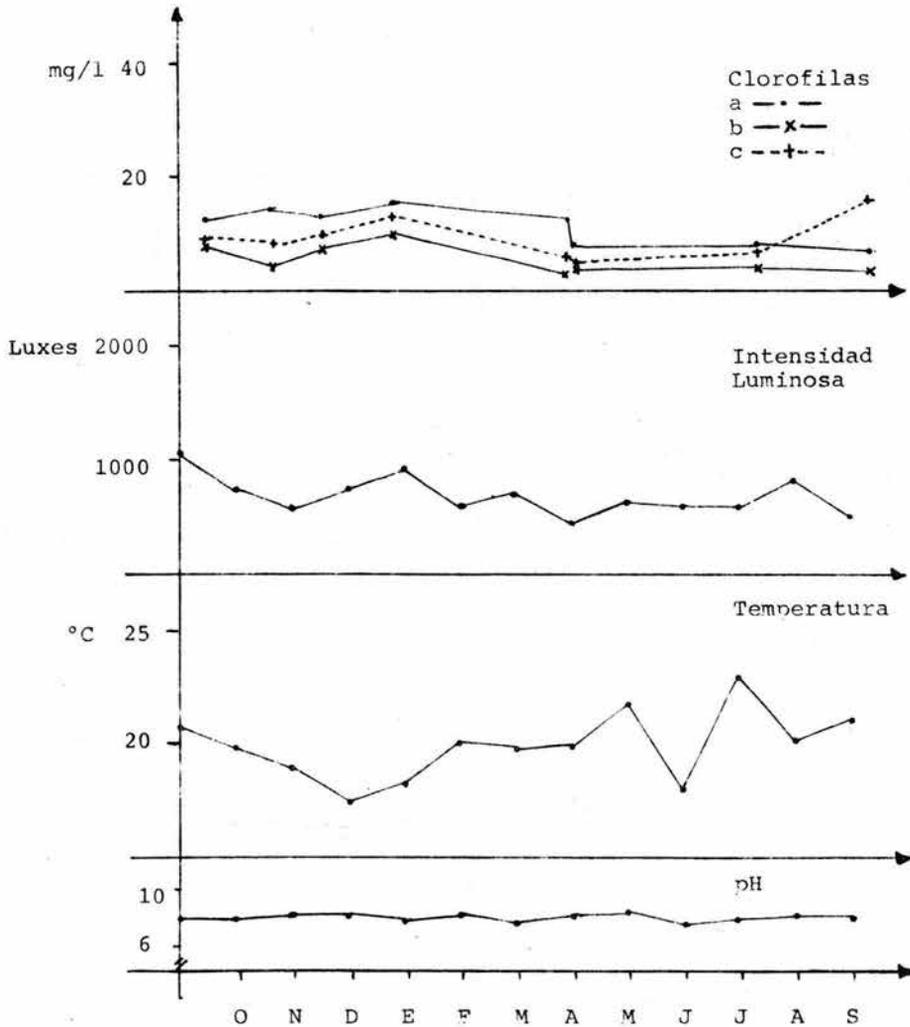


FIGURA No. 10

VARIACION ESTACIONAL DE LAS CLOROFILAS a, b y c,
INTENSIDAD LUMINOSA, pH Y LA TEMPERATURA
UNIDAD I LUZ NATURAL CELDA 3-4

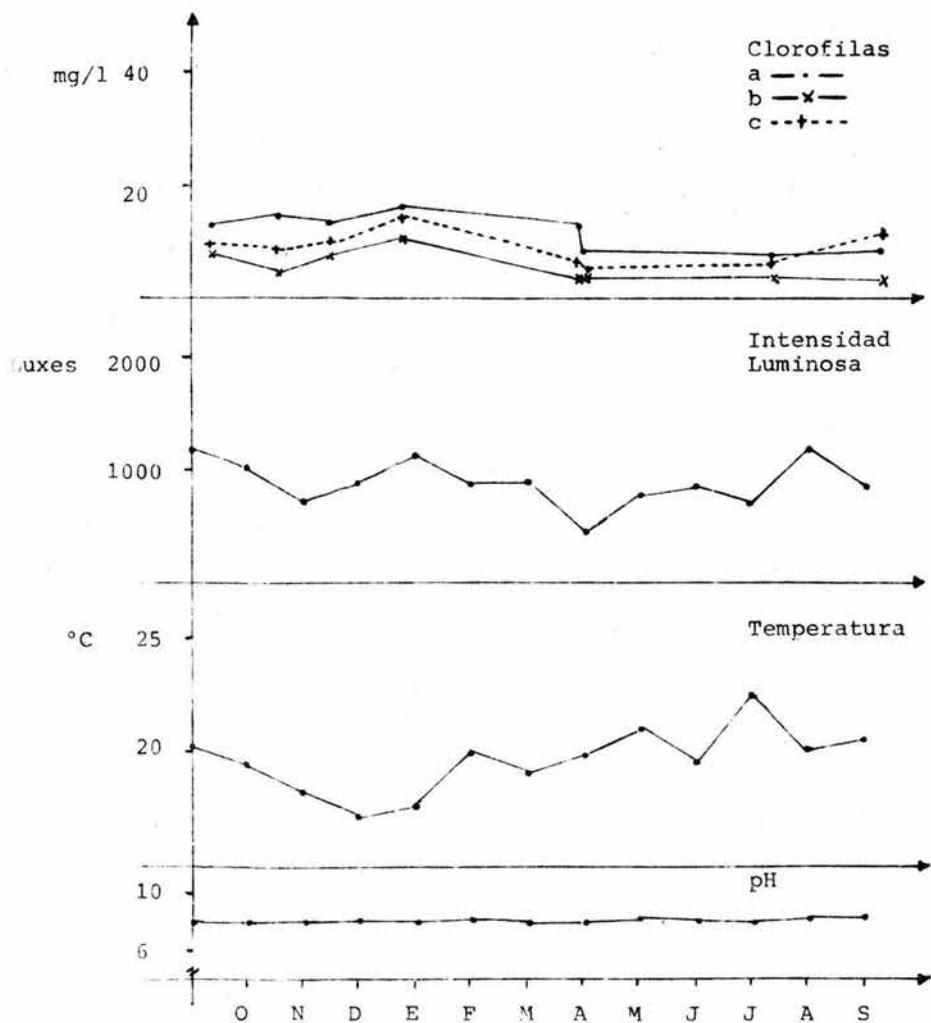


FIGURA No. 11

VARIACION ESTACIONAL DE LAS CLOROFILAS a, b y c,
INTENSIDAD LUMINOSA, pH Y LA TEMPERATURA

UNIDAD I

LUZ NATURAL

CELDA 5

Clorofilas

a —●—

b —x—

c —+—

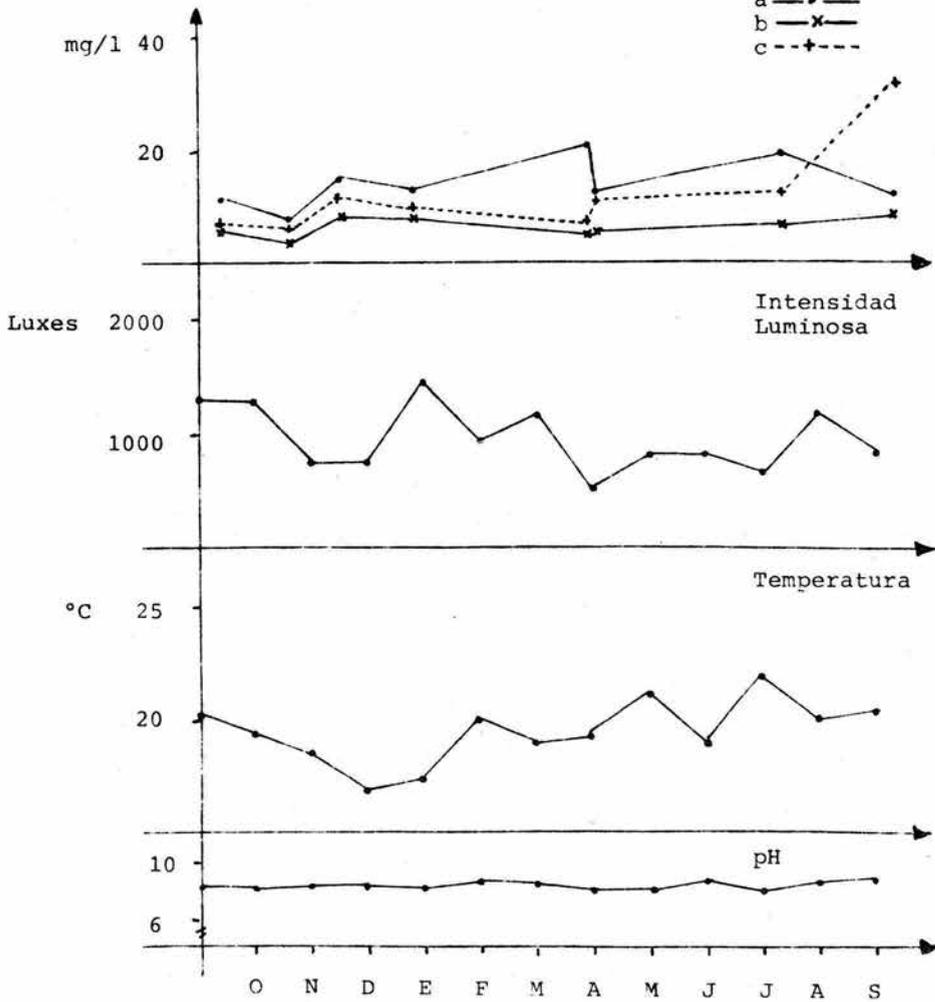


FIGURA No. 12
 VARIACION ESTACIONAL DEL PORCIENTO DE REMOCION
 DE MATERIA ORGANICA
 UNIDAD I LUZ NATURAL

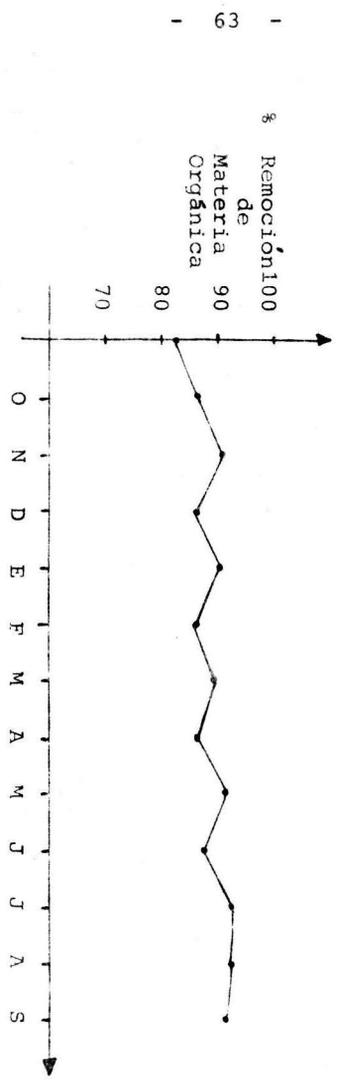


FIGURA No. 13

VARIACION ESTACIONAL DE LA CUENTA TOTAL Y
EL % DE DOMINANCIA DE LOS ORGANISMOS QUE
SE ENCONTRARON .

UNIDAD I LUZ NATURAL CELDA 1-2

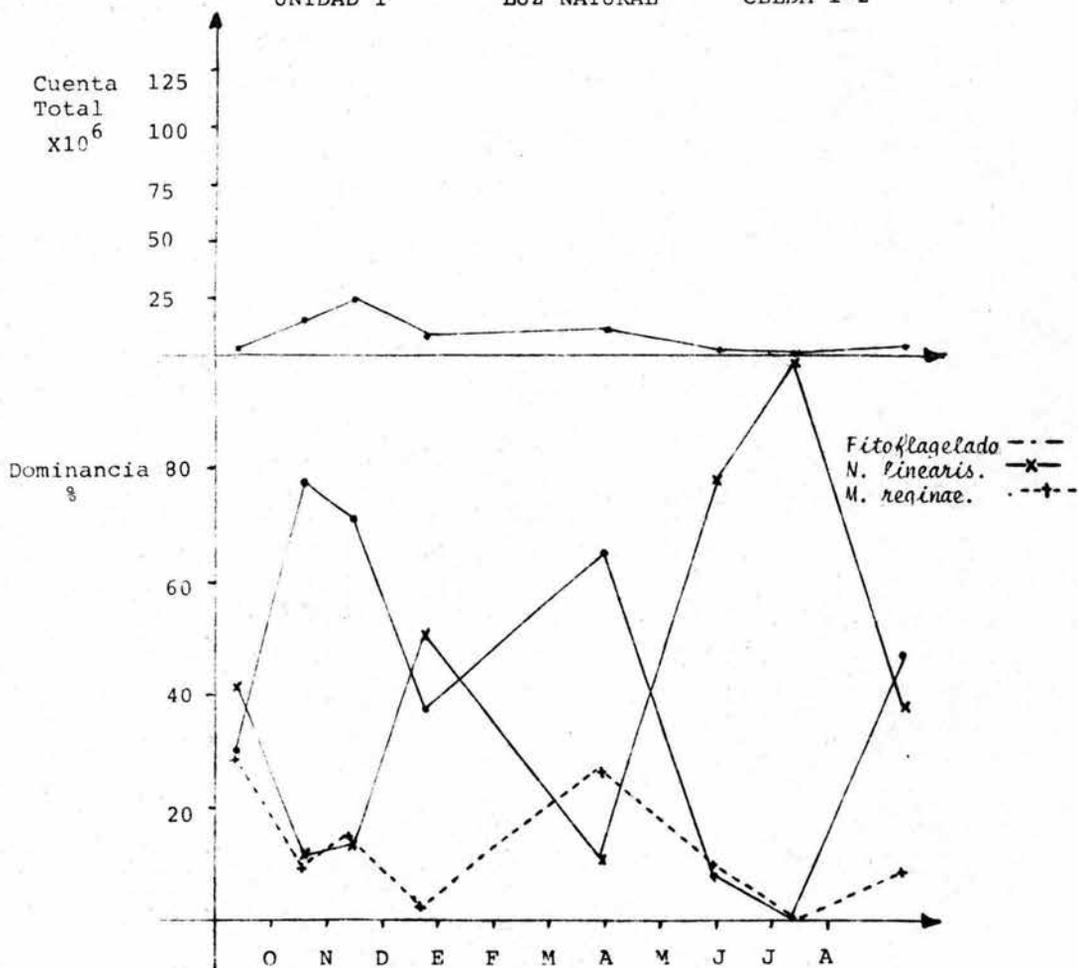


FIGURA No. 14

VARIACION ESTACIONAL DE LA CUENTA TOTAL Y
EL % DE DOMINANCIAS DE LOS ORGANISMOS QUE
SE ENCONTRARON .

UNIDAD I LUZ NATURAL CELDA 3-4

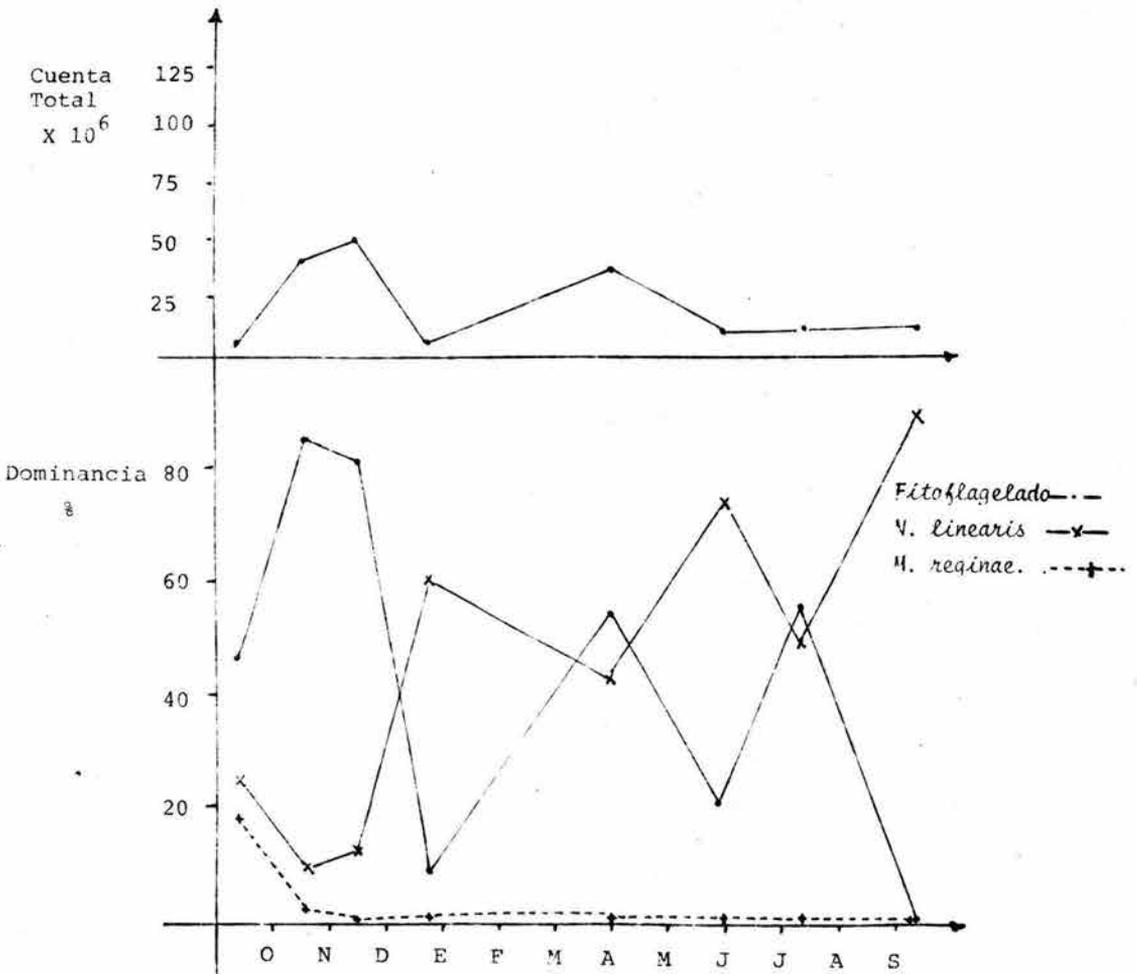


FIGURA No. 15

VARIACION ESTACIONAL DE LA CUENTA TOTAL Y
EL % DE DOMINANCIA DE LOS ORGANISMOS QUE
SE ENCONTRARON .

UNIDAD I LUZ NATURAL CELDA 5

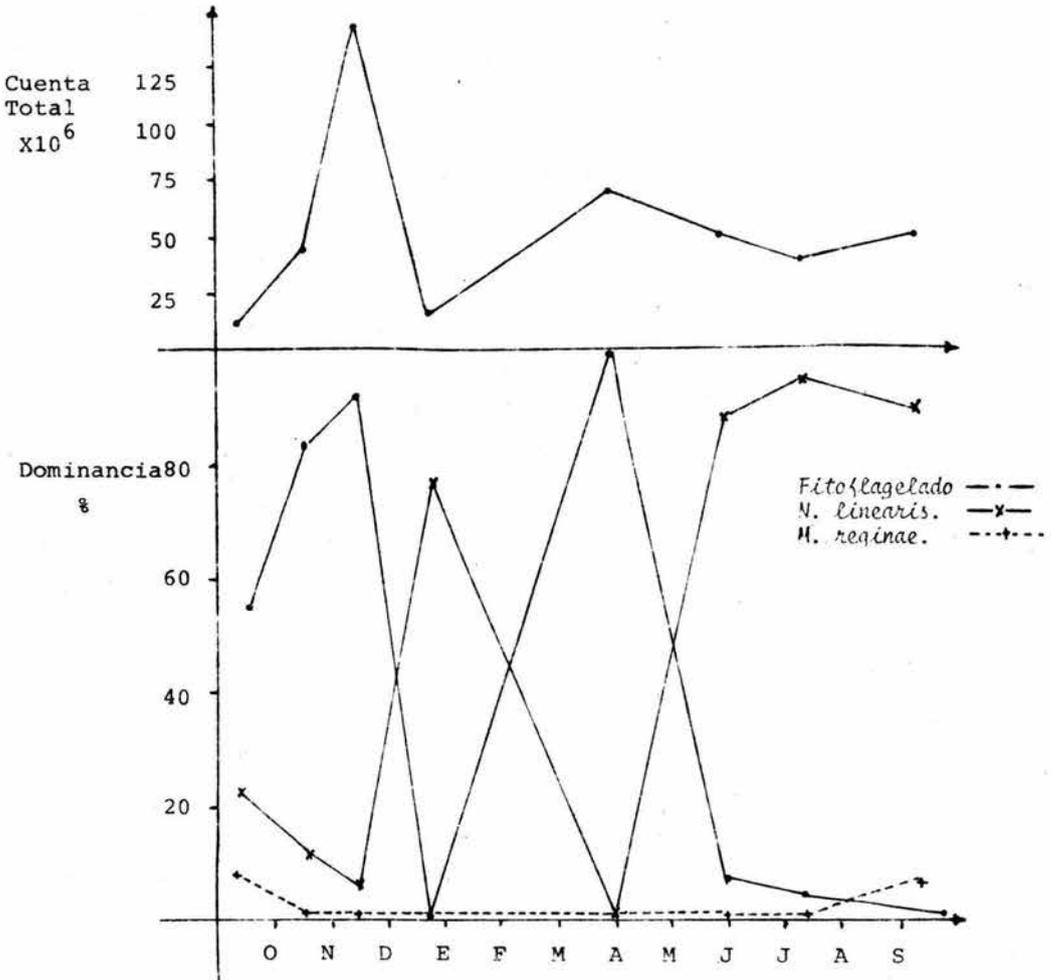


FIGURA No. 16

VARIACION ESTACIONAL DE LOS SOLIDOS SUSPENDIDOS,
SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES Y VELOCIDAD ESPECI
FICA DE RESPIRACION

UNIDAD II

LUZ NATURAL

CELDA 1-2

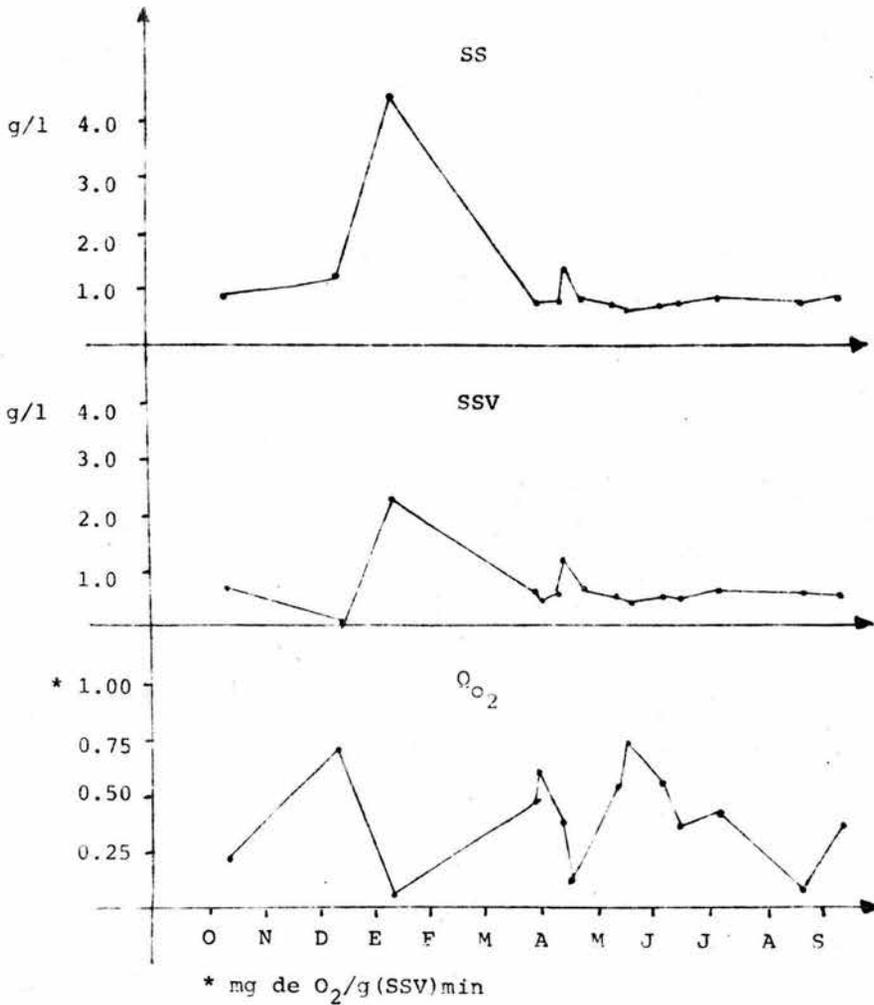


FIGURA No. 17

VARIACION ESTACIONAL DE LOS SOLIDOS SUSPENDIDOS,
SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES Y VELOCIDAD ESPECI
FICA DE RESPIRACION

UNIDAD II

LUZ NATURAL

CELDA 3-4

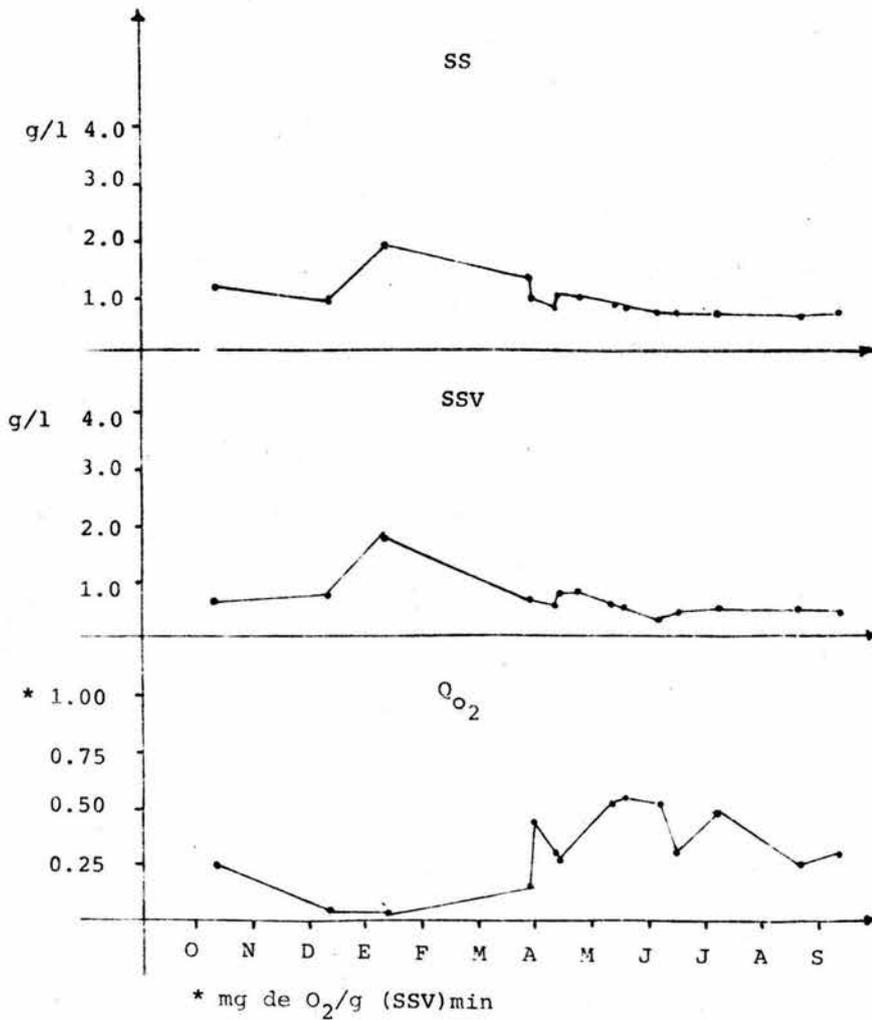


FIGURA No. 18

VARIACION ESTACIONAL DE LOS SOLIDOS SUSPENDIDOS,
SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES Y VELOCIDAD ESPECI
FICA DE RESPIRACION

UNIDAD II LUZ NATURAL CELDA 5

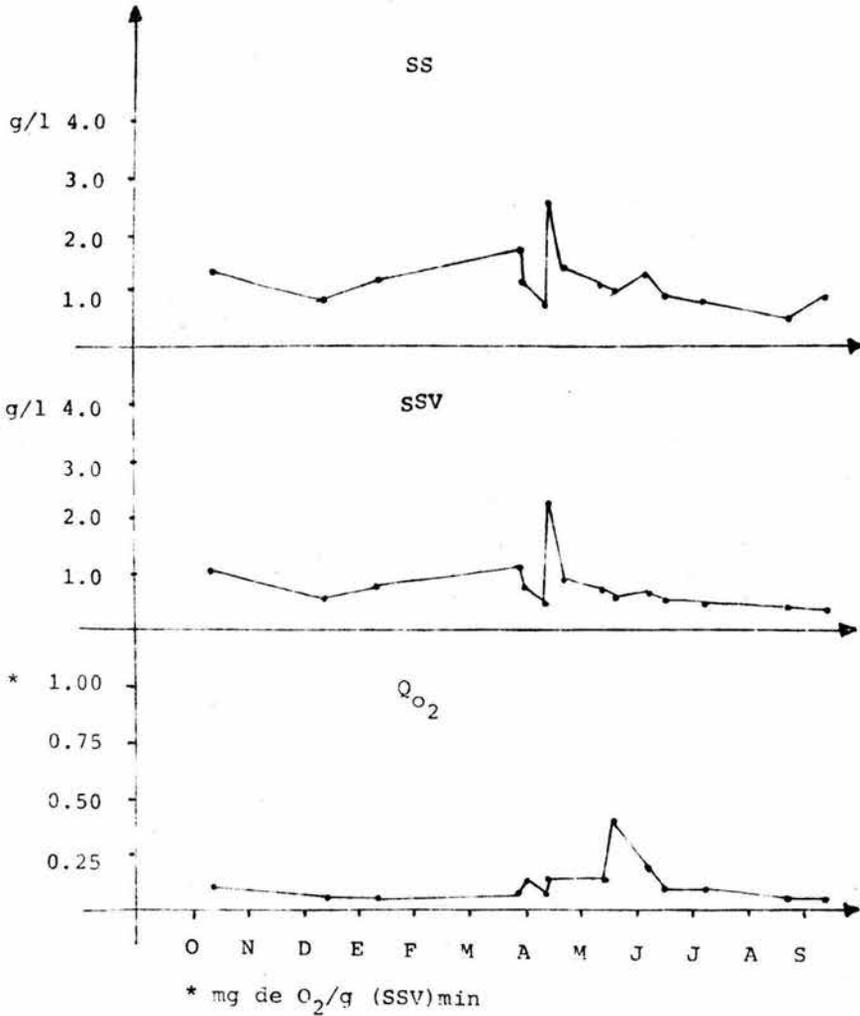


FIGURA No. 19

VARIACION ESTACIONAL DE LAS CLOROFILAS a, b y c,
INTENSIDAD LUMINOSA, pH Y LA TEMPERATURA

UNIDAD II

LUZ NATURAL

CELDA 1-2

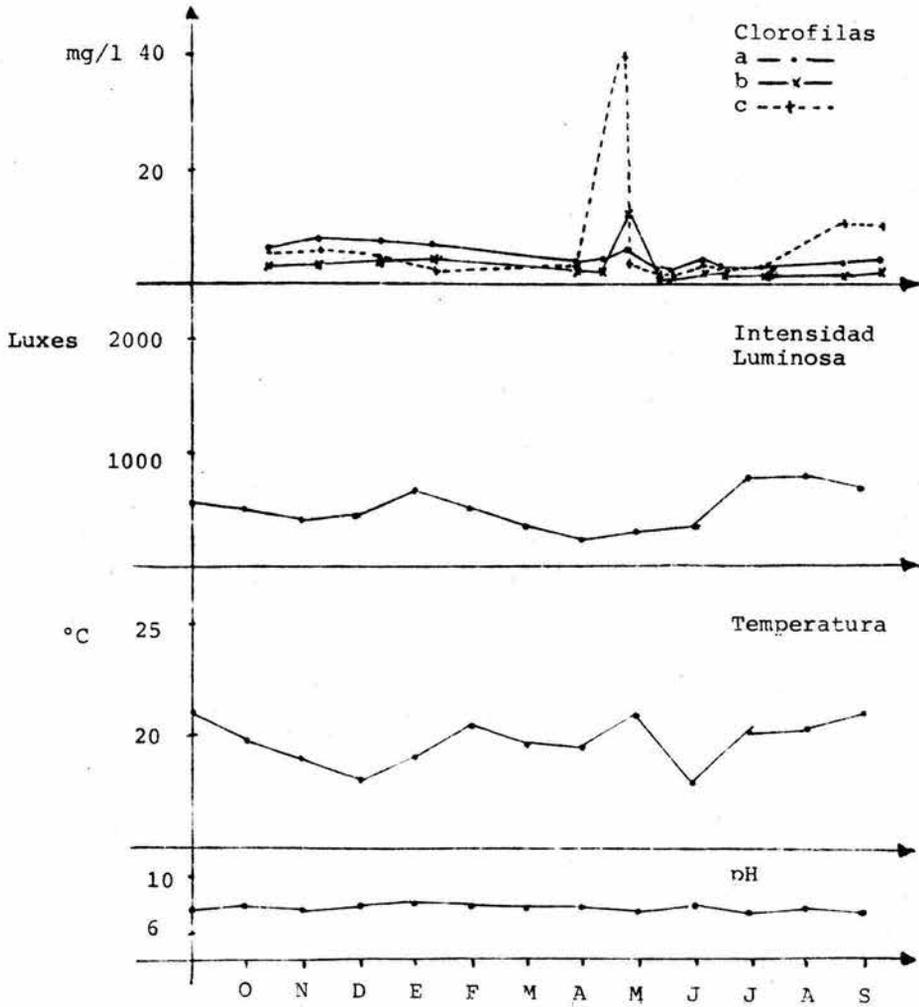


FIGURA No. 20

VARIACION ESTACIONAL DE LAS CLOROFILAS a, b y c,
INTENSIDAD LUMINOSA, pH Y LA TEMPERATURA

UNIDAD II LUZ NATURAL CELDA 3-4

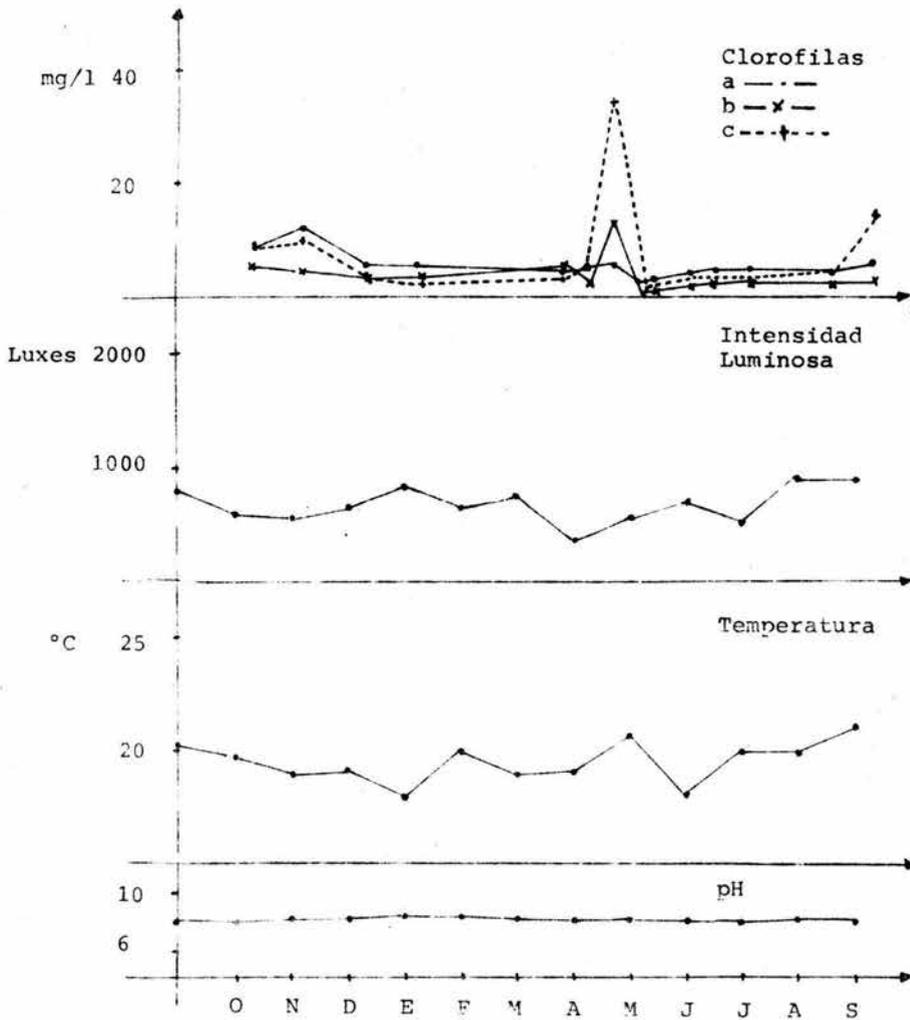


FIGURA No. 21

VARIACION ESTACIONAL DE LAS CLOROFILAS a, b y c,
INTENSIDAD LUMINOSA, pH Y LA TEMPERATURA

UNIDAD II

LUZ NATURAL

CELDA 5

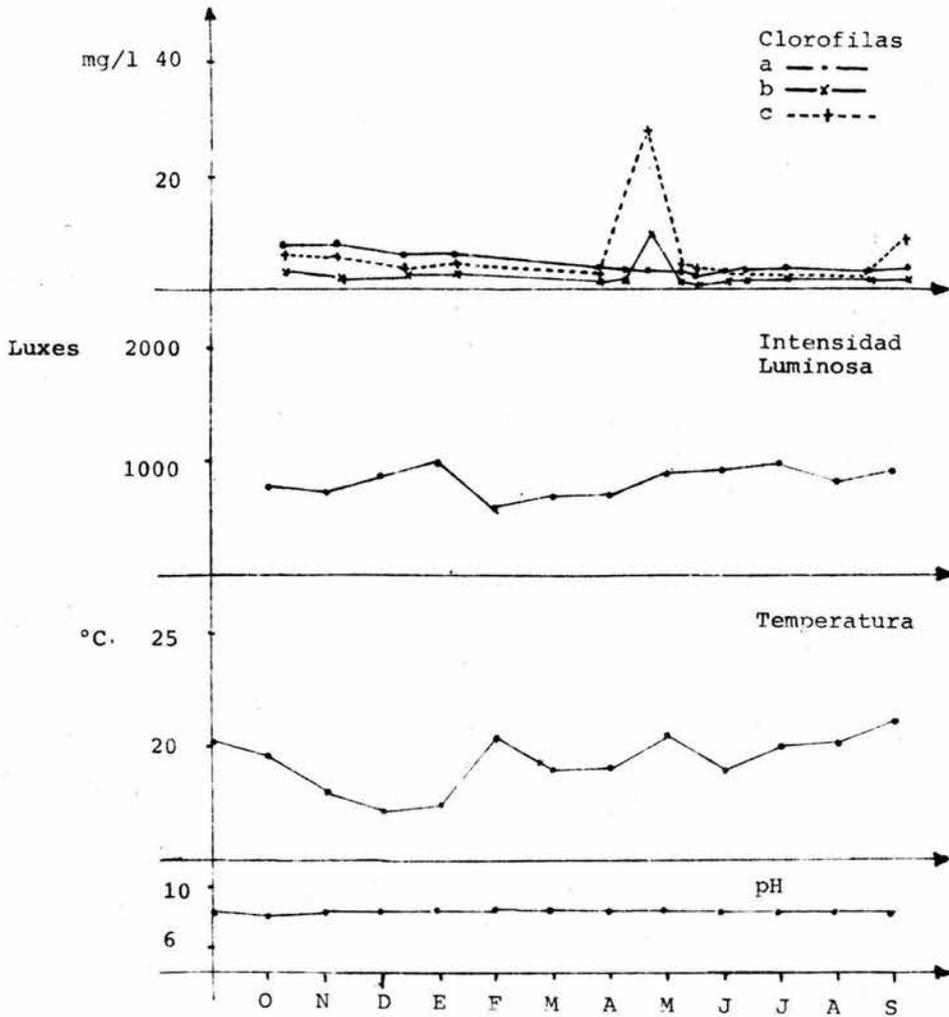


FIGURA No. 22
VARIACION ESTACIONAL DEL PORCIENTO DE REMOCION
DE MATERIA ORGANICA
UNIDAD II
LUZ NATURAL

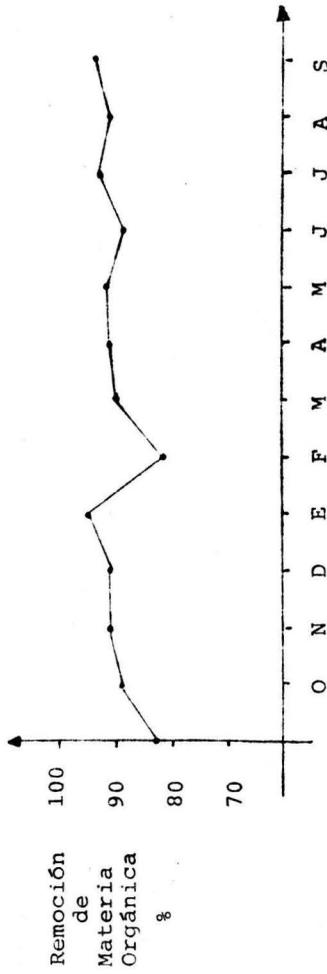


FIGURA No. 23

VARIACION ESTACIONAL DE LA CUENTA TOTAL Y
EL % DE DOMINANCIA DE LOS ORGANISMOS QUE
SE ENCONTRARON

UNIDAD II LUZ NATURAL CELDA 1-2

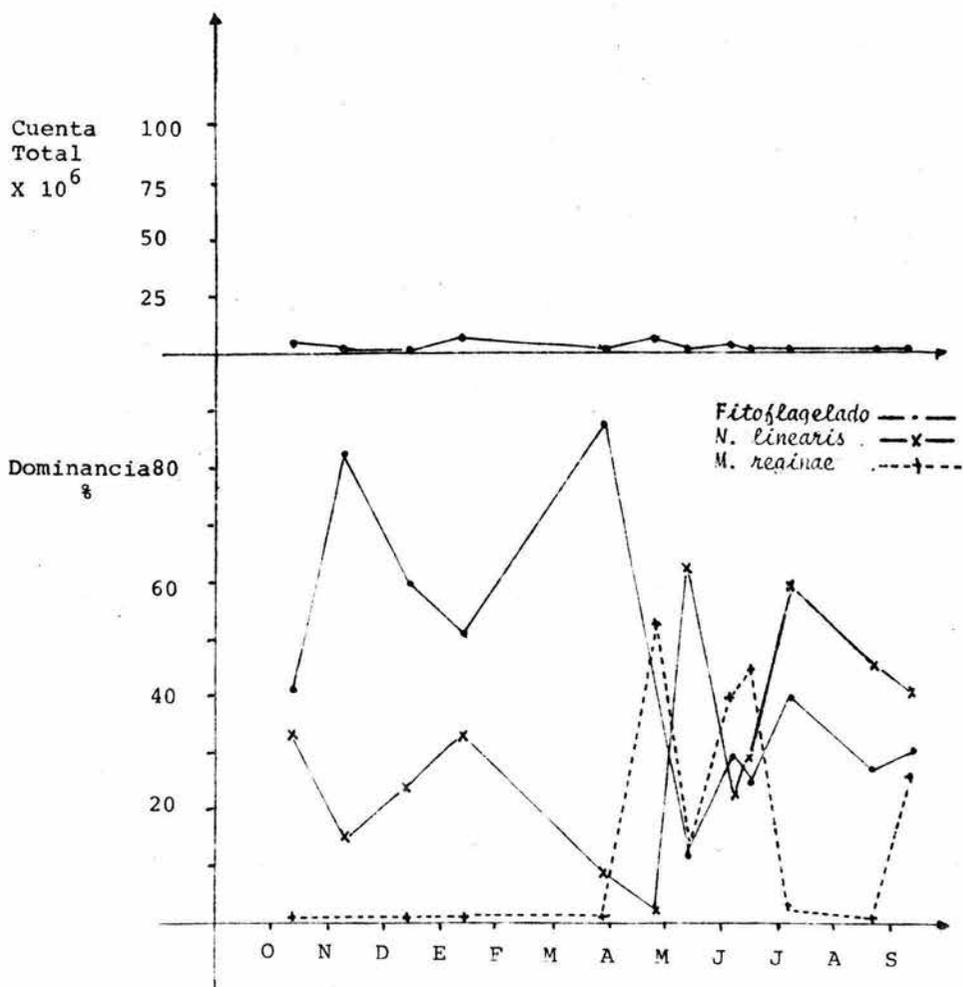


FIGURA No. 24

VARIACION ESTACIONAL DE LA CUENTA TOTAL Y
EL % DE DOMINANCIA DE LOS ORGANISMOS QUE
SE ENCONTRARON

UNIDAD II LUZ NATURAL CELDA 3-4

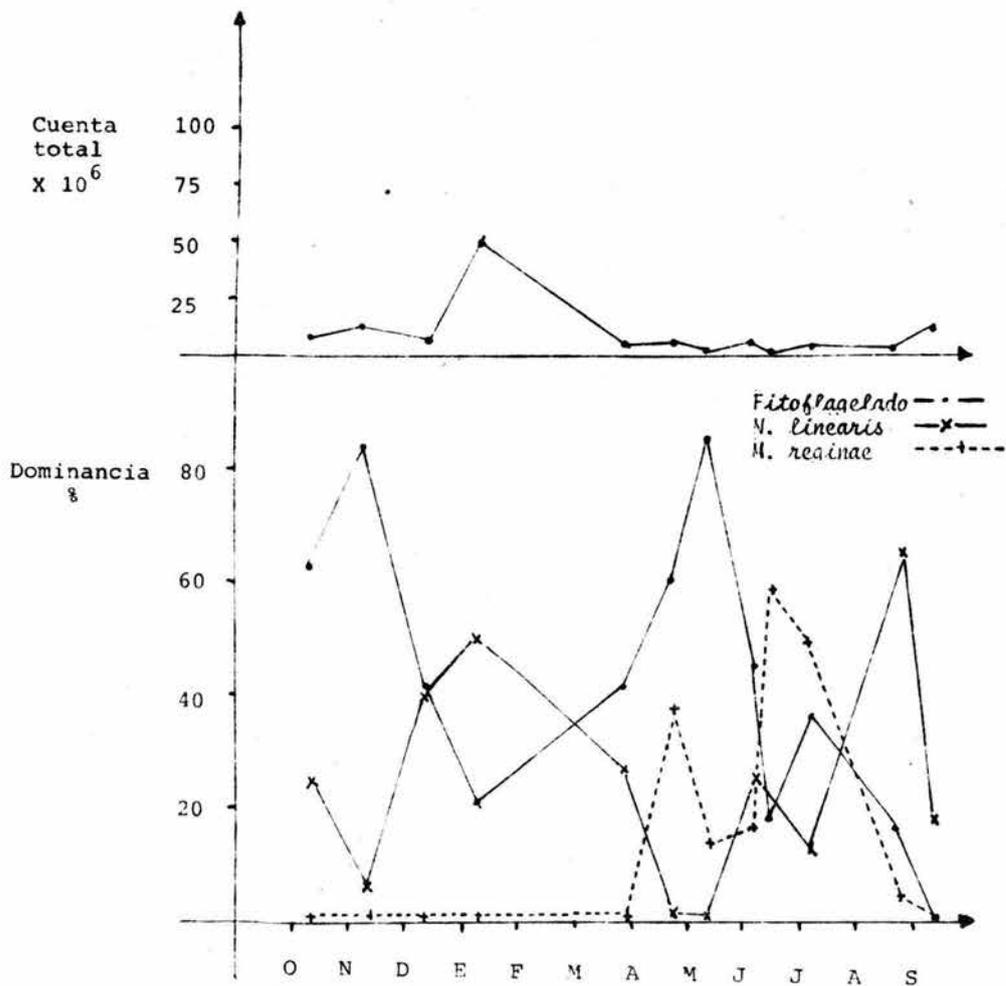


FIGURA No. 25

VARIACION ESTACIONAL DE LA CUENTA TOTAL Y
EL % DE DOMINANCIA DE LOS ORGANISMOS QUE
SE ENCONTRARON

UNIDAD II LUZ NATURAL CELDA 5

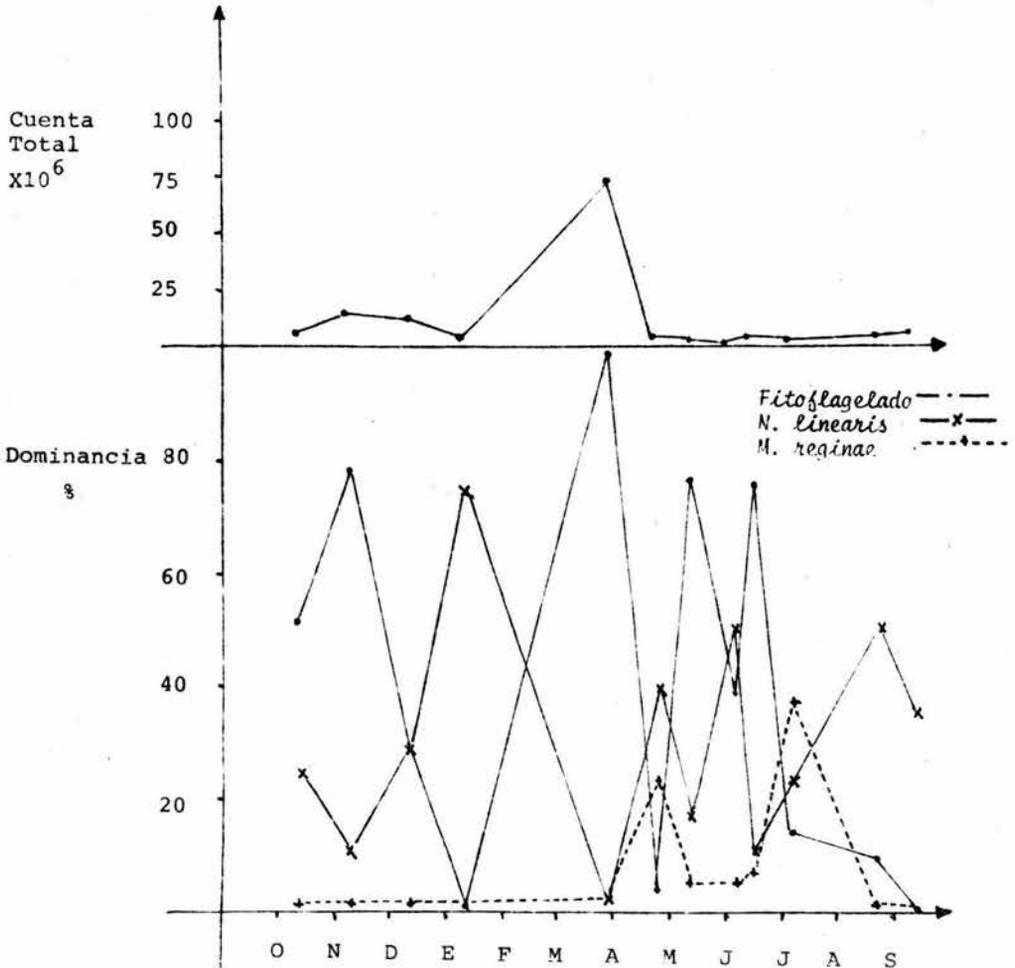


FIGURA No. 26

VARIACION DE LOS SOLIDOS SUSPENDIDOS, SOLIDOS
SUSPENDIDOS VOLATILES Y VELOCIDAD ESPECIFICA
DE RESPIRACION EN UNA UNIDAD CON ILUMINACION
CONTROLADA

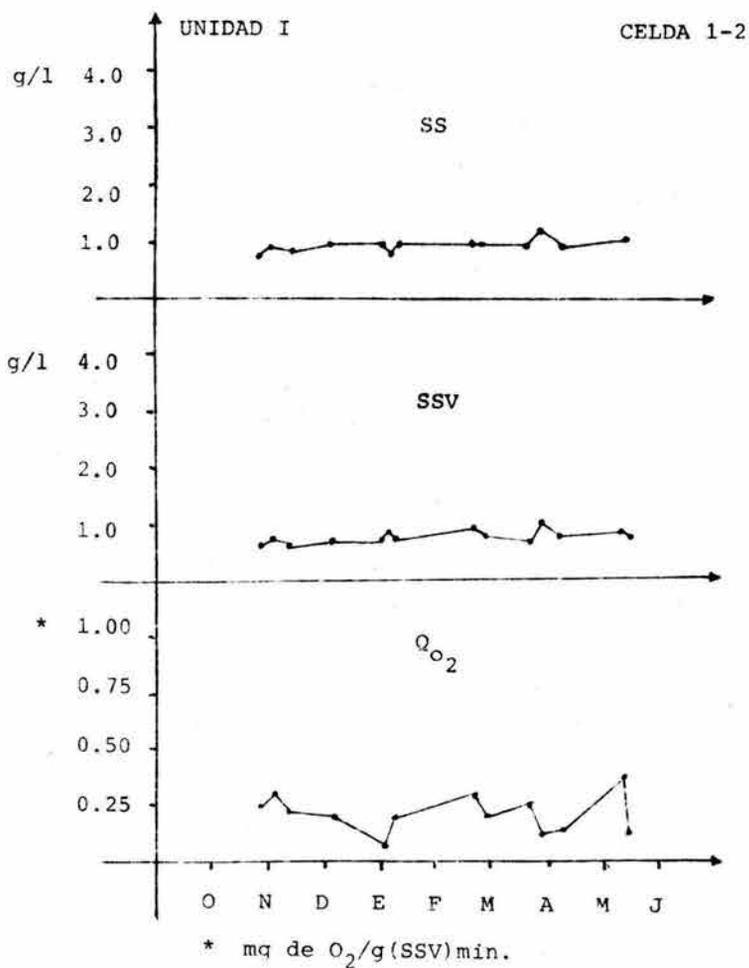


FIGURA No. 27

VARIACION DE LOS SOLIDOS SUSPENDIDOS, SOLIDOS
SUSPENDIDOS VOLATILES Y VELOCIDAD ESPECIFICA
DE RESPIRACION EN UNA UNIDAD CON ILUMINACION
CONTROLADA

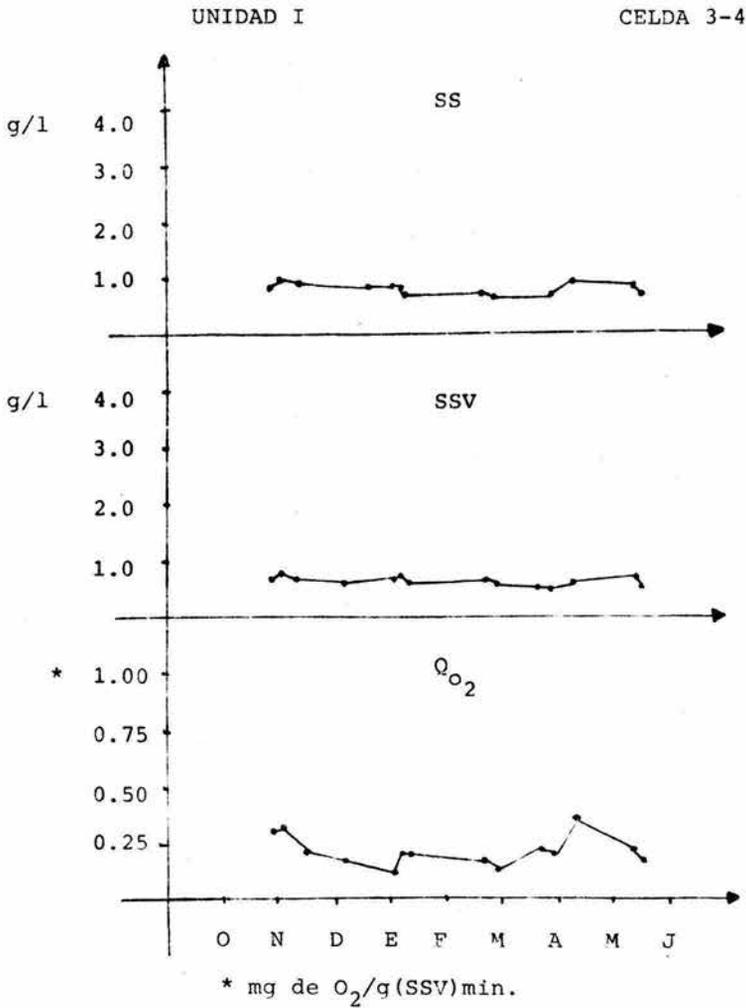


FIGURA No. 28

VARIACION DE LOS SOLIDOS SUSPENDIDOS, SOLIDOS
SUSPENDIDOS VOLATILES Y VELOCIDAD ESPECIFICA
DE RESPIRACION EN UNA UNIDAD CON ILUMINACION
CONTROLADA

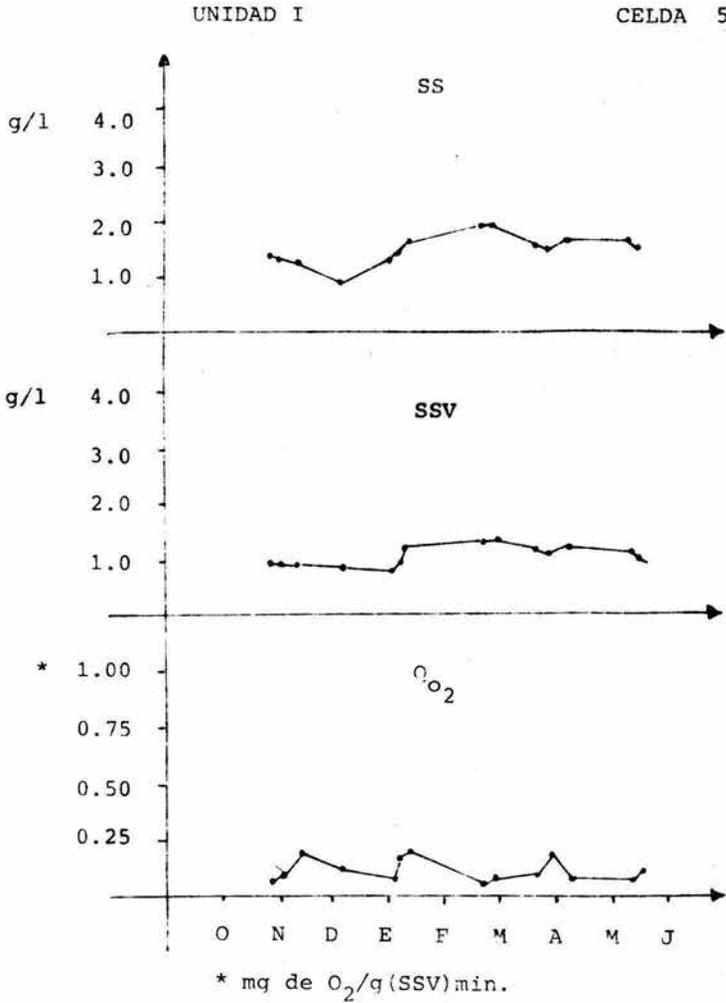


FIGURA No. 29

VARIACION DE LAS CLOROFILAS a, b y c, EL pH Y LA
TEMPERATURA EN UNA UNIDAD CON ILUMINACION
CONTROLADA

UNIDAD I

CELDA 1-2

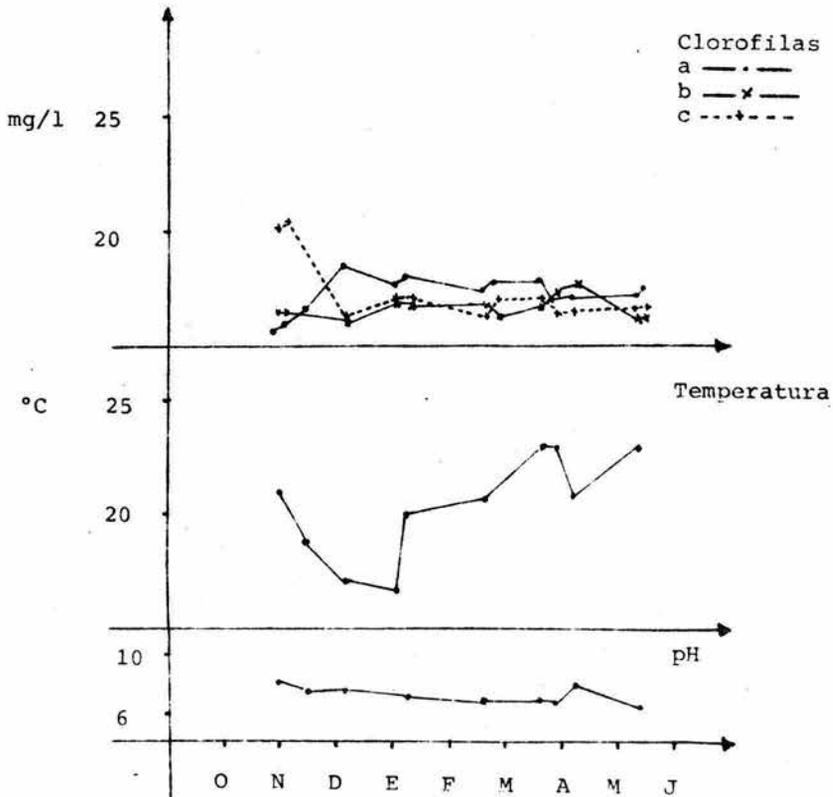


FIGURA No. 30

VARIACION DE LAS CLCROFILAS a, b y c, EL pH Y LA
TEMPERATURA EN UNA UNIDAD CON ILUMINACION
CONTROLADA

UNIDAD I

CELDA 3-4

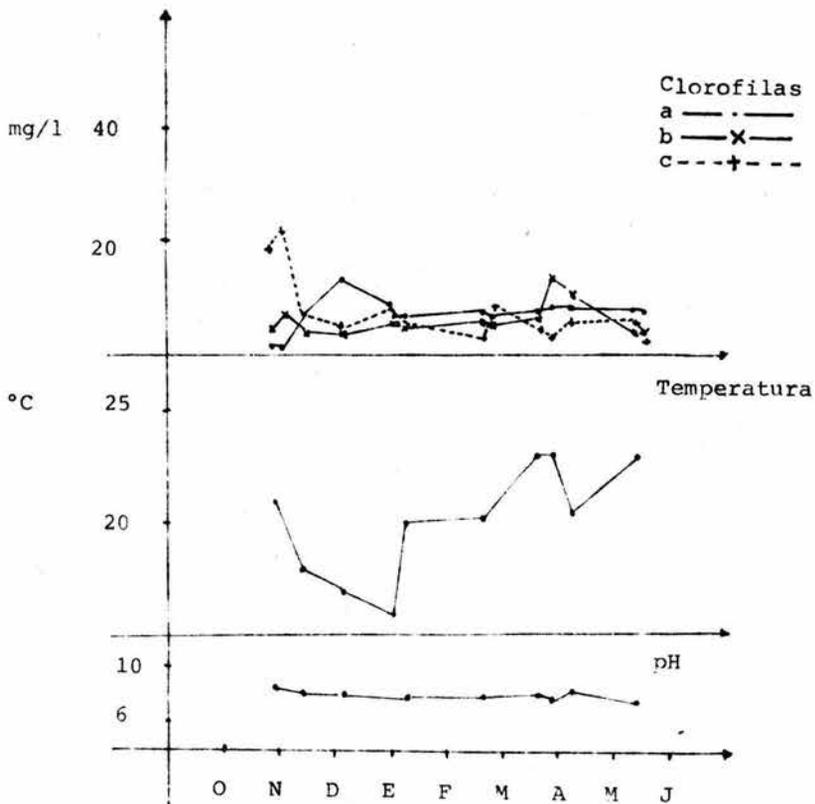


FIGURA No. 31

VARIACION DE LAS CLOROFILAS a, b y c, EL pH Y LA
TEMPERATURA EN UNA UNIDAD CON ILUMINACION
CONTROLADA

UNIDAD I

CELDA 5

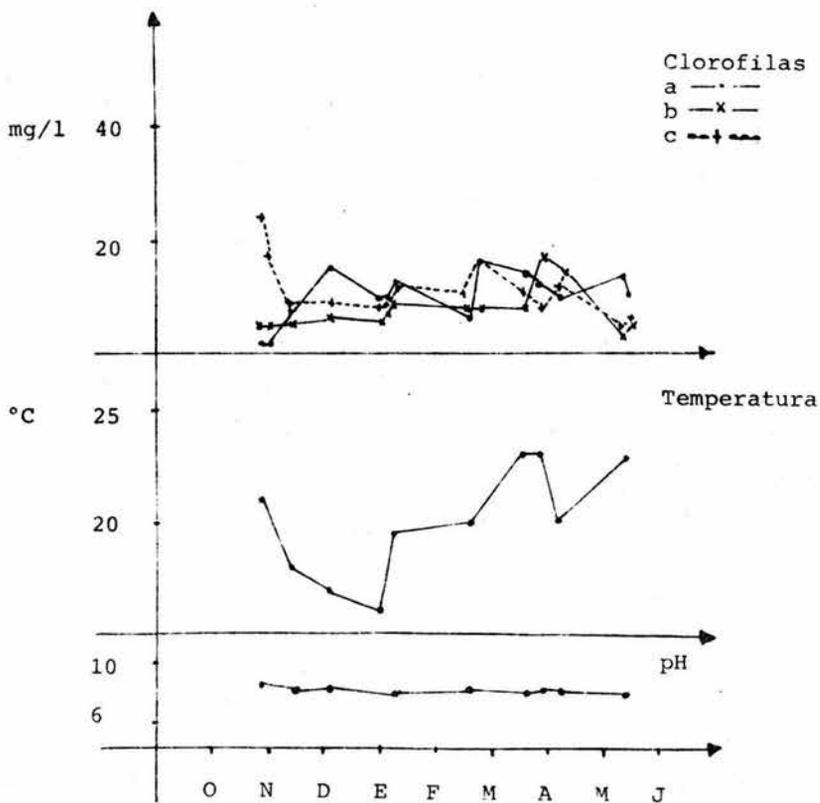
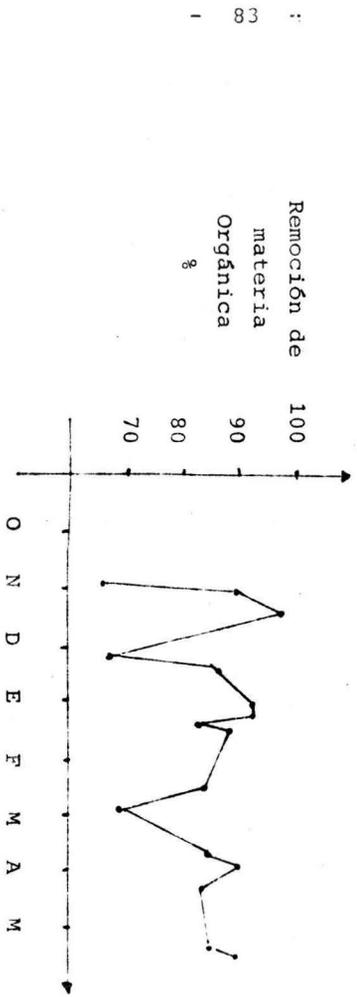


FIGURA No. 32

VARIACION DEL PORCIENTO DE REMOCION EN UNA
UNIDAD CON ILUMINACION CONTROLADA
UNIDAD I



:
83
1

FIGURA No. 33

VARIACION DE LA CUENTA TOTAL Y EL PORCIENTO DE
DOMINANCIA EN UNA UNIDAD CON ILUMINACION
CONTROLADA

UNIDAD I

CELDA 1-2

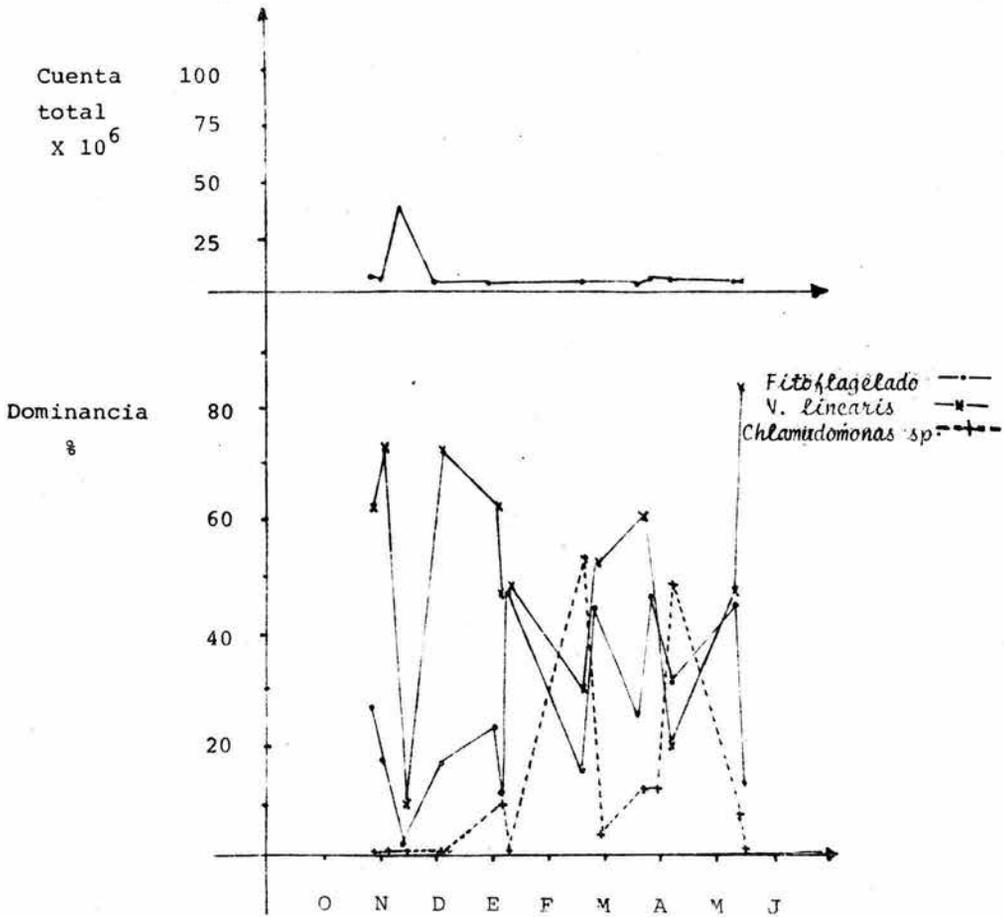


FIGURA No. 34

VARIACION DE LA CUENTA TOTAL Y EL PORCIENTO DE
DOMINANCIA EN UNA UNIDAD CON ILUMINACION
CONTROLADA

UNIDAD I

CELDA 3-4

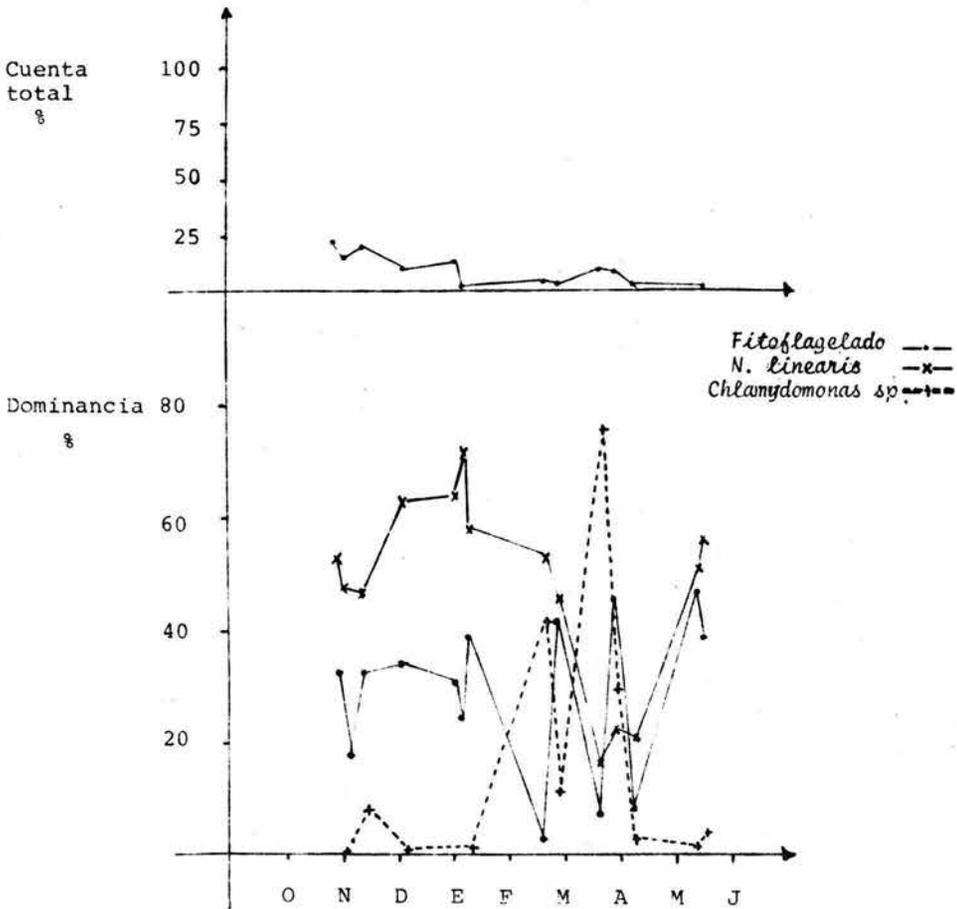


FIGURA No. 35

VARIACION DE LA CUENTA TOTAL Y EL PORCIENTO DE
DOMINANCIA EN UNA UNIDAD CON ILUMINACION
CONTROLADA

UNIDAD I

CELDA 5

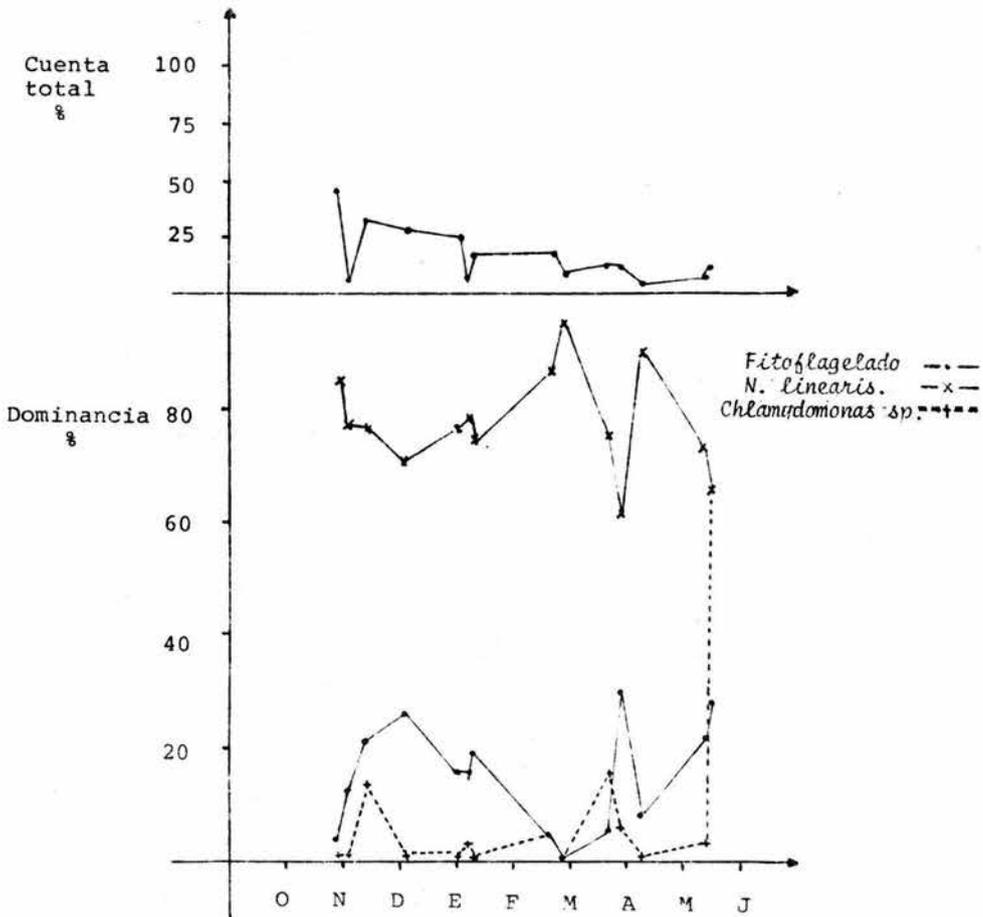
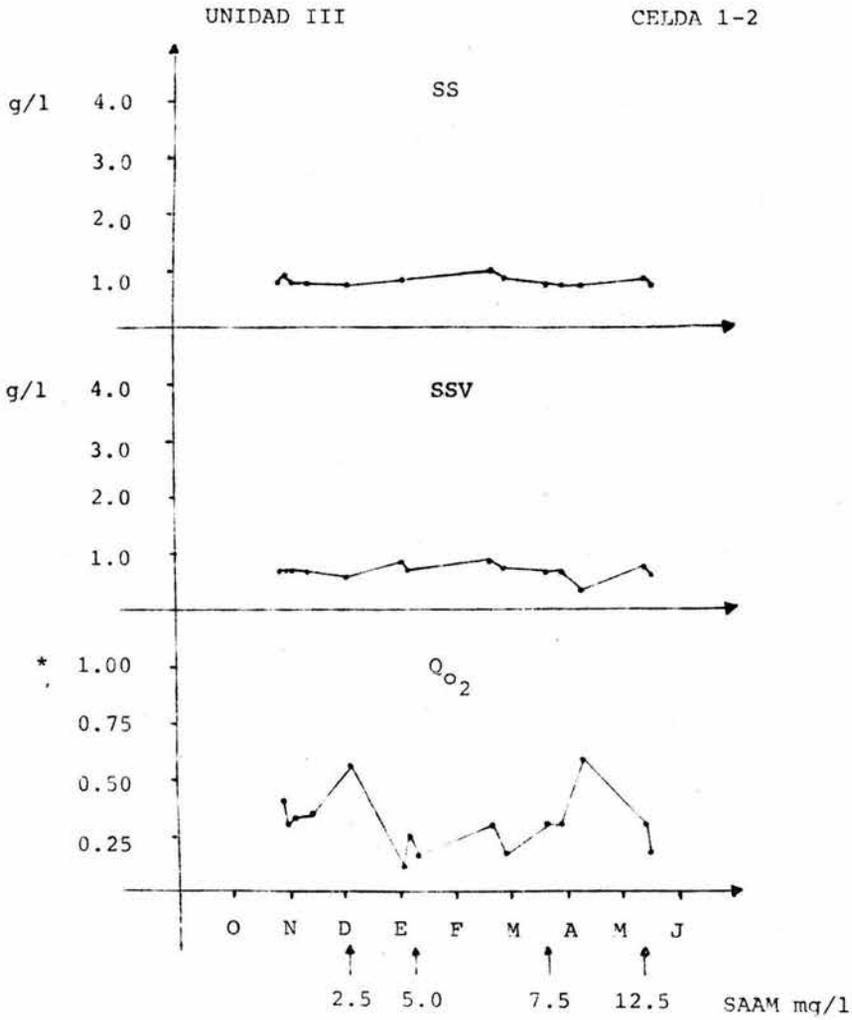


FIGURA No. 36

VARIACION DE LOS SOLIDOS SUSPENDIDOS, SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES Y VELOCIDAD ESPECIFICA DE RESPIRACION EN UNA UNIDAD CON ILUMINACION CONTROLADA Y DETERGENTE.



* mg de O₂/g(SSV)min.

FIGURA No. 37

VARIACION DE LOS SOLIDOS SUSPENDIDOS, SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES Y VELOCIDAD ESPECIFICA DE RESPIRACION EN UNA UNIDAD CON ILUMINACION CONTROLADA Y DETERGENTE.

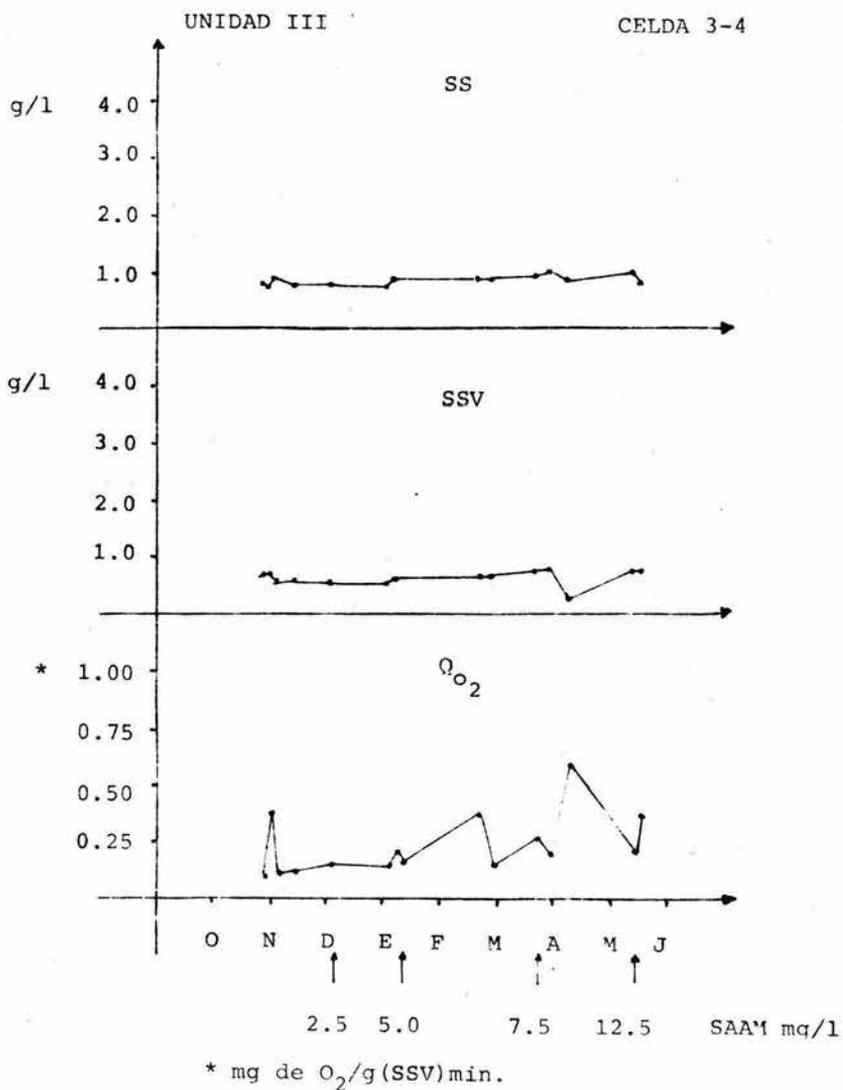


FIGURA No. 38

VARIACION DE LOS SOLIDOS SUSPENDIDOS, SOLIDOS
SUSPENDIDOS VOLATILES Y VELOCIDAD ESPECIFICA
DE RESPIRACION EN UNA UNIDAD CON ILUMINACION
CONTROLADA Y DETERGENTE

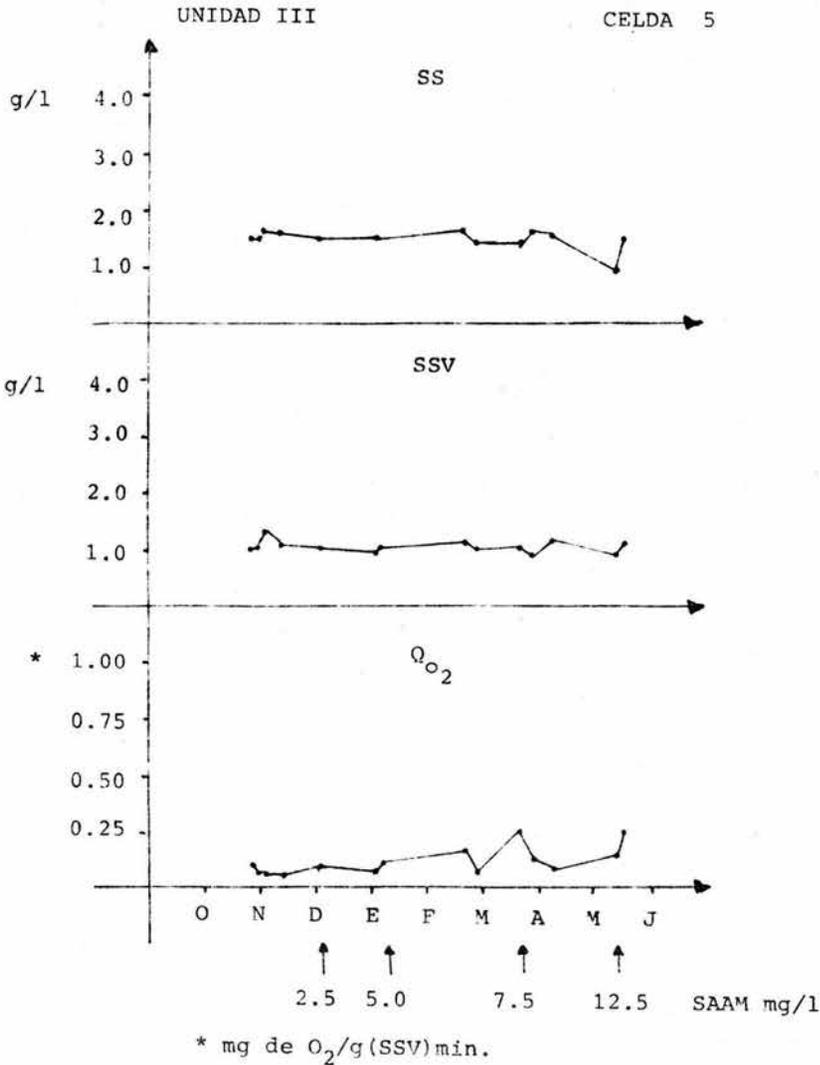


FIGURA No. 39

VARIACION DE LAS CLOROFILAS a, b y c, EL pH Y LA
TEMPERATURA EN UNA UNIDAD CON ILUMINACION
CONTROLADA Y DETERGENTE

UNIDAD III

CELDA 1-2

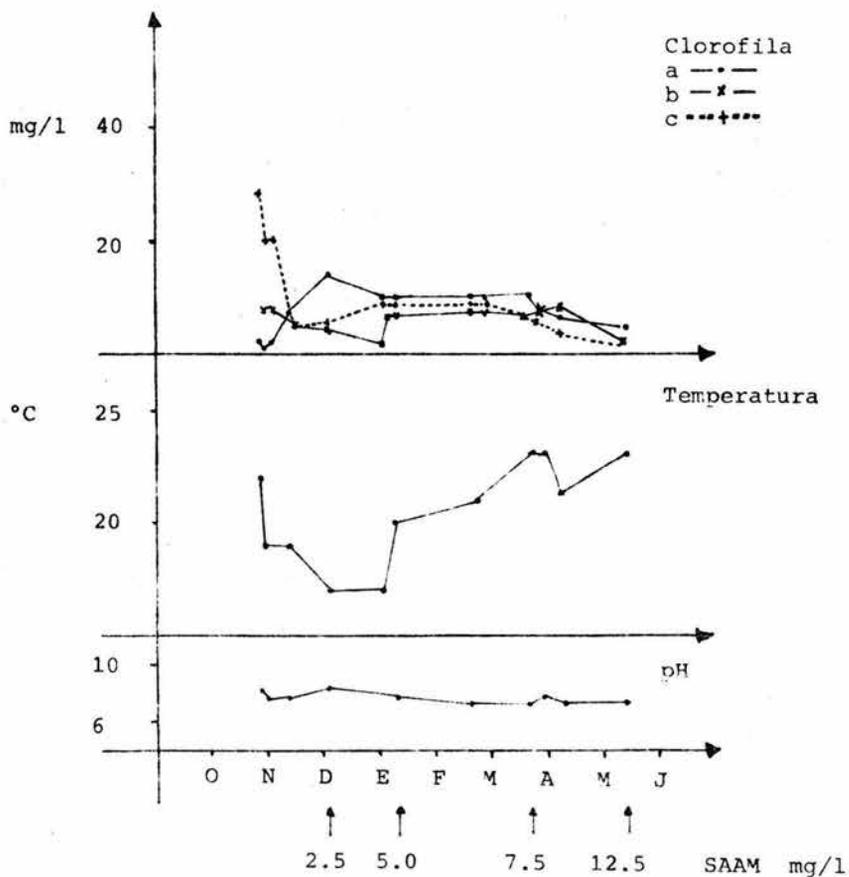


FIGURA No. 40

VARIACION DE LAS CLOROFILAS a, b y c, EL pH Y LA
TEMPERATURA EN UNA UNIDAD CON ILUMINACION
CONTROLADA Y DETERGENTE

UNIDAD III

CELDA 3-4

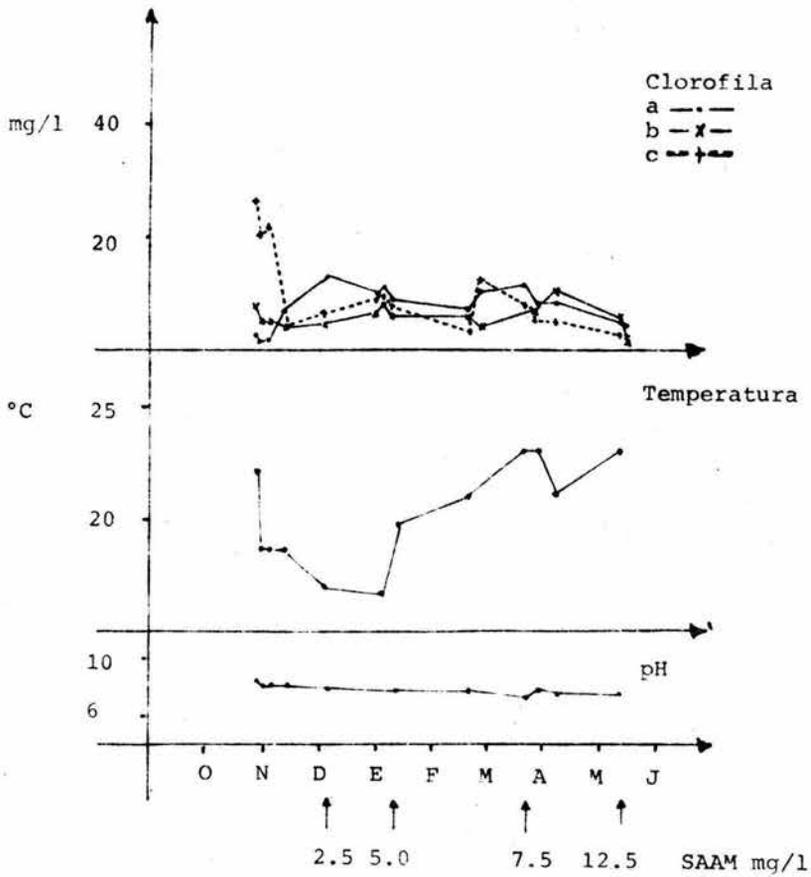


FIGURA No. 41

VARIACION DE LAS CLOROFILAS a, b y c, EL pH Y LA
TEMPERATURA EN UNA UNIDAD CON ILUMINACION
CONTROLADA Y DETERGENTE

UNIDAD III

CELDA 5

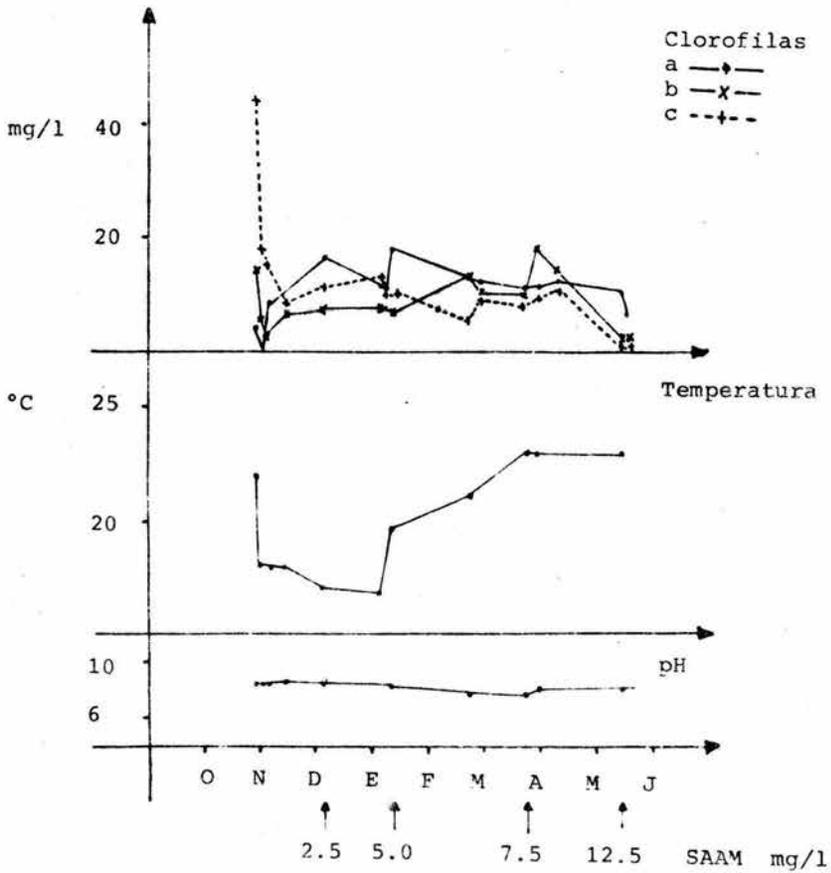


FIGURA No. 42

VARIACION DE LA EFICIENCIA DE REMOCION DE LA
MATERIA ORGANICA Y DETERGENTE EN UNA UNIDAD
CON ILUMINACION CONTROLADA Y DETERGENTE
UNIDAD III

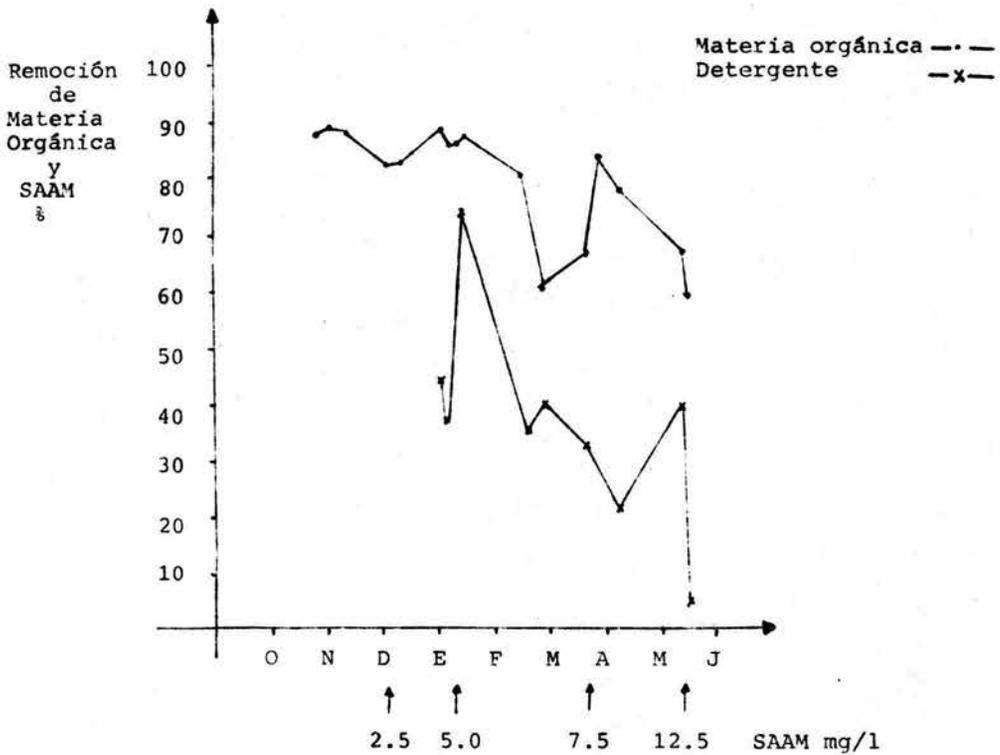


FIGURA No. 43

VARIACION DE LA CUENTA TOTAL Y EL PORCIENTO DE
DOMINANCIA EN UNA UNIDAD CON ILUMINACION
CONTROLADA Y DETERGENTE

UNIDAD III

CELDA 1-2

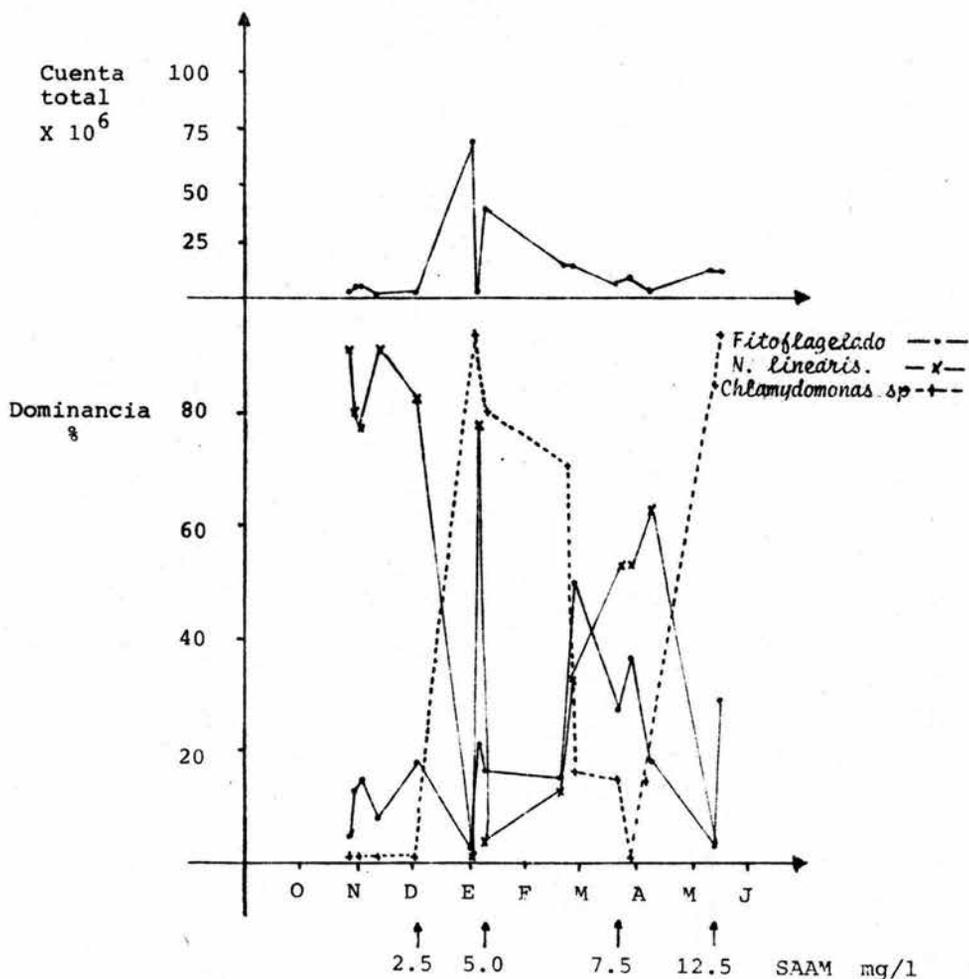


FIGURA No. 44

VARIACION DE LA CUENTA TOTAL Y EL PORCIENTO DE
DOMINANCIA EN UNA UNIDAD CON ILUMINACION

CONTROLADA Y DETERGENTE

UNIDAD III

CELDA 3-4

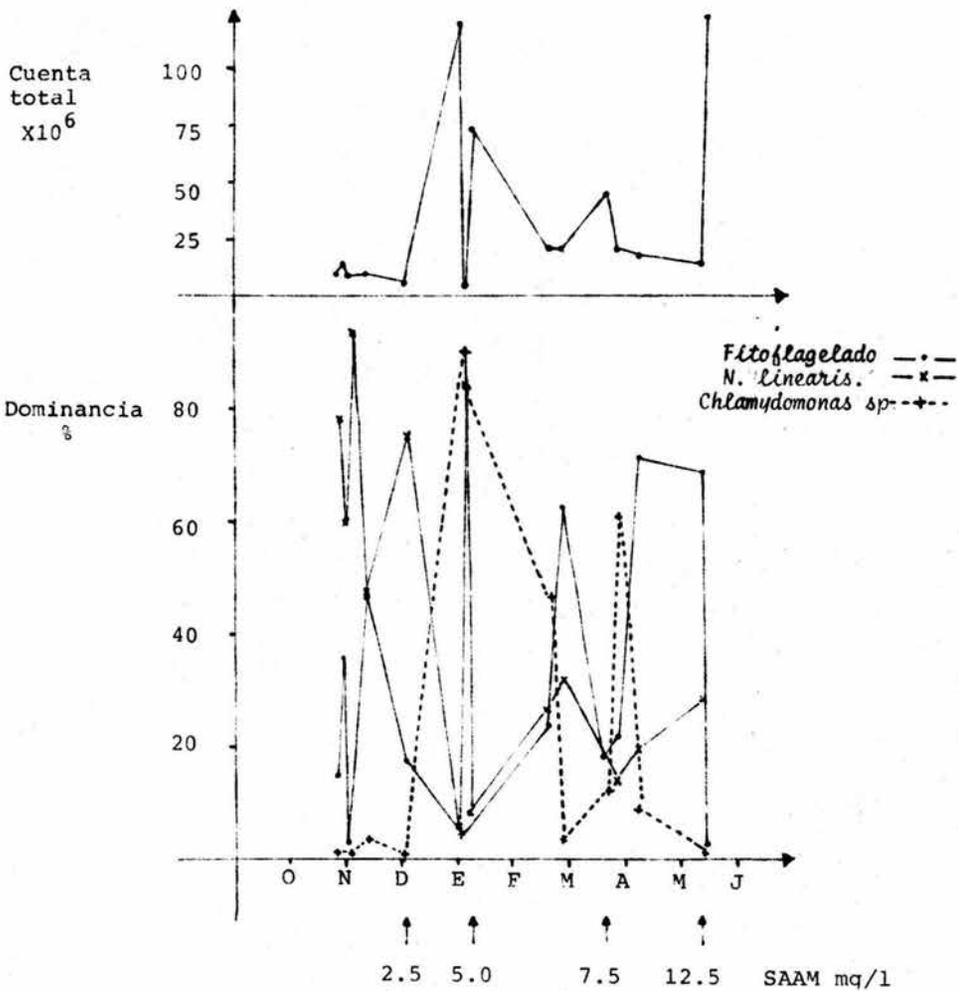


FIGURA No.45

VARIACION DE LA CUENTA TOTAL Y EL PORCIENTO DE
DOMINANCIA EN UNA UNIDAD CON ILUMINACION
CONTROLADA Y DETERGENTE

UNIDAD III

CELDA 5

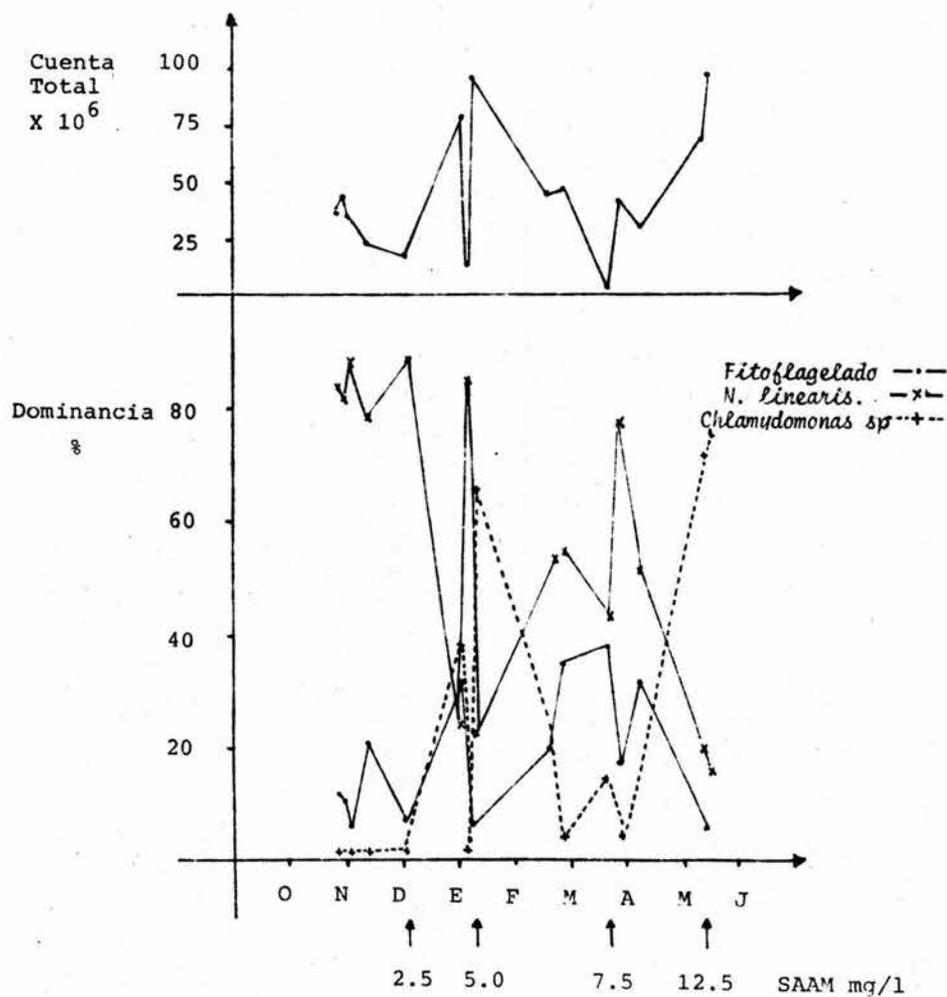


TABLA No. 6

VELOCIDAD ESPECIFICA DE CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO PARA LAS
UNIDADES CON ILUMINACION CONTROLADA BASANDOSE EN LOS SSV

Unidad	Celda	μ días ⁻¹		$Y_{x/s}$
		Promedio	Rango	
I	1-2	0.00083	-0.1181 a 0.0494	0.047
	3-4	-0.00025	-0.0307 a 0.0184	0.086
	5	-0.00051	-0.0973 a 0.0086	0.268
III	1-2	-0.0002	-0.2093 a 0.0092	0.008
	3-4	0.0005	-0.0505 a 0.0150	0.08
	5	0.0007	-0.0176 a 0.074	0.22

TABLA No. 7

VELOCIDAD ESPECIFICA DE CRECIMIENTO PARA LAS UNIDADES CON
ILUMINACION CONTROLADA BASANDOSE EN LA CLOROFILA a.

Unidad	Celda	Promedio	μ días ⁻¹	Rango
I	1-2	0.0066		-0.3835 a 0.0947
	3-4	0.0060		-0.5844 a 0.1339
	5	0.0060		-1.03 a 0.1841
III	1-2	-0.0018		-0.3275 a 0.1145
	3-4	0.0056		-0.2516 a 0.1082
	5	-0.0003		-1.1598 a 0.2070

TABLA No. 8

VELOCIDAD ESPECIFICA DE CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO PARA LA
 UNIDAD CON ILUMINACION CONTROLADA Y DETERGENTE EN BASE A
 SSV

Unidad	Fase	Celda	μ días ⁻¹		$Y_{x/s}$
			Promedio	Rango	
III	Declinación lenta	1-2	-0.0028	-0.0605 a 0.0107	0
		3-4	0.0026	0.00005 a 0.0352	0
		5	0.0002	-0.0174 a 0.0374	0
III	Declinación rápida	1-2	-0.0623	-0.0623	0
		3-4	-0.0890	-0.0890	0
		5	0.00028	-0.0174 a 0.0374	0
III	Recuperación	1-2	0.0206	-0.03 a 0.025	0.1006
		3-4	0.0273	-0.0209 a 0.0315	0.4243
		5	0.00028	-0.0174 a 0.0374	0

1
66
1

TABLA No. 9

VELOCIDAD ESPECIFICA DE CRECIMIENTO PARA LA UNIDAD CON ILUMINACION
CONTROLADA Y DETERGENTE BASANDOSE EN LA CLOROFILA a.

Unidad	Fase	Celda	μ días ⁻¹	
			Promedio	Rango
III	Declinación lenta	1-2	-0.00261	-0.0293 a 0.0053
		3-4	-0.0024	-0.051 a 0.0426
		5	-0.0035	-0.0141 a 0.1205
III	Declinación rápida	1-2	-0.0207	-0.0096 a -0.1083
		3-4	-0.0180	-0.042 a 0.0100
		5	-0.0112	-0.01536 a 0.0078
III	Recupearción	1-2	No existe	
		3-4	No existe	
		5	No existe	

D I S C U S S I O N

FASE I.

Los resultados correspondientes a esta fase son de las lagunas que fueron sometidas a condiciones de iluminación natural (Unidad I y Unidad II).

VELOCIDAD ESPECIFICA DE RESPIRACION.

Este parámetro es mayor en las primeras celdas y disminuye al final de la laguna, lo cual puede explicarse debido a que en las primeras celdas la carga orgánica es muy alta, condición que favorece un mayor crecimiento de bacterias, lo que da un valor de Q_{O_2} mayor; sin embargo, en las últimas celdas se presentan condiciones de baja concentración de materia orgánica, lo cual puede favorecer el crecimiento de las algas, las cuales se caracterizan por un metabolismo más lento que el de las bacterias y en general, por un valor de Q_{O_2} más bajo. Este fenómeno se observa tanto en la Unidad I² como en la II.

En cuanto al comportamiento estacional, este parámetro se incrementa con la temperatura, lo que puede ser indicador de un mayor crecimiento bacteriano.

SOLIDOS SUSPENDIDOS Y SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES.

Los SSV en la celda 1 - 2 se mantienen más o menos constantes, en tanto que en las celdas 3 - 4 y 5 muestran una mayor variación, presentando sus máximos en los meses fríos y los mínimos en los meses cálidos.

Este comportamiento se relaciona con la fluctuación de las poblaciones fitoplanctónicas y es muy similar para las dos unidades, la diferencia reside en que en la Unidad Negra

(II) los valores son menores, lo que se debe al color de la Unidad que favorece en menor grado el desarrollo de las células fotosintéticas, reflejándose en los valores de SS y SSV, sobre todo en las celdas 3 - 4 y 5 en las cuales el número de estos organismos aumenta.

pH.

Este parámetro casi no varía a través del año. En cuanto a su comportamiento en las celdas, es ligeramente mayor conforme aumenta el número de las mismas, lo que indudablemente está relacionado con las poblaciones fotosintéticas las cuales aumentan ligeramente el pH al producir CO_2 .

INTENSIDAD LUMINOSA.

Este parámetro es junto con la temperatura el que mayor variación estacional presenta, pues sus valores van cambiando mes a mes, presentando un máximo bien definido en los meses de Diciembre y Enero, comportamiento contrario al de la temperatura, lo que se debe a que en la Ciudad de México, la temporada de lluvias se presenta en el verano -época más cálida- manteniéndose nublados la mayor parte de los días, en tanto que, durante la época de invierno, los días se encuentran muy despejados.

TEMPERATURA.

La temperatura presentó un mínimo en los meses de Noviembre, Diciembre y Enero y un máximo en los meses de Mayo, Junio y Julio, dichos valores, sin embargo fluctúan entre 17 y 24°C.

CLOROFILAS.

Las clorofilas a, b y c son más altas durante los meses de mayor iluminación y menor temperatura, lo que es similar al comportamiento de la gráfica de la cuenta total de fotosintéticos. La presencia de la clorofila c esta relacionada directamente con la población de *Nitzschia linearis*.

CUENTA TOTAL DE ALGAS Y VARIACION DE LAS ESPECIES.

La cuenta total muestra sus valores más altos en los meses en los que la temperatura es más baja y la iluminación es mayor. Este comportamiento obedece a que las temperaturas altas favorecen, por una parte el crecimiento de las bacterias; por otra, las algas se ven menos favorecidas por las bajas intensidades luminosas, razón por la cual las poblaciones de estos últimos organismos descienden. Aunque estos resultados son contrarios a los encontrados por Raschke (35), quién reporta los mínimos de cuenta total en los meses fríos, es importante señalar que en Iowa (lugar donde se hizo la investigación) las temperaturas de los meses fríos son bajo cero, mientras que las mínimas nuestras son regularmente de 15°C sobre cero, ya que en la Ciudad de México las variaciones de temperatura no son tan drásticas de acuerdo como se puede observar en las figuras 9, 10 y 11 y 19, 20 y 21.

En cuanto a organismos se refiere, la riqueza específica es baja (7 especies), si se compara con la encontrada en lagos y aún en otros estudios sobre lagunas de estabilización (1, 13 y 35); no obstante, esta situación es debida a que son pocos los organismos capaces de soportar condiciones tan extremas y específicas. Sin embargo, los que sí pueden desarrollarse proliferan en gran número, como puede observar

se en las figuras 13, 14 y 15 y 23, 24 y 25.

De los organismos encontrados, Palmer (28) cita a *Gonmphonema parvulum*, *Nitzschia linearis*, *Nitzschia dessipiens* y *Navícula ryncocephala* como tolerantes a la contaminación, en tanto que Benson-Evans (3) menciona que *Gonmphonema parvulum* es un habitante característico de las lagunas de estabilización.

Las Euglenophytas aparecen citadas en la mayor parte de los trabajos (1, 3, 17, 19 y 35), donde se han identificado algas en lagunas de estabilización, así como en los lagos en donde abunda la materia orgánica; desafortunadamente, este grupo es complejo y su identificación sólo puede hacerse en vivo (6), por lo que en algunas ocasiones las citas de las especies no resultan muy confiables. En este caso el fitoflagelado encontrado requiere de un análisis más profundo para ser ubicado adecuadamente. Fogg y Round (3) indican que especies de *Euglena*, *Chlamydomonas*, *Scenedesmus* y *Nitzschia* crecen en sitios donde hay acetato; en los estanques de oxidación la concentración de ácido acético y butírico, producto de la descomposición de la materia orgánica, es alta por lo cual se explica la presencia de los organismos mencionados en el sistema (3). Aunque cabe señalar que es notoria la ausencia de *Clorocella* sp., *Scenedesmus* sp., y de algas azul-verdes, las cuales se mencionan generalmente en este tipo de trabajos, *Encebia ipnii* podría pertenecer al grupo de los euglenales.

En lo referente a especies, la población de *Nitzschia linearis* aumenta con la temperatura, lo que coincide con lo citado por Raschke (35), quién menciona un aumento en algas bentónicas (como *Nitzschia linearis*) al aumentar la temperatura; por otro lado, esta especie se desarrolla mejor con bajas cargas orgánicas, lo cual es evidente al comparar las gráficas de las celdas 1 - 2 de las Unidades I y III con las celdas 5 de

ambas unidades, las cuales tienen cargas menores.

El fitoflagelado prolifera a bajas temperaturas y altas intensidades luminosas, lo cual podría ser comparable con lo encontrado por Raschke (35) y Gloyna (19) para las especies de Euglena.

El comportamiento de la Unidad I con respecto a la II es muy semejante, a no ser porque *Mallomonas reginae* solo aparece en los meses cálidos en la Unidad II, mientras que en la Unidad I permanece todo el año. En los dos casos, siempre se encuentra en baja cantidad.

En el caso del % de remoción de materia orgánica, los valores son altos todo el tiempo, aún en la Unidad II en la que las cuentas totales de algas son muy inferiores a las de la Unidad I. Esto indica que realmente con una cantidad no tan alta de algas puede llevarse a cabo la degradación de la materia orgánica de forma adecuada, con la ventaja de que son menos los SS que hay que separar de ella al término del proceso.

Por otra parte, los resultados muestran que la luz y la concentración de materia orgánica son los factores que determinan el aumento en las poblaciones fotosintéticas en los rangos de temperatura registrados, lo cual en parte coincide con lo encontrado por Gloyna (17) con respecto a la concentración de algas para las lagunas de oxidación.

Finalmente, se puede observar que a pesar de la fluctuación de los organismos por los factores ambientales, la comunidad en sí es capaz de mantener un porcentaje de remoción de materia orgánica alto y estable, lo que es muy benéfico para los propósitos del sistema.

FASE II.

En general, durante esta fase de experimentos, los parámetros tales como: SS, SSV y clorofilas, se mantienen constantes al someter a las Unidades a luz controlada.

Esto se entiende al saber que las poblaciones fotosintéticas fluctúan al variar la intensidad luminosa y el fotoperíodo, lo que se refleja en la variación de los parámetros anteriormente mencionados. En el caso de las clorofilas, - este efecto es más marcado, ya que -dependiendo de la intensidad luminosa- varía también la proporción de pigmentos en las algas (41). Al mantener las Unidades con luz constante, se eliminan las variaciones ocasionadas por este factor, aún cuando en un principio se nota un aumento en las clorofilas, específicamente en la clorofila-c, lo cual coincide con un aumento en la población de *Nitzschia linearis*, después de ello las poblaciones se estabilizan.

Es importante señalar que los valores de SS, SSV y clorofilas, aunque son constantes, son más altos que los obtenidos durante la Fase I.

RESPIRACION.

Q_{O_2} durante esta Fase se encuentra dentro de los mismos rangos obtenidos en la Fase I, sin embargo es importante hacer notar que la tendencia a aumentar durante los meses cálidos se sigue presentando, lo que confirma que es debido a un incremento de la población bacteriana. Por otro lado, es importante señalar que Q_{O_2} desciende en forma marcada de la celda 1 - 2 a la celda 5,² lo cual indica que en esta celda hay un claro predominio de la población fotosintética.

CLOROFILAS.

En la celda 1 - 2 y 3 - 4 se observa gran constancia y similitud con los valores obtenidos en las condiciones de iluminacion natural, aunque con menos variaciones.

TEMPERATURA.

Este parámetro también presenta el mismo comportamiento que las unidades con luz natural, es decir un mínimo en los meses de Diciembre y Enero y un máximo en los meses de Abril y Mayo, lo cual confirma perfectamente el hecho de que la luz y no la temperatura es lo que provoca las variaciones estacionales.

pH.

Este factor se comporta en forma muy similar a la reportada para la Fase I.

REMOCION DE MATERIA ORGANICA.

Es importante señalar que, aunque en general la remoción de materia orgánica se mantuvo en valores altos, presentó variaciones entre 70 y 98 %, lo cual no necesariamente indica baja eficiencia de la laguna, sino que puede mostrar la presencia de material soluble producto de la lisis de las algas que, bajo estas condiciones, se encuentran en exceso.

CUENTA TOTAL Y ORGANISMOS PRESENTES.

En lo que a cuenta se refiere, si bien la iluminación controlada eliminó las variaciones bruscas que se presentan durante la fase de luz natural, la cuenta en general dis-

minuyó a los valores bajos obtenidos en la Fase I, lo cual - puede indicar cierta inhibición por exceso de luz.

En lo referente a organismos, en la Fase II aparece *Chlamydomonas* sp., la cual no se registró en el período anterior aunque la literatura sí la menciona como característica de este tipo de aguas (2), en tanto que *Navicula ~~rhomboides~~ rhomboides* no se encontró.

La presencia de *Chlamydomonas* sp., se justifica por el cambio de intensidad luminosa, ya que de acuerdo con Lewin (3) la actividad sexual de este organismo se incrementa con la - iluminación, favoreciendo el incremento de este organismo. Este cambio afectó principalmente a la población de *E. ipnii*, ya que ahora *Nitzschia linearis* tendió a aumentar su población en el invierno (período en el que en los experimentos con luz natural florecía el fitoflagelado); en tanto que *Chlamydomonas* sp. aumentaba su población con la temperatura *Mallomonas reginae* también disminuye su población.

EVALUACION DE LOS PARAMETROS CINETICOS.

Si bien los SS, los SSV y las clorofilas se mantu - vieron bastante constantes, tuvieron pequeños cambios que permitieron calcular los parámetros cinéticos del sistema como - son: velocidad específica de crecimiento y rendimiento, los cuales fueron calculados en base a SSV y en base a clorofilas, siendo reportados en las Tablas 6 y 7 .

De dichas tablas se observa que en los casos de iluminación controlada y las condiciones óptimas reportadas, la velocidad específica de crecimiento (μ) presenta valores muy cercanos a cero para las tres celdas, lo cual indica un gran equilibrio entre la velocidad de utilización de sustrato y la velocidad de producción de lodos; es decir, que en las -

condiciones óptimas de trabajo, la velocidad de producción de lodos es casi igual a la de lisis y muerte de los mismos, lo cual hace de la laguna un sistema muy eficiente desde el punto de vista ecológico, pues casi no produce residuos que ameriten un tratamiento posterior, disminuyendo en forma notable la necesidad de tener que desazolvar la laguna.

En cuanto a los valores de rendimiento encontrados, éstos muestran de manera clara la forma como la laguna se encuentra operando en las diferentes celdas, encontrándose para las dos unidades estudiadas en estas condiciones un comportamiento muy similar.

Para la celda 1 - 2, los valores de rendimiento en los rangos de 0.05 g ssv/g DQO indican un metabolismo predominantemente anaerobio, lo que hace pensar que es en estas celdas donde ocurre la mayor parte de la mineralización de la materia orgánica, lo cual es corroborado por el perfil horizontal mostrado en la figura No. 5.

Los valores de Y para las celdas 3 - 4 indican un aumento de aproximadamente el doble en este parámetro, lo que muestra un ligero cambio, en el metabolismo predominante (anaerobio), el cual tiende a empezar a desplazarse hacia la aerobiosis.

En la celda 5, los valores de 0.22 y 0.27 encontrados dan una muestra muy importante de que el metabolismo de la laguna en esta celda es aerobio, aunque es importante señalar que las concentraciones de oxígeno siempre fueron cercanas a cero en toda la laguna, lo que hace pensar en un balance adecuado entre producción y consumo de oxígeno .

FASE III.

Como ya se mencionó, para esta fase se usó la Unidad III con luz controlada para estudiar el efecto que los detergentes tienen en un sistema de este tipo, siendo las concentraciones usadas de 2.5, 5.0, 7.5 y 12.5 mg/l de sustancias activas al azul de metileno.

SOLIDOS SUSPENDIDOS Y SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES.

El comportamiento de los SSV muestra una ligera tendencia a disminuir a partir de los 7.5 mg/l de SAAM para las celdas 1 - 2 y 3 - 4, mientras que la celda 5 no muestra esta tendencia, es decir se mantiene constante, lo cual es indicativo de que le llega un menor efecto tóxico, pese a que esta constituida por un mayor porcentaje de organismos fotosintéticos.

RESPIRACION.

En este parámetro se observa un incremento marcado conforme aumenta la concentración de detergente tanto en la celda 1 - 2 como en la celda 3 - 4 lo cual es normal de entender cuando se presenta un efecto tóxico de algún compuesto, en este caso tenemos a los detergentes. En el caso de la celda 5 el incremento de Q_{O_2} es menor, lo cual puede ser atribuido a una menor población bacteriana en dicha celda y aún menor efecto tóxico.

CLOROFILAS.

El comportamiento de las clorofilas es muy similar al de los SSV, sólo que en este caso la concentración de este parámetro en la celda 5 también desciende, lo que indica una

disminución en la cantidad de pigmentos que tienen las algas, o bien un menor número de ellas conforme la concentración de detergentes aumenta.

pH y TEMPERATURA.

La temperatura se comprota de manera similar a la de las unidades sin detergente. El pH disminuye ligeramente, lo cual puede indicar una disminución de la actividad fotosintética.

REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA Y DETERGENTE.

Como se aprecia en la Figura 42, la remoción de materia orgánica se ve fuertemente afectada por la presencia de detergentes, ya que desciende a valores por debajo de 60%, lo cual indica una drástica disminución de la actividad metabólica en el sistema. De igual forma la remoción de detergente se ve disminuída a casi 0 %, lo cual pone en entredicho la posibilidad de emplear las lagunas de estabilización para la remoción de detergentes.

CUENTA TOTAL Y DOMINANCIA.

En lo que toca a organismos, la riqueza específica disminuye al desaparecer *Nitzschia dissipiens*, *Navícula subhamulata*, y *Navícula ryncocephala*; por otro lado, la frecuencia de aparición de *Mallomonas reginae* también disminuye.

La cuenta total es otro factor que se ve afectado, sólo que después de un cierto tiempo el sistema recupera el número de organismos, al presentarse una cierta aclimatación de los mismos a las dosis usadas de detergente, aunque con una menor capacidad degradativa.

En cuanto a especies *Encebia ipnii*, *Nitzschia linearis* y *Chlamydomonas* sp. son los organismos que tuvieron el % de dominancia mayor en esta etapa, al igual que en la etapa anterior, sólo que al iniciar la dosificación de detergente, *N. linearis* y el fitoflagelado se ven fuertemente afectados, por lo que sus poblaciones disminuyen. En contraste, *Chlamydomonas* sp. aumenta su población rápidamente, incrementando con ello los valores de cuenta total. Después de un tiempo, las poblaciones de *N. linearis* y *E. ipnii* se recuperan disminuyendo la pobla - ción de *Chlamydomonas* sp. . Este comportamiento se presenta - hasta una dosis de 7.5 mg/l de SAAM, después de la cual los dos organismos mencionados ya no se recuperan, por lo que la única población resistente es la de *Chlamydomonas* sp.

De acuerdo con Ingremán (3), la presencia de *Chlamydo*monas sp. como única alga que florece es indicativo de anaerobiosis en el sistema, y la causa de la disminución de otras - algas. No obstante, de acuerdo con Ukeles (13) las *Chlamydomo*nas sp. con sensibles a las bajas concentraciones de detergente, lo que es opuesto a los resultados encontrados en este - trabajo.

PARAMETROS CINETICOS.

Durante esta fase de la experimentación, las unidades tuvieron un comportamiento bien definido, los cuales denominamos: Declinación lenta, Declinación rápida y Recuperación, los cuales describen de manera clara lo que ocurrió durante dichas etapas, la etapa de declinación lenta es la que se presenta a bajas concentraciones de detergente, la declinación rápida se presenta en concentraciones medias de detergente y la de recuperación se presenta en los valores más altos probados de detergente.

ETAPA DE DECLINACION LENTA.

Durante esta etapa se observa un valor negativo, pero pequeño de la velocidad de crecimiento para la celda 1 - 2 y valores positivos aunque también pequeños en las celdas - 3 - 4 y 5, lo que indica que el detergente, aún a bajas concentraciones es tóxico, tanto para algas como para bacterias. Ahora bien, como la concentración de detergente desciende de la celda 1 - 2 a la 3 - 4 y a la 5, se presenta un efecto estimulante para estas condiciones. Es importante señalar - que el rendimiento para esta etapa es cero para todas las celdas.

ETAPA DE DECLINACION RAPIDA.

En la medida en que la concentración de detergente va aumentando el efecto tóxico de este compuesto se acentúa, lo que se refleja en un incremento negativo de la velocidad de crecimiento (del orden de 10 veces), de igual forma el rendimiento sigue siendo cero.

ETAPA DE RECUPERACION.

Durante esta etapa, el sistema tiende a sufrir una recuperación importante en el crecimiento, ya que los valores de μ son bastante superiores a los encontrados para la fase sin detergente, lo que indica que los organismos que proliferan durante esta etapa son favorecidos en alguna forma por los detergentes, ya que los rendimientos obtenidos son también mayores a los de la Fase II.

Es importante hacer notar que esta etapa de recuperación sólo se presenta para algunos organismos heterótrofos, ya que los fotosintéticos no manifiestan recuperación alguna

en función de las clorofilas, sin embargo la cuenta total si aumentó específicamente por *Chlamydomonas sp.*, lo que hace pensar que este es un organismo con menor capacidad fotosintética comparado con *Nitzschia linearis* y el fitoflagelado, lo cual no es bueno para el sistema.

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

1. Las condiciones bajo las cuales se trabajaron no permitieron el desarrollo de algas azul-verdes, las cuales tradicionalmente han ocasionado problemas en algunos estanques, al impedir el paso de luz cuando hay florecimientos de las mismas, por lo que su ausencia resulta ventajosa para el funcionamiento del sistema.
2. Los géneros de los organismos encontrados (*Nitzschia*, *Chlamydomonas* y los euglenales) han sido clasificados como afines al acetato, por lo que aún cuando sea en bajos porcentajes, contribuyen a disminuir la carga orgánica del sistema, además el tipo de metabolismo de estos organismos, les permite soportar períodos de anaerobiosis, características que también favorecen al proceso.
3. La estratificación horizontal de los organismos se debe específicamente a la concentración de materia orgánica, lo cual resultó ventajoso al sistema, ya que en las primeras celdas dominaron los organismos heterotróficos, que disminuyen fuertemente la carga orgánica, en las últimas celdas las que dominaron fueron algas bentónicas que al desarrollarse en el fondo del estanque, permitieron que el efluente sea de buena calidad al contener una baja concentración de microorganismos.
4. La estratificación horizontal antes mencionada se ve favorecida por el uso de sistemas con flujo pistón y mamparas.
5. Por otra parte, cantidades excesivas de luz hacen que aumente la concentración de organismos fotosintéticos, lo cual después de un límite no beneficia al sistema, como se comprobó al comparar los % de remoción de las unidades I y II con luz natural, y sí va en detrimento de la cali-

dad del efluente al término del proceso, ya que contiene una mayor concentración de algas las cuales posteriormente es necesario remover.

6. La comunidad de organismos, en las condiciones de trabajo utilizadas, es lo suficientemente estable para soportar las variaciones estacionales presentadas y mantener un % de remoción alto.
7. Los bajos registros en las mediciones de crecimiento indican que el sistema conduce al material orgánico hasta la completa mineralización ya que ni hay acumulación de material en el sistema, ni en el efluente, lo que reduce al mínimo la necesidad de desasolvar la laguna.

Por las razones anteriores, se puede concluir que las condiciones hidráulicas utilizadas son las óptimas para el sistema, lo cual coincide, con el desarrollo de poblaciones que favorecen el funcionamiento del mismo.

8. Por otro lado, de acuerdo a los % de remoción *Chlamydomonas* sp. no favorece el funcionamiento del sistema, ya que cuando este organismo estuvo presente, los % de remoción de materia orgánica o bien mostraron mayores variaciones o en el caso de los detergentes disminuyeron fuertemente, aún cuando este organismo se encontraba en altas concentraciones.
9. Finalmente los resultados muestran que las lagunas de oxidación tienen una baja capacidad para remover detergentes, no obstante la recuperación de las poblaciones en las primeras dosis hacen pensar que tal vez con tiempos de aclimatación mayores, se puedan obtener mejores resultados, lo que es preciso demostrar en trabajos posteriores.

A P P E N D I C E

ALGAS ENCONTRADAS EN LOS ESTANQUES DE ESTABILIZACION ESTUDIADOS. *

DIVISION: Chromophyta
C L A S E: Diatomophyceae
O R D E N: Naviculales
FAMILIA: Naviculaceae

- *Gomphonema parvulum*.- Células con valvas en forma de clava, lanceroladas, de 12 a 30 μ de largo y de 4 a 7 μ de ancho, área central poco evidente con estriaciones radiales indis^utintamente punteadas.
Ha sido mencionada como habitante de aguas dulces (29 y 40) y como organismo tolerante a la contaminación orgánica (3, 28). Sladeczek (42) la ha clasificado como organismo B meso^usoprobio.

- *Navicula ryncocephala*.- Células de 25 a 60 μ de largo y de 10 a 15 μ de ancho; valvas lanceroladas con terminales li^ugeramente redondeados. Area central en forma circular. Estriaciones transversales a radiales en la parte media. Ha sido citada en aguas dulces de alto contenido mineral (28) y como tolerante a la contaminación orgánica (3, 28) Sladeczek (42) la menciona como β mesosaprobia.

- *Navicula subhamulata*.- Valvas lineares con ápices redondeados, rafe rodeado por una delgada zona hialina, algunas veces dilatada alrededor del nódulo central.

* La ubicación taxonómica esta de acuerdo a Bourrelly (6).

FAMILIA: Epithemiaceae

- *Nitzschia dissipata*. - Valvas lineares, lanceroladas o en forma de espina, estriaciones difícilmente visibles, longitud de 20 a 35 μ .
Se le ha encontrado en aguas dulces, habiendo sido citada como tolerante a la contaminación. Clasificada como O- β -mesosaprobia.

- *Nitzschia linearis*. - Valvas lineares con una constricción en la parte media, con ápices redondeados en la porción externa y atenuados en la interna. Longitud de 50 a 150 μ .
Es un organismo típico de aguas dulces tolerante a la contaminación por materia orgánica (3, 28). En la clasificación de Sladeczek ha sido ubicada como un organismo O- β -mesosaprobio.

C L A S E : Chrysophyceae

O R D E N : Ochromonadales

FAMILIA: Synuraceae

- *Mallomonas reginae*.- Células ovoides solitarias móviles, por medio de un flagelo. Periplasto cubierto por numerosas es camas. Espinas en toda la célula. De 15 a 20 μ de longitud.

DIVISION: Chlorophyta

C L A S E : Chlorophyceae

O R D E N : Volvocales

FAMILIA: Chlamydomonadaceae

- *Chlamydomonas sp.*- Células ovoides de 3 a 5 μ de lago. Plasto en forma de H, con pirenóide, algunas veces. Crecen en lagos y estanques, especialmente donde la concentración de materia orgánica es alta.

DIVISION: Chromophycophytas

C L A S E : Pirrophyceae

- *Fitoflagelado*.- Células ovoides, rígidas, con sección transversal triangular, de 15 a 20 μ de largo.

Posee un flagelo visible, acronemate, sulcus muy profundo que atraviesa toda la célula.

Cutícula gruesa con estrias longitudinales bien marcadas.

Paramilo discoide no coloreable por iodo, aún después de la deshidratación, estigma, cloroplastos parietales numerosos.

Presenta reproducción por procesos parasexuales y núcleo tipo dinocarion muy visible.

Algunas de estas características colocan al fitoflagelado dentro del grupo de las Euglenofitas; otras dentro de las Dinofíceas, razón por la cual se prefirió utilizar en este caso la clasificación de Chadeaud (43) en vez de la de Bourrelly (6) utilizada en los demás casos, ya que Chadeaud (10) agrupa tanto a las Euglenofíceas como a las Dinofíceas dentro del grupo de las Chromophycophytas.

Las características del fitoflagelado, como de los grupos a los que se acerca, serán discutidas enseguida:

Las euglenofitas son células nadadoras con hendiduras vestibulares, pozo flagelar, presulcus rudimentario, paramilo, sólo coloreable por iodo después de la deshidratación, flagelo desarrollado con mastigonemas y otro flagelo rudimentario, estigma, estrias en el periplasto y reproducción por citogamia. Los géneros con plastos incluyen a Euglena, Facus y Lepocinclis.

El fitoflagelado encontrado en este estudio no coincide - con las características anteriores por la presencia de un

sulcus bien marcado, flagelo desarrollado acronemate, por el tipo de reproducción que es parasexual y por el núcleo tipo dinocarion.

El núcleo tipo dinocarion lo acerca al grupo de los dino - flagelados, no obstante éste último grupo presenta singulum aunque sea muy rudimentario, el cual no se presenta en el fitoflagelado.

De acuerdo con la opinión del Doctor V. Sladeczek (comunicación personal) el fitoflagelado pertenece al grupo de las euglenofitas y específicamente que se trata de una nueva especie del género *Cryptoglena*.

Este género de acuerdo con Bourrelly (6) es un tipo de fucus modificado, formado de 2 partes, como si se tratara de dos vidrios de reloj unidos y envueltos por una vaina, con sección transversal triangular y periplasto liso.

Las fotografías presentadas en la Ecología Marina de Dawson (11) de *Cryptoglena pigra*, son muy semejantes a las del fitoflagelado, sin embargo, este último está formado de una sola pieza, sin vaina, y el periplasto tiene estrías bien marcadas, por lo que en este momento no es posible asegurar el grupo al que pertenece, por lo que tentativamente se le ha denominado *Encebia ipnii*.

B I B L I O G R A F I A

1. Aguirre, M.J. and E. Espino de la O. 1974. Evaluation of waste stabilization pond performance in Mexico. D9. UAPC. Subsecretaría de Planeación. SARH.
2. APHA - AWWA - WPCF. 1975. Standard Methods for examination of Water and wastewater. 14th Ed. American Public Health Association. Washington, D. C.
3. Benson-Evans Katherin and P.F. Williams. 1975. Algae and Bryophytes. En: Ecological Aspects of used water treatment. Academic Press. London.
4. Blancarte, Zurita A. 1981. Cinética de la Remoción de detergentes de uso industrial en un sistema de lodos activados. Tesis Profesional. ENCB-IPN.
5. Bourrely, P. 1966. Initiation a la syntematique. Tomo I. Les alques vertes. Ed. N. Boubeé et Cie. France.
6. Bourrely, P. 1968. Initation a la systematique. Tomo II Les Alques jaunes et brunes. Ed. N. Boubeé et Cie. France.
7. Bourrely, P. 1970. Intitiation a la systematique. Tomo III Les Alques blues et rouges. Ed. N. Boubeé et Cie. France.
8. Cain, R.B. 1977. Surfactant Biodegradation in waste water. En: Treatment of Industrial Effluents. Ed. Callely, A. G., C.F. Foster and D.A. Stafford. Hodder and Stoughron. London.
9. C I E C C A. 1978. Métodos de Análisis de agua y agua residual. SARH. México.

10. Chadeffaud, M. et L. Emlorger. 1960. *Traité de Botanique systématique*. Tome I. Les vegetaux non vasculaires. Cryptogamie. Masson et Cie. Paris.
11. Dawes, C. 1981. *Marine Botany. Cryptophyta, Euglenophyta and Pyrrhophyta*. John Wiley and Sons. EUA.
12. De Jong, A.L. 1980. Detergent. Products, What are their ingredients? Why? and how do they react? *Veterinary and Human Toxicology* 21:22-24.
13. De Noyelles, F. Jr. 1967. Factors affecting phytoplankton distribution in a double cell sewage lagoon. *Journal of Phycology* 1:102-110.
14. Eckenfelder, W.W. 1970. *Water Pollution Control: Experimental procedures for process design*. The Pembernton Press. Jenkins Publishing Co. EUA.
15. Espino, V. Socorro y V. López Mercado. 1980. Biodegradación: Su importancia en la remoción de contaminantes orgánicos de tipo sintético. Trabajo presentado en el 2o. Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental Monterrey, Nuevo León. México.
16. Espino, V. Socorro. 1984. Consideraciones en el diseño de las lagunas de estabilización y su posible aplicación en la remoción de detergentes. Tesis de Maestría CINVESTAV-IPN. México, D.F.'
17. Gloyna, E. 1973. Estanques de Estabilización de aguas residuales. Organización Mundial de la Salud. Ginebra.
18. Hasle, G.R. and G.A. Fryxell. 1970. Diatoms; cleaning

and mounting for light and electron microscopy. Trans. Amer. Microsc. Soc. 89 (4) 469-474.

19. Herman, E.R. and E.F. Gloyna. 1958. Waste Stabilization pond ecosystem. Journal of the Water Ponds. I Experimental Investigations. Sewage and Industrial Wastes. 30 (1) 511-538
20. Higgins, I.J. and R.G. Bruns. 1975. The Chemistry and Microbiology of Pollution. Academic Press.
21. Jongitud, F.V., E. Acosta y C. Hernández. 1975. Evaluación de los Estudios sobre el ABS y el LAS y efectos en la agricultura y la fauna. 5a. Etapa. DGUAPC, Secretaría de Recursos Hidraulicos, México.
22. Lewis, A.E. 1981. Aquatic Pollution. John Wiley and Sons EUA.
23. López, Marco Ma. del P. 1984. Evaluación del grado de contaminación de las diferentes cuencas del país y prioridades de atención. Memorias del IV Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Morelia, Mich. I: 240-245.
24. López, Mercado V. 1985. Tratamiento Biológico de Aguas Residuales. En "Prospectiva de la Biotecnología en México". Fundación Barrios Sierra, CONACYT, México.
25. López, Mercado V. 1986. Estudio de la Cinética de degradación de detergentes de uso doméstico en un sistema de lodos activados. Tesis de Maestría, CINVESTAV-IPN. México, D.F.

26. Margalef, R. 1974. Ecología. Ediciones Omega, S.A. España.
27. Mason, C.F. 1981. Biology of Freshwater Pollution. Long
28. Odum, E. 1972. Ecología. Ed. Interamericana. México.
29. O E C D . 1976. Proposed methods for the determination of biodegradability of surfactants used in synthetic detergentes. Organization for Economic Cooperation and Developments. General Distribution. Paris, Francia.
30. Palmer, C.M. A composite rating of algae tolerating organic pollution. 1969. J. Phycol. 5:78-82.
31. Patrick, R. 1975. The diatoms of the United States. Vol. I. Monographs of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia. EUA.
32. Pareda, M.P. y Col. 1971. Evaluación de los estudios sobre el ABS y el LAS y efectos en la agricultura y la fauna. DGUAPC. Secretaría de Recursos Hidráulicos. México.
33. Pipes, W.O. 1966. The ecological approach to the study of activated sludge. Advances in Applied Microbiology. 8:77-103,.
34. Prescott, G.W. 1962. Algae of the western great lakes ares. W.M.C. Brown. Co. Publishers EUA.
35. Raschke, R.L. 1970. Algal periodicity and waste reclamation in a stabilization pond ecosystem. Journal of the

- Water Pollution Control Federation. 42 (4):518-530.
36. Ravena, Ukelas. 1965. Inhibition of unicelular algae by synthetic surface active agents. *Journal of Phycology* 1: 102-110.
 37. Simpson, R.J. 1960. Some aspects of the biochemistry of aerobic organic waste treatment. En: *Waste-treatment*. P. G. Isaac (Ed.) Pergamon Press p. 31-51.
 38. Simpson, R.J. 1960. Some aspects of the biochemistry of anaerobic organic waste treatment. En: *Waste treatment*. P.G. Isaac (Ed.) Pergamon Press.
 39. Simpson, R.J. 1979. The process design of aerobic biological treatment systems. *Effluent Water Treatment Journal* 19 (6): 279-289.
 40. Swisher, R.D. 1963. Biodegradation rates of isomeric diheptil benzene sulfonates. *Developments in Industrial Microbiology*. 4:39-45.
 41. Thomas, B.E. and F.L. Richardson. 1968. The effect of growth environment on the physiology of algae light intensity. *Journal of Phicology*. 4:38-54.
 42. Tiffani, L.M. 1952. *The Algae of Illinois*. The University of Chicago Press. EUA.
 43. Throndsen, J. 1978. Prevention and Storage Phytoplankton En: *Phytoplankton Manual* Edited by A. Sournia. UNESCO. United Kingdom.