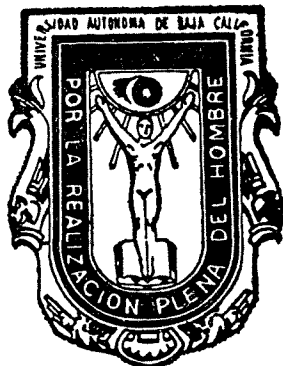


Universidad Autónoma de Baja California

ESCUELA SUPERIOR DE CIENCIAS



“TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DOMESTICA MEDIANTE
CULTIVO DE LIRIO ACUATICO (Eichhornia crassipes (Mart) Solms)”

T E S I S

QUE COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL TITULO DE:

B I O L O G O

P R E S E N T A :

ROBERTO ARELLANO ORTIZ

ENSENADA, B. C.

SEPTIEMBRE DE 1990.

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA

ESCUELA SUPERIOR DE CIENCIAS

" TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DOMESTICA MEDIANTE CULTIVO
DE LIRIO ACUATICO (Eichhornia crassipes (MART) SOLMS) "

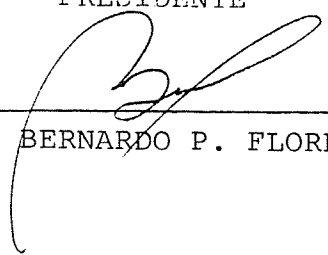
TESIS PROFESIONAL QUE PRESENTA:

ROBERTO ARELLANO ORTIZ

APROBADO POR:

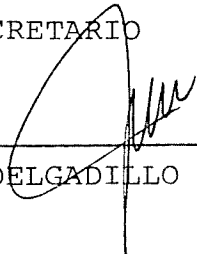
SINODALES

PRESIDENTE



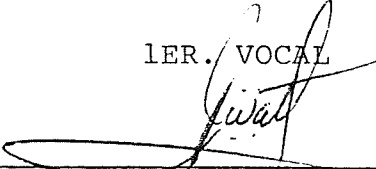
OC. BERNARDO P. FLOREZ BAEZ

SECRETARIO



BIOL. JOSE DELGADILLO RODRIGUEZ

1ER. VOCAL



BIOL. WALTERIO GARCIA FRANCO

ENSENADA, B. C.

SEPTIEMBRE DE 1990

AGRADECIMIENTOS

A Mis Padres:

Por darme su apoyo, cariño y estímulo.

Al M. C. César Díaz Trujillo

Facultad de Ciencias Químicas, UABC.

Por orientarme y participar en la metodología química.

Al Ocean. Bernardo P. Flores Baez

Instituto de Investigaciones Oceanológicas, UABC.

Por alentarme a realizar el presente trabajo.

Al Biól. Walterio García Franco

Instituto de Investigaciones Pesqueras.

Por su asesoramiento en la ejecución del presente trabajo.

Al Biól. José Delgadillo Rodríguez

Escuela Superior de Ciencias, UABC.

Por sus indicaciones y observaciones en la integración del presente trabajo.

Al C. P. Hugo Torres Chabet

Complejo Turístico Rosarito.

Por proporcionar la infraestructura, que permitió llevar a cabo este trabajo.

A los Maestros de la Escuela Superior de Ciencias

Que aportarán su conocimiento contribuyendo a mi formación por siempre mi gratitud.

RESUMEN

El lirio acuático (Eichhornia crassipes (Mart)Solms), es una macrofita utilizada como una fase más en el Sistema de Tratamiento Hídrico Tradicional, en el cual se presentan las fases anaeróbica, aeróbica, filtración y clorinación, - en el Complejo Turístico Rosarito, localizado en la Delegación Playas de Rosarito, B. C.

Se evaluó la implementación del lirio acuático en el - proceso de reciclaje hídrico, durante los meses de Junio, - Julio y Agosto de 1989, mostrando su efectividad de acuerdo a los análisis químicos practicados al agua tratada, resultados que satisfacen las especificaciones establecidas por la SEDUE (1984), para el agua de la Clase D-II.

Esta agua tratada actualmente se emplea en los jardí-- nes del Complejo Turístico, y en la producción de plantas - de ornato y florícolas, mientras que el lirio acuático cose-- chado se utilizó como mejorador orgánico de suelos, además se suprimió la descarga de aguas negras en su propia área - de playa.

ABSTRACT

The water hyacinth (Eichhornia crassipes (Mart) Solms), is a macrophyte that is used as one step in a water treatment which includes anaerobic, aerobic, filtration, and -- chlorination steps. This system belongs to the Rosarito -- Tourist Resort, at Playas de Rosarito, B. C.

The incorporation of water hyacinth in the water -- treatment process was evaluated during June, July and August of 1989, and was effective as shown by chemical analyses which satisfied the requirements of SEDUE (1984) for -- Class D-II water.

The treated water is currently being used for the gardens at the Tourist Resort, as well as for the production of ornamental and flowering plants, and the harvested water hyacinth is being used to increase the organic content of the soil. Most importantly, contaminated water is no -- released onto the beaches at the resort.

INDICE

Aprobación del trabajo	I
Agradecimientos	II
Resumen	III
Abstract	IV
Lista de figuras	VI
Lista de tablas	VII
Introducción	1
Antecedentes	4
Objetivos	14
Metodología	16
Resultados	29
Discusiones	37
Conclusiones	41
Recomendaciones	45
Bibliografía	47

Lista de Figuras

	Página
Figura 1	2
Figura 2	5
Figura 3	7
Figura 4	13
Figura 5	17
Figura 6	18
Figura 7	20
Figura 8	21
Figura 9	25
Figura 10	33
Figura 11	38

Lista de Tablas

	Página
Tabla I	11
Tabla II	15
Tabla III	26
Tabla IV	30
Tabla V	31
Tabla VI	34
Tabla VII	36
Tabla VIII	42

INTRODUCCION

Una solución parcial a la escasez de agua potable en Baja California, lo constituye el reciclaje del agua residual doméstica, lo cual, además de su uso secundario evitará la contaminación del medio marino y terrestre por organismos patógenos y sustancias tóxicas.

Se conocen varios métodos para tratar el agua residual doméstica, siendo uno de ellos el cultivo de macrofitas acuáticas para mejorar la calidad del agua, que de acuerdo a Baozhen (1987), el lirio acuático (Eichhornia crassipes (Mart) Solms), es el vegetal de mayor aceptación (fig. 1).

La contaminación marina se entiende como la introducción de sustancias al medio marino, que alteran la calidad del agua y que dañan la vida acuática, además afectan actividades turísticas y pesqueras, a través de las descargas de aguas residuales industriales y domésticas, por carecer de un sistema de drenaje y tratamiento de tales aguas residuales, (Jiménez, 1989).

Nishikawa, et al (1985), señalan que de la Ciudad de Tijuana, B. C., se generan en promedio $95 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{día}$ de aguas negras de origen doméstico e industrial, las que contienen organismos patógenos y sustancias contaminantes.

Esta descarga de aguas negras ha motivado reclamos por parte del Gobierno de los Estados Unidos, pues aducen que las corrientes marinas transportan estos contaminantes a sus playas.

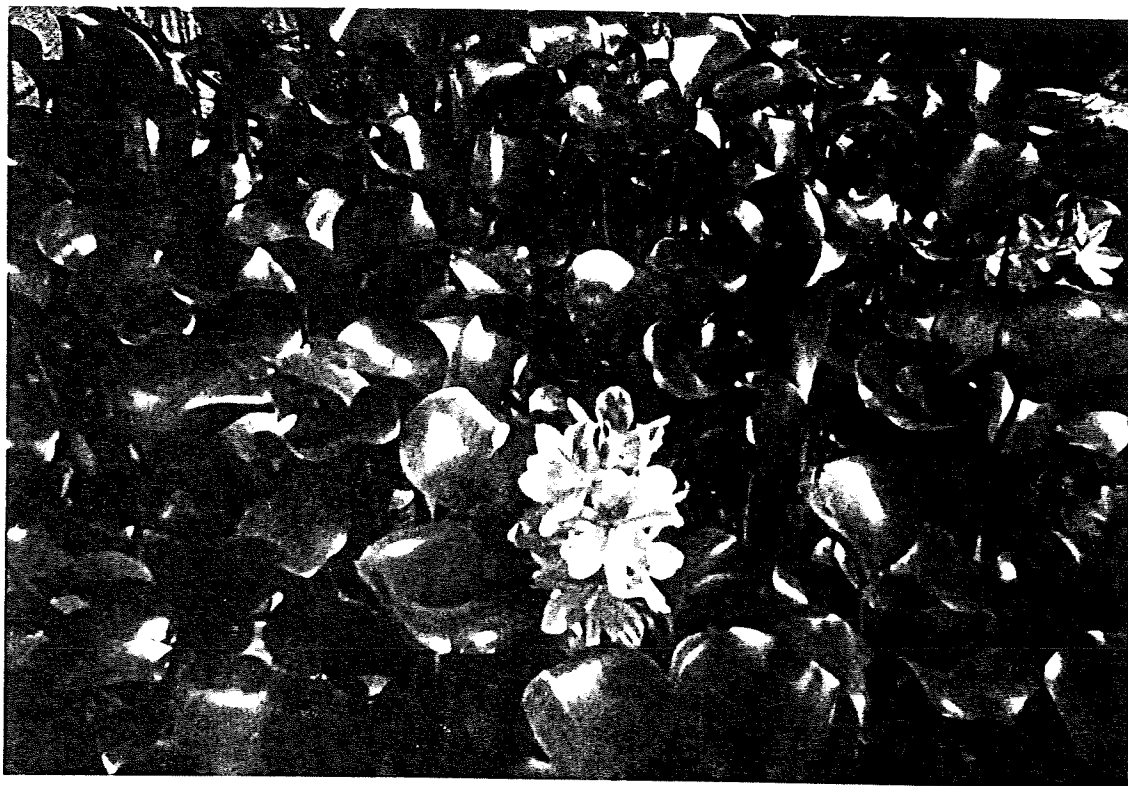


Fig. 1. Lirio acuático (Eichhornia crassipes (Mart) Solms).

Tijuana sólo cuenta con una Planta Tratadora localizada en Punta Bandera, con una capacidad para $65.3 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{día}$ de agua residual, que es tratada a base de oxigenación y clorinación, por tanto no garantiza un tratamiento óptimo y por otra parte un volumen superior a $30 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{día}$, son arrojados al medio marino a través de territorio norteamericano, (Miranda, 1989).

En consecuencia Christoulas y Andreadakis (1989), propusieron instalar pequeñas plantas tratadoras de agua residual, para centros poblacionales aislados, así como hoteles y fraccionamientos costeros, evitando la contaminación del ambiente marino y resolver parcialmente la escasez de agua al lograr su reutilización.

ANTECEDENTES

De acuerdo a De Busk, et al (1989), establecen que el lirio acuático, es una de las especies más apropiadas para depurar agua residual doméstica por su rápido crecimiento y gran capacidad de adaptación, además de sus características fenotípicas. Su raíz sirve de apoyo a microbios y también para atrapar sustancias no solubles; facilitando su precipitación o degradación microbiana en dióxido de carbono, amoníaco, fosfatos, sulfatos etc., que son aprovechados por el lirio acuático.

Otros autores como Orth y Saptoka (1988), señalan que el uso del lirio acuático en el tratamiento de aguas negras, constituye uno de los sistemas más económicos en comparación con otras alternativas en el tratamiento secundario convencional, ya que conforma un sistema ecológico (fig. 2), en que la calidad de agua obtenida permite su uso en riego de parques, por su bajo contenido de sales orgánicas, inorgánicas, así como de metales pesados.

Este sistema es una innovación en el tratamiento de agua residual, que fué implementado por Seidel en el año de 1976, en la República Federal Alemana, utilizando lirio acuático, además de peces, caracoles, protozoarios, algas, hongos y bacterias, entre otros organismos, que conjuntamente

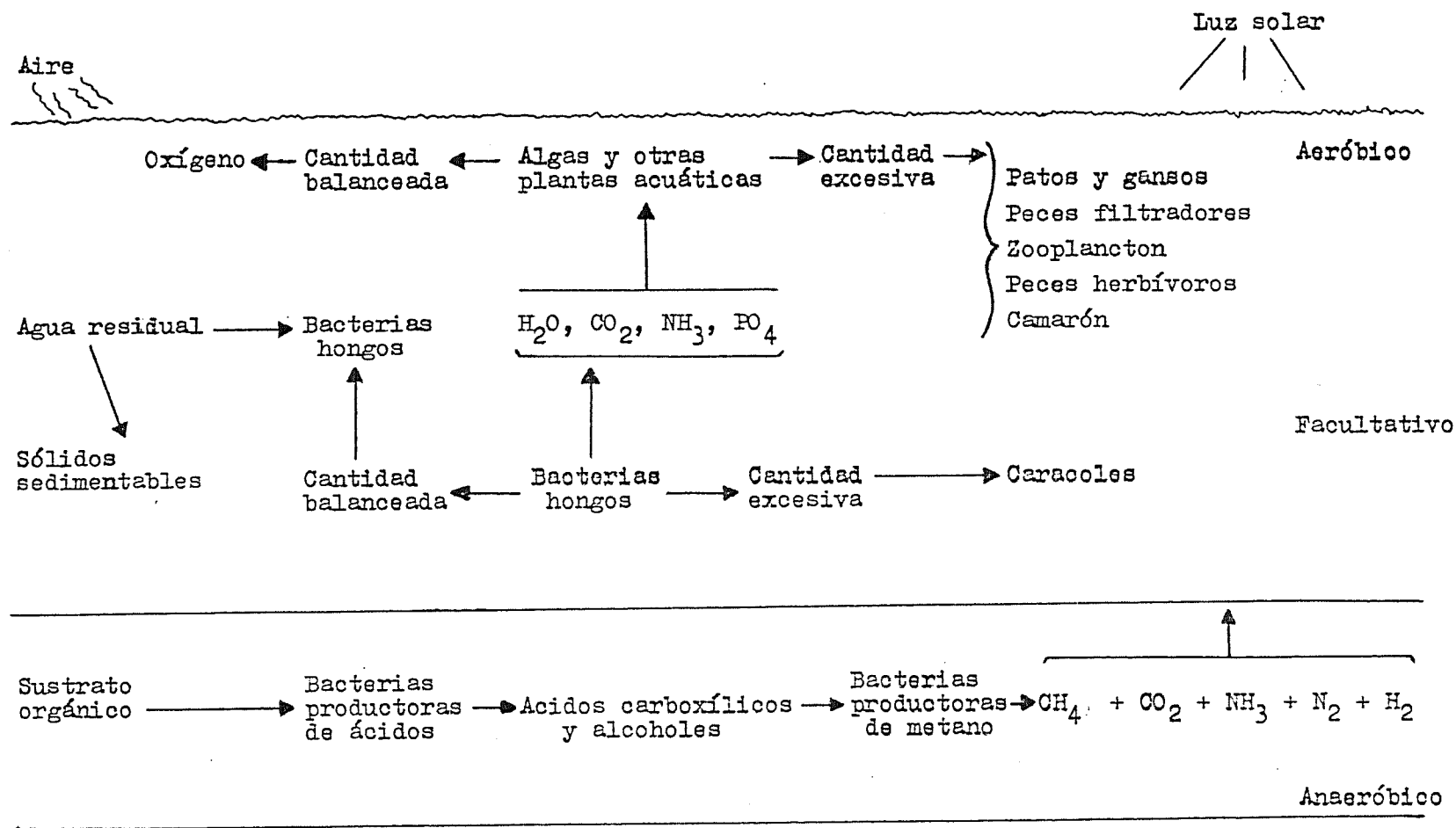


Fig. 2. Ecosistema en el tratamiento de agua residual doméstica.

Fuente: Orth y Saptoka, (1988).

contribuyen a depurar el agua residual doméstica (Baozhen, 1987).

Las instalaciones que se requieren para la implementación de este sistema son sencillas, de bajo mantenimiento, y el agua tratada alcanza un grado de pureza comparable al tratamiento secundario convencional, (Urbanck y Gaberscik 1989).

La distribución del lirio acuático considerada como una planta exótica abarca zonas tropicales y subtropicales, es un vegetal perenne de libre flotación en cuerpos de agua dulce, (Center y Spencer, 1981). Por su parte, Barret (1980), señala que se trata de una monocotiledónea del Orden Liliales, Familia Pontedereaceae, con inflorescencia espigada de 8 a 15 flores sésiles, trimórficas o sea que su estilo, estambres y granos de polen son de tres tamaños diferentes (fig. 3).

En relación a su desarrollo este es influenciado por la temperatura, luz, pH y profundidad del estanque, según reportes de Center y Spencer (1981). De acuerdo a Wood y Alexander (1987), la temperatura es óptima entre los 25°C y 27°C, pero es inhibida a menos de 10°C o al ser mayor de 40°C, cuya floración requiere de 27°C y humedad relativa de 80%.

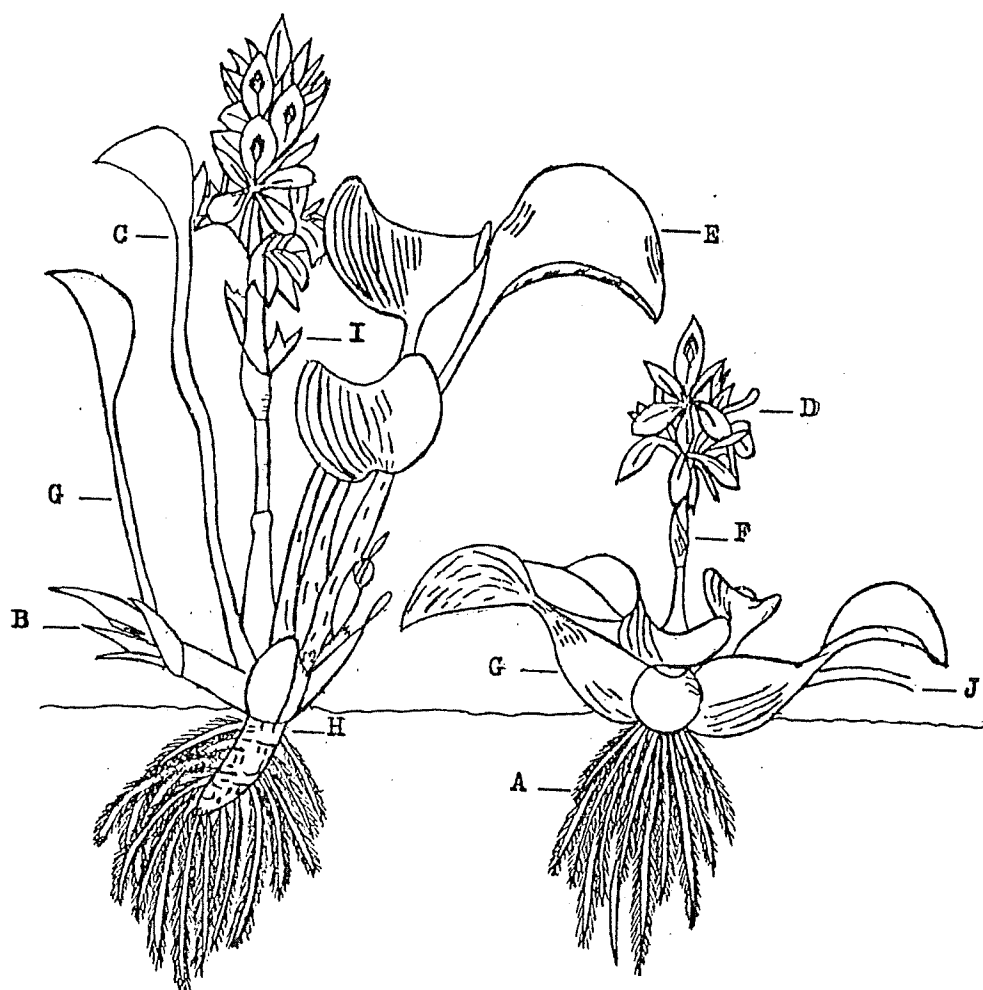


Fig. 3. Esquema generalizado del lirio acuático.
 A. Raíz, B. Bráctea o prophyllum, C. Istmo
 D. Inflorescencia, E. Lámina, F. Pedúnculo
 G. Pecíolo, H. Rizoma o tallo, I. Espádice
 J. Estolón.

Fuente: Center y Spencer (1981).

El desarrollo óptimo se da en un pH de 6 a 8, cuya raíz posee rafidios, que pueden liberar iones calcio y contrarrestar la acción de los iones hidrógeno, (Gopal, 1987).

La profundidad es un factor importante, pues se requieren estanques con profundidad mínima de 50 cm, verificado por Center y Spencer (1981), de lo contrario se inhibe su proceso de asimilación.

Su tasa fotosintética es alta, pues a concentración de 400 ppm de dióxido de carbono, 25°C y 70% de humedad relativa, puede fijar hasta 16.1 mg de dióxido de carbono por dm^2/hora , (Gopal, 1987).

En estudios relacionados a sus necesidades nutricionales, Bosserman (1981), experimentó colocando plantas en agua potable y en agua residual doméstica, con nutrientes totales de 8.04 mg/l y 52.33 mg/l respectivamente, notando que las plantas cultivadas en agua contaminada acumularon ocho veces más biomasa en comparación a las plantas cultivadas en agua potable.

Baozhen (1987), afirma que el crecimiento ideal ocurre en 30 mg/l de calcio, 10 a 50 mg/l de nitrógeno, 1 a 15mg/l de fósforo, potasio de 2 a 10 mg/l y conductancia de 87 a 8 522 microohms, además puede asimilar metales como fierro,

Manganeso, cromo, plomo, etc., mientras que Gopal (1987), - reconoce su capacidad para degradar fenoles, pues posee células foliares con depósitos de O-dihidroxifenoles.

En su raíz se hallan bacterias como Thiobacillus ferro oxidans, que usa dióxido de carbono y oxida al ión ferroso y azufre elemental, así como Sphaerotilus natans que requiere de calcio, amoníaco, nitratos y nitritos en su metabolismo y en cuya vaina se halla hidróxido de hierro, además en asociación con bacterias saprófitas como Helminthosporium sp, contribuyen a degradar materia orgánica y otras sustancias, entre variadas bacterias, (Hellawell, 1986).

El lirio acuático crea condiciones para el desarrollo de algas como Navicula sp, Synedra sp, y los géneros Soyrogyra, Ulothrix, etc., que usan dióxido de carbono, amoníaco, nitratos, nitritos, sulfatos y sulfitos en su metabolismo a través de la fotosíntesis liberando oxígeno, que será aprovechado por otros organismos, creando una complicada cadena trófica, (Bitton, 1984).

También es posible hallar en la raíz del lirio acuático hongos, tales como Geotrichum candidum, que oxida ácido láctico y Leptomitus lacteus, que ocupa nitrógeno orgánico en su metabolismo, (Gopal, 1987).

Entre los protozoarios asociados a la raíz del lirio acuático se halla Carchesium polypinum, Colpidium colpoda y Paramecium caudatum, que esencialmente se alimentan de bacterias, algas y otros protozoarios, mientras que el género Vorticella consume detritus, (Baozhen, 1987).

Gopal (1987), registra la presencia de larvas de mosquitos del género Eristalis, que consume materia orgánica, oligoquetos como Tubifex sp y Limnodrilus sp, cuya dieta principal es a base de bacterias, y es común encontrar a moluscos como Lymnea peregra y Physa fontynalis consumidores de algas filamentosas.

Entre los organismos patógenos más comunes en agua residual doméstica (tabla I), Lechtenberg, et al (1988), reconocen la presencia de Escherichia coli como causante de gastroenteritis; Entamoeba histolytica que provoca disentería, abscesos hepáticos etc.; Salmonella sp ocasiona tifoidea, paratifoidea; Ascaris lumbricoides produce ascariasis y Aspergillus fumigatus ocasiona infecciones respiratorias, y el virus de la hepatitis, entre otros organismos, cuyas poblaciones se reducen o eliminan en diversas etapas del sistema de tratamiento.

El lirio acuático es de rápida multiplicación, con densidad ideal de 15 a 25 plantas/m², por tanto Center y Spen-

Tabla 1. Microorganismos patógenos al hombre de posible
ocurrencia en agua residual doméstica.

Grupo	Patógeno	Enfermedad
Bacterias	<u>Salmonella spp.</u>	Tifoidea, paratifoidea
	<u>Shigella spp.</u>	Disentería
	<u>Escherichia coli</u>	Gastroenteritis
	<u>Compilobacter jejuni</u>	Gastroenteritis
	<u>Vibrio cholerae</u>	Cólera
	<u>Leptospira spp.</u>	Enfermedad de Weil
Protozoarios	<u>Entamoeba histolytica</u>	Disentería amibiana
	<u>Giardia lamblia</u>	Diarrea
	<u>Balantidium coli</u>	Diarrea
	<u>Cryptosporium spp.</u>	Diarrea
Helmintos	<u>Ascaris lumbricoides</u>	Ascariasis
	<u>Ancylostoma duodenale</u>	Anemia
	<u>Necator americanus</u>	Anemia
	<u>Taenia saginata</u>	Teniasis
	<u>Trichurus trichiura</u>	Diarrea
	<u>Toxocara canis</u>	Fiebre
Hongos	<u>Aspergillus fumigatus</u>	Infección respiratoria
	<u>Candida albicans</u>	Candidiasis
	<u>Cryptococcus neoformans</u>	Meningitis crónica
	<u>Epidermophyton spp.</u>	Pie de atleta
	<u>Phialophora spp.</u>	Infección tejidos
Virus	Poliovirus	Meningitis, parálisis
	Echovirus	Meningitis, diarrea
	Coxsackievirus A	Meningitis, respiratorias
	Hepatitis A	Infección hígado
	Astrovirus	Gastroenteritis
	Rotavirus	Diarrea, vómitos
	Adenovirus	Enfermedades respiratorias

Fuente: Lechtenberg, et al (1988).

cer (1981), sugieren controlar su densidad y distribución, pues puede bloquear canales e invadir cuerpos de agua, posibilidad que se disminuye para la Costa Occidental de Baja California, ya que casi no existen cuerpos de agua dulce, - (fig. 4). Esta acelerada multiplicación es una de las características, que hacen posible su uso en el tratamiento de agua residual doméstica, por asimilar nutrientes y así - mantener su elevada tasa metabólica, que al ser cosechado se aprovecha como alimento de ganado o fertilizante, mientras que el agua depurada se utiliza para fines secundarios como riego de jardines, (Gopal, 1987).

A pesar de la efectividad del lirio acuático en la depuración de agua residual doméstica, Zirschki y Reed (1988) recomiendan utilizar otra macrofita acuática como lentejuela del agua (Lemna sp), cuyo metabolismo se mantiene normal a 0°C, siendo entonces auxiliar en la depuración hídrica, sobre todo en época de invierno.

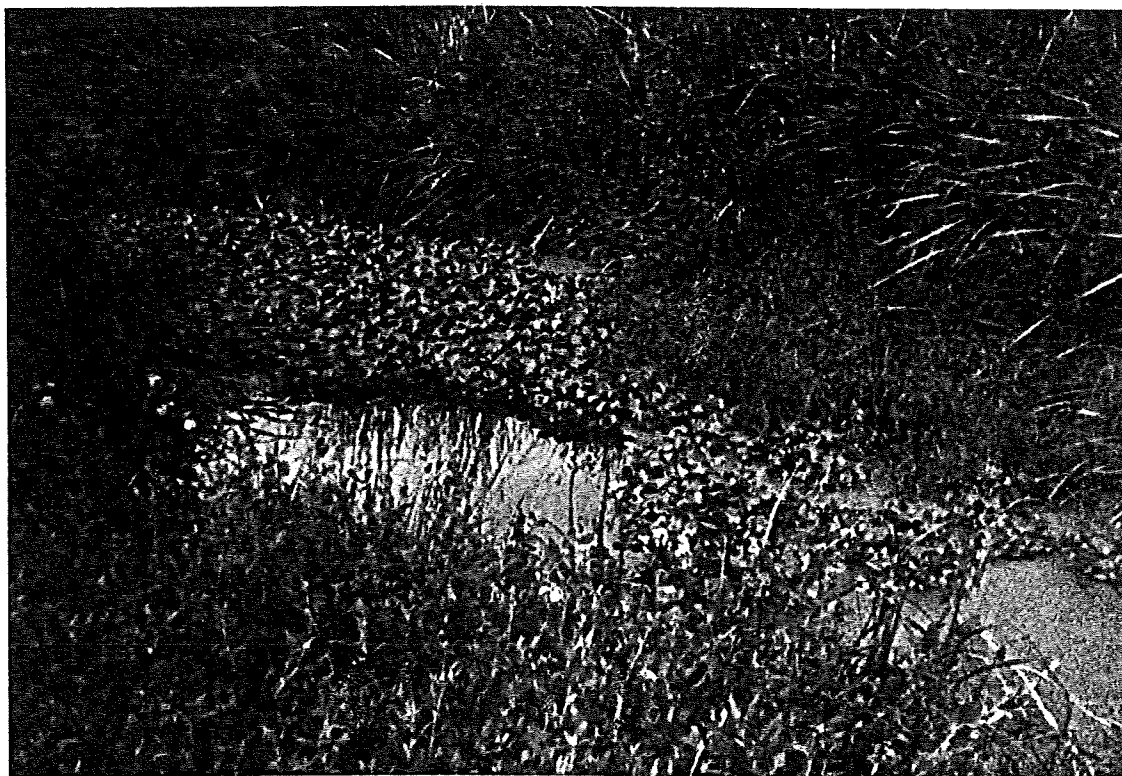


Fig. 4. Embalse pequeño con lirio acuático, en
Rosarito, B. C.

OBJETIVOS

- I. Cultivar lirio acuático (Eichhornia crassipes (Mart) Solms) en agua residual doméstica.
- II. Obtener una calidad de agua de la Clase D-II (tabla II), para uso regresivo, conservación de la flora, fauna y usos industriales, (SEDUE, 1984).

Tabla II, Concentración máxima permisible para el agua de la Clase D-II.

Parámetro	Máximo permisible
pH	6.8 a 9
Temperatura	25°C + 2.5°C
Oxígeno disuelto	4 mg/l
Bacterias coliformes NMP/100 ml	10 000 <u>coliformes tot.</u> Prom. mensual
Grasa	No película visible
Sólidos disueltos	2 000 mg/l
Turbidez	50 Unid. Tec. Jackson
Materia flotante	Ausente
Arsénico	1 mg/l
Bario	5 mg/l
Cadmio	0.01 mg/l
Cobre	0.1 mg/l
Cromo hexavalente	0.1 mg/l
Mercurio	0.1 mg/l
Plomo	0.5 mg/l
Selenio	0.05 mg/l
Cianuro	0,02 mg/l
Fenoles	1.00 mg/l
SAAM, Sust. activas azul met.	3.00 mg/l

Fuente: SEDUE, 1984.

METODOLOGIA

La Planta Tratadora de Agua Residual Doméstica del Complejo Turístico Rosarito (fig. 5), se compone de una pileta anaeróbica, seguida de una pileta aeróbica y luego la fosa con lirio acuático, para concluir en la etapa de clorinación y filtración (fig. 6), cuya operación se inició en Enero de 1989.

El Tratamiento Primario o Fase Anaeróbica, se efectuó en una pileta que mide 10m de largo, 6m de ancho y 2m de -- profundidad, donde la materia orgánica es degradada anaeróbicamente por diversos organismos como los géneros de bacterias Bacteroides, Eubacterium, Desulfovibrio, Acetobacterium y Metanothrix entre los más importantes, y que se desarrollan en condiciones óptimas a pH 6.5 a 7.2 y temperatura de 5°C a 60°C, (Novaes, 1987).

Steber (1987), afirma que los detergentes se reducen a metano y dióxido de carbono en un 85%, pero a concentración mayor de 15 mg/l inhiben al sistema microbiano anaeróbico, mientras que agentes oxidantes como el nitrato, cromo hexavalente y sales férricas, se transforman en nitrógeno y amoníaco, cromo trivalente y sales ferrosas.

En relación a metales pesados Curi (1980), determinó -- que la suma de zinc, níquel, plomo, cadmio y cobre en concentración superior a 400 meq/Kg de peso seco es adverso --

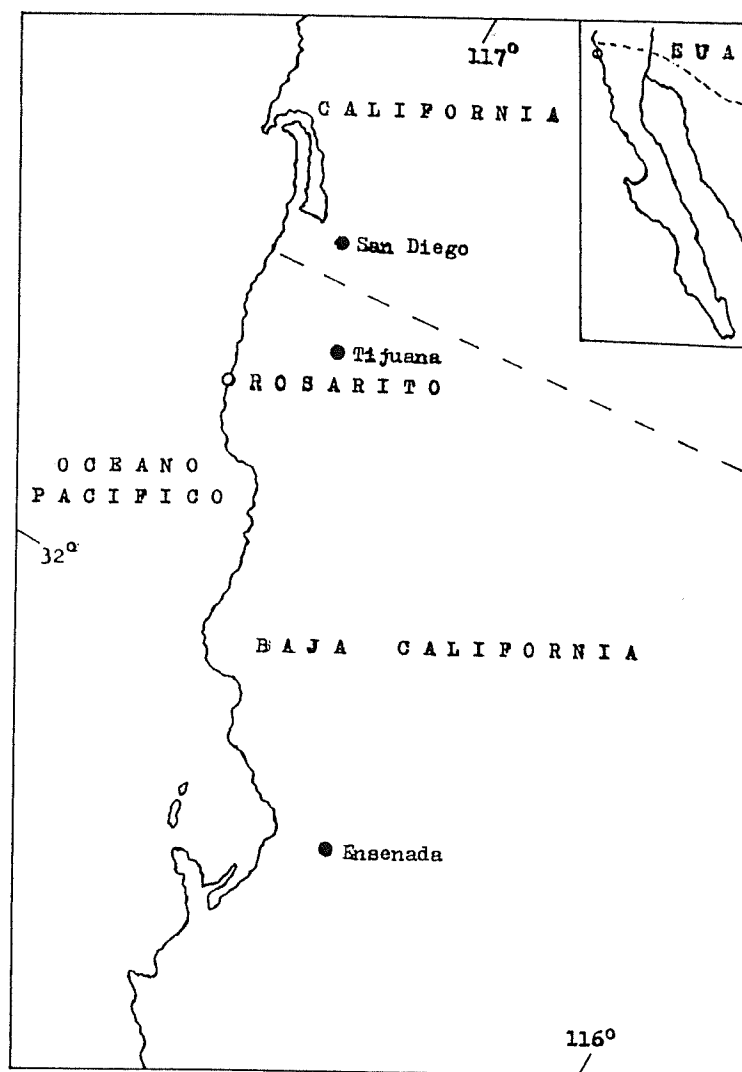


Fig. 5. Situación geográfica de la Delegación Playas de Rosarito, Municipio de Tijuana, B.C.

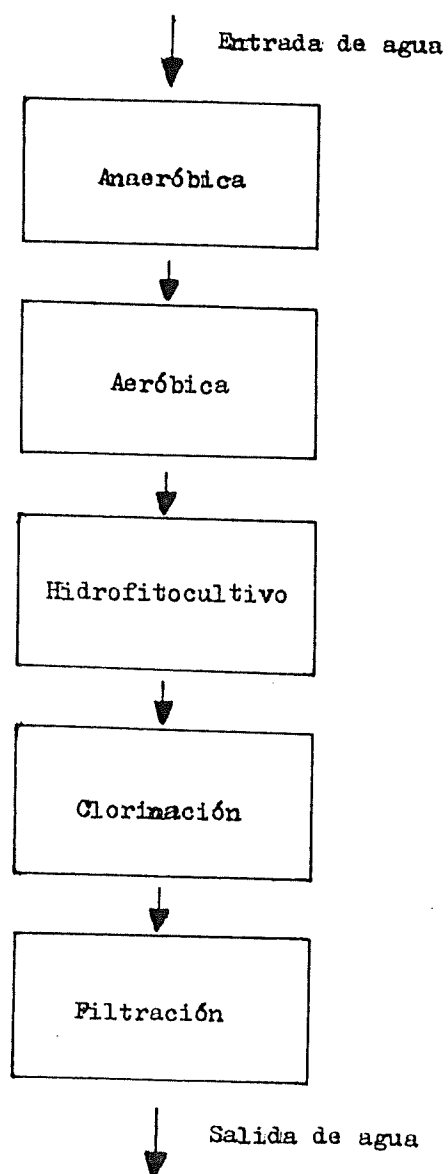


Fig. 6. Diagrama de flujo hídrico en las fases del Sistema de Tratamiento.

para bacterias metanógenas, mientras que el cromo al sobrepasar 2.5% en peso seco tiene los mismos efectos inhibitorios sobre este tipo de bacterias anaeróbicas.

En esta etapa también ocurre la retención de sólidos gruesos y sedimentación de materia, (Hulshoff, 1986).

El Tratamiento Secundario comprende dos piletas, la primera es llamada aeróbica por recibir aire y la segunda posee lirio acuático. La pileta aeróbica mide 30m de largo, 24m de ancho y 1.4m de profundidad (fig. 7), recibe aire para reducir la concentración de coliformes y otros microbios por oxidación, así como de materia orgánica como el cloroformo, clorobenceno, etc., (Narasiah, 1987). Además favorece el desarrollo de bacterias aeróbicas como el género Pseudomonas, Citribacter y Achromobacter, que degradan materia orgánica, (Kadlec, 1987).

La segunda pileta tiene las mismas medidas que la anterior, donde se cultivó lirio acuático (fig. 8), para mejorar la calidad hídrica en el proceso general, (Gopal, 1987)

De acuerdo a Marjanovic e Ingjatovic (1987), antes de colocar el vegetal, para su cultivo se agregó un tercio de agua residual y el resto de agua potable, para luego dejarse en reposo un mes, a fin de lograr su maduración y establecimiento de diversos organismos.

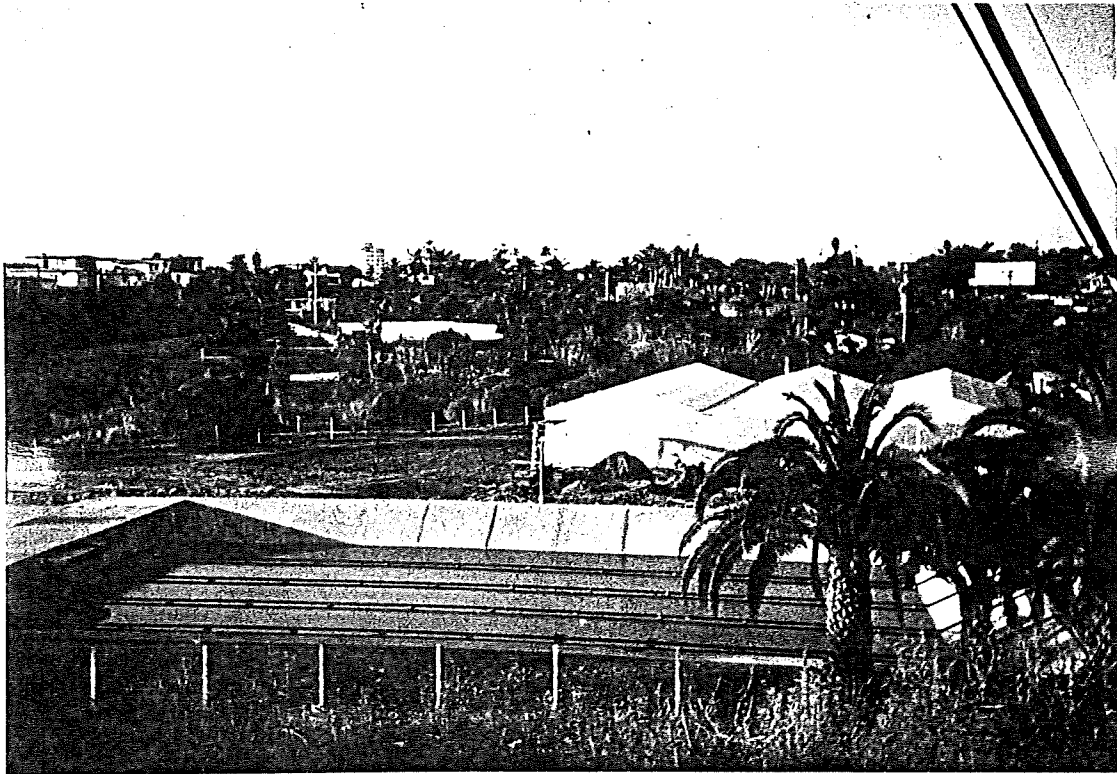


Fig. 7. Fosa aeróbica, donde se observa el sistema de aereación.

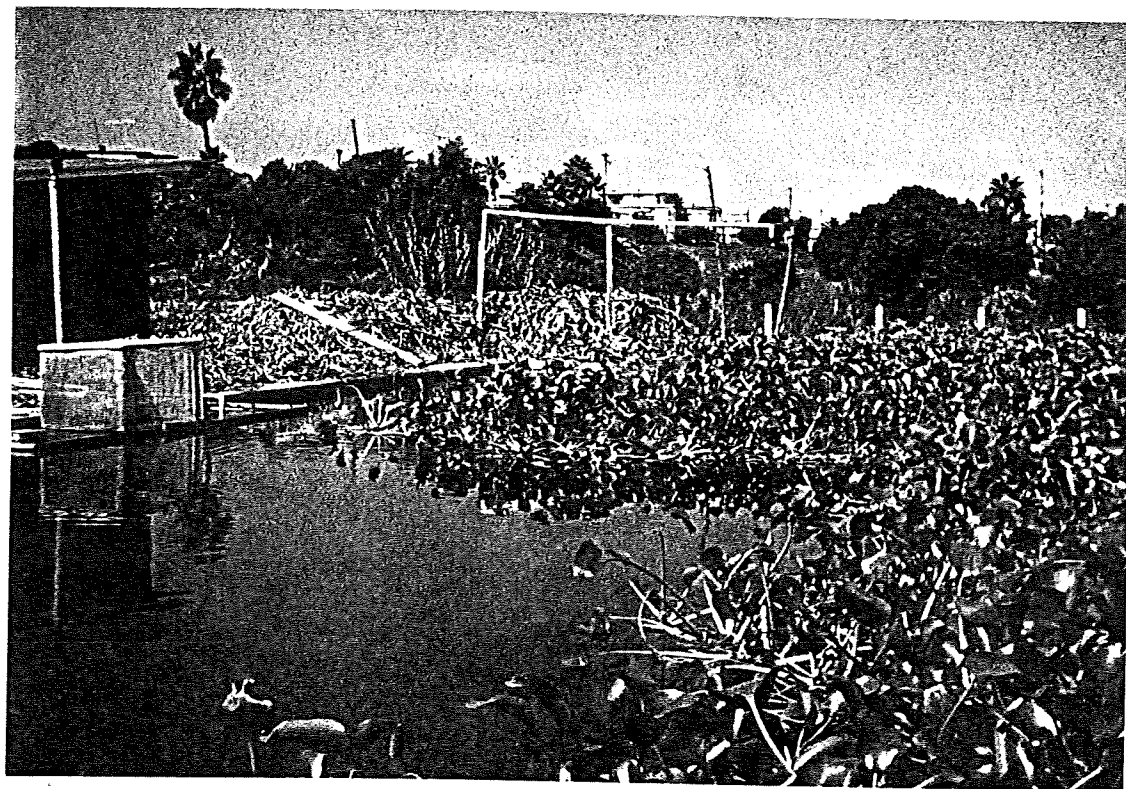


Fig. 8. Pileta con hidrofítocultivo de lirio acuático.

Transcurrido el tiempo de maduración del Sistema Biológico, se procedió al cultivo de lirio acuático a partir del 15 de Febrero de 1989, con 100 plantas, observando escaso desarrollo durante dos meses, de ahí que se agregó ácido giberélico durante un mes en proporción inicial de 0.1 mg/l y tres aplicaciones semanales de 0.05 mg/l, a recomendación de Joyce y Haller (1985), a partir del 15 de Abril de 1989.

Su desarrollo se observó mediante los parámetros nitrógeno, fósforo y temperatura a propuesta de Imaoka y Teranishi (1988). El rango adecuado de nitrógeno es 10 a 50 mg/l, pues a menos de este rango se observa clorosis foliar, cuyo valor se halló por el método Kjeldahl, luego de secar hojas por 24 horas a 105°C, (Suess, 1982).

El fósforo se halla en ácidos nucleicos, siendo la proporción ideal de 1 a 15 mg/l, analizado por el método de cloruro estañoso, luego de digerir hojas con ácido sulfúrico y secar a 105°C por 24 horas, (op. cit.).

La temperatura óptima es de 15°C a 25°C, mientras que a menos de 10°C se inhiben los estomas y por abajo de 5°C se retrasa su desarrollo, siendo medida a diario mediante el termómetro.

Los parámetros nitrógeno y fósforo, de acuerdo a Bao--zhen (1987), se determinarán tomando cinco gramos de hojas de diferentes plantas, en intervalos de cinco a siete días.

Así mismo se analizó su desarrollo mediante la ecuación de Imaoka y Teranishi (1988): $dW = KW_t$
donde: W_t = Biomasa en gr/m^2 por unidad de área a cierto tiempo, equivalente a densidad vegetal.

K = Se determina graficamente en semilog, usando W_t contra tiempo.

El lirio acuático es un vegetal de rápida multiplicación, por tanto Center y Spencer (1981), proponen conservar una densidad de 25 plantas/ m^2 , a fin de mantener un desarrollo adecuado, de lo contrario se da una competencia intraspecifica por luz y espacio, además se convierte en refugio para organismos indeseables, al sobrepasar la densidad recomendada, en consecuencia se practicó su cosecha y se convirtió en compost, siguiendo la técnica de Kawai, et al (1987) que consiste en triturar el lirio acuático y agregarle 5% de estiércol de pollo, para luego formar pilas y voltearlo cada 15 días.

Por otra parte se adicionarán técnicas para controlar el desarrollo de algas del género Chlorella y Scenedesmus, que cubrieron al lirio acuático, mediante la adición de len

tejuela del agua (Lemna sp) y la creación de tres poblaciones con 35 plantas cada una.

Otra situación imprevista fué la presencia de larvas de mosquitos del género Culex, por tanto se utilizó esporas de la bacteria Bacillus thuringiensis var. israelensis, agregando 0.9 Kg al estanque con lirios acuáticos, pues Houston (1989), recomienda agregar 2 gr/m², de efectos tóxicos para estas larvas y como depredadores se colocaron 25 peces Gambusia affinis, (Fernández y Delgado, 1989), y también se colocaron aspersores con el propósito de alejar a las hembras del mosquito, que requiere de aguas tranquilas para ovodepositar (fig. 9).

Una clorinación posterior al tratamiento con lirio acuático (Tabla III), es aplicada con el fin de inactivar o reducir la cantidad de microbios como el virus de la polio, virus de la hepatitis, bacterias coliformes, hongos del género Cladosporium y Phaecoccus, levaduras del género Candida y Rhodotorula, así como amibas entre otros organismos, (Shuval y Fattal, 1986). Además Rudd y Hopkinson (1989), recomiendan la adición de 3 mg/l de hipoclorito de sodio, con 60 min. de contacto en cada una de las fosas de clorinación.



Fig. 9. Aspersor utilizado para alejar mosquitos.

Tabla III, Inactivación de microbios por cloro.

Microbio	Cloro total mg/l	Temp. °C	pH	Tiempo contacto min.	Porcentaje reducción
Virus entéricos	2.00	20	7.5	45	97.3
Poliovirus 3	4.5	18	7.2	20	90
Coxsackievirus A ₅	1.5	20	7.8	33.5	99.99
Reovirus 3	1.0	16	7.8	30	99.99
<u>Legionella</u> <u>pneumophila</u>	3.3	20	7	60	99.8
<u>Pseudomona</u> <u>aeruginosa</u>	1.7	18	7.4	15	99.9
Hongos patógenos	15	20	7.5	20	99
<u>Escherichia coli</u>	1.0	20	7.2	10	100
<u>Giardia lamblia</u>	3.0	15	7,	50	99

Fuente: Budd y Hopkinson, (1989).

La última etapa del tratamiento es la filtración, a velocidad promedio de 60 lt/min, mediante grava con medida de 1 a 5 cm en promedio y arena de 1 a 3 mm, a fin de reducir sólidos suspendidos, (Ellis, 1987), mientras que Ohgaki, et al (1986), reportan la adsorción de virus entéricos en la superficie de la arena, además Hatva (1988), confirma la presencia de bacterias del género Gallionella, Leptothrix y Ochrobium, que usan hierro en su metabolismo, así como Metallogenium que utiliza manganeso. y por su parte Aulenbach y Messisheng (1988), identificaron compuestos de fósforo adheridos a la superficie de la arena.

A fin de evaluar la calidad del agua y eficiencia del tratamiento, se consideró los parámetros recomendados por la SEDUE (1984), para el agua de la Clase D-II (Tabla II), que se desarrollaron de acuerdo a las siguientes técnicas o métodos:

pH	Potenciómetro, (Patacki y Zapp, 1980).
Oxígeno disuelto	Reflujo con dicromato, (Wilson, 1986).
Bacterias coliformes	Caldo lactosado en tubos Durham, Agar Eosina - azul de metileno, incubar a 37°C durante 24 horas, (Suess, 1982a).
Grasa	Soxhlet, (Fresenius, 1988).
Turbidez	Nefelómetro, (op. cit.).

Sólidos disueltos	Filtración y gravimetría, (Suess, 1982).
Bario	Acido sulfúrico y gravimetría, (op. cit.).
Arsénico	Espectrofotómetro dietil-ditio-carbamato de -- plata, (Wilson, 1986).
Cadmio	Colorimetría ditizona, (Suess, 1982).
Cobre	Colorimetría ditizona, (op. cit.).
Mercurio	Colorimetría ditizona, (op. cit.).
Cromo hexavalente	Colorimetría difenil carbazida, (Wilson, 1986)
Plomo	Colorimetría ditizona, (Suess, 1982).
Selenio	2,3-diaminonaftaleno, (op. cit.).
Cianuro	Colorimetría nitrato plata, (Fresenius, 1988).
Fenoles	Espectrofotómetro bipirina 4-aminoantipirina - (Pataki y Zapp, 1980).
SAAM	Cloroformo y azul de metileno, (Suess, 1980).

RESULTADOS

Esta Planta Tratadora de Agua residual Doméstica, se compone por una fase anaeróbica, aeróbica, hidrofítocultivo, clorinación y filtración, cuyas características de cada fase se resumen en la tabla IV, donde se muestra su capacidad y retención hídrica, elementos accesorios como bombas de agua, aire, etc., y el volumen hídrico tratado durante la ejecución del trabajo.

Durante el periodo de maduración del Sistema Biológico apareció una capa de algas del género Chlorella y Scenedesmus, que cubrió al lirio acuático, luego de iniciar su cultivo en el mes de Febrero de 1989, situación que se abatió mediante la creación de tres poblaciones de plantas, cultivo de lentejuela del agua y la aplicación de ácido giberélico como estimulante del crecimiento vegetal, desapareciendo esta situación en tres semanas.

Para el mes de Mayo de 1989, se procedió a determinar el contenido de nitrógeno y fósforo en hojas de lirio acuático, cuyos resultados se observan en la tabla V, indicando que este tipo de agua es rica en los elementos de referencia y por la alta reproducción vegetativa.

Tabla IV, Descripción de la Planta Tratadora de Agua Residual Doméstica del Complejo Turístico Rosarito.

Habitantes del Fraccionamiento: 1 125 personas en 225 casas^a
 Huéspedes del Hotel: 434 personas al día^b
 Empleados del Complejo Turístico: 120 personas/24 horas
 Volumen total de agua a tratar: 1 762 950 litros/semana^c

Fosa Anaeróbica:

Largo 10m
 Ancho 6m
 Profundidad 2m
 Volumen 120m³
 Retención hídrica 2 a 4 días

Fosa Aeróbica:

Largo 30m
 Ancho 24m
 Profundidad 1.4m
 Volumen 1 008m³
 Dos sopladores 8 caballos de fuerza cada uno
 Retención hídrica 5 a 7 días

Fosa con hidrofitas:

Largo 30m
 Ancho 24m
 Profundidad 1.4m
 Volumen 1 008m³
 Dos bombas 5 caballos de fuerza cada una
 Aspersores 8
 Retención hídrica 5 a 7 días

Fosas de Clorinación:

Tanque horizontal 12.56m³
 Tanque vertical 2.35m³
 Retención hídrica 60 minutos en cada tanque

Tanque de Filtración:

Capa de arena 60cm de altura
 Capa de grava 40cm de altura
 Velocidad de filtración 60 litros/minuto

Volumen Tratado:

Junio de 1989: 180 pipas, 4 000 litros c/u
 Julio de 1989: 260 pipas, 4 000 litros c/u
 Agosto de 1989: 240 pipas, 4 000 litros c/u

- a. Se consideró 5 personas por casa-habitación.
 b. Hospedaje promedio de Junio a Agosto, comunicación personal del Sr. Madariaga, Gerente del Complejo Turístico.
 c. Cálculo basado en 150 litros/día por persona.

Tabla V, Contenido de nitrógeno y fósforo
en hojas de lirio acuático.

Periodo 1989	Nitrógeno ^a mg/l			Fósforo ^a mg/l		
Abril 24		1.39		0.25		
Mayo 9	1.12 ^b	1.20 ^c	1.13 ^d	0.23 ^b	0.23 ^c	0.12 ^d
26	0.94	1.12	1.27	0.06	0.10	0.16
Junio 6	0.93	1.60	1.93	0.07	0.10	0.16
20	0.92	1.75	2.14	0.06	0.17	0.21
Julio 3	1.10	1.50	2.14	0.06	0.09	0.15
18	0.86	1.40	1.72	0.12	0.10	0.14
Agosto 5	0.94	1.64	1.69	0.07	0.12	0.16
22	1.00	1.80	1.92	0.35	0.10	0.24

a. Análisis hídrico realizado en tres poblaciones.

b,c,d. Población uno, dos y tres respectivamente.

Respecto a su desarrollo es exponencial, según se desprende de la ecuación de Imaoka y Teranishi (1988), utilizada para evaluar su crecimiento, cuya gráfica se muestra en la figura 10.

Para Junio de 1989, el lirio acuático cubría el 80% -- del área superficial, por tanto se inició el análisis de parámetros propuestos por la SEDUE (1984), para el agua de la Clase D-II, cuyos datos se expresan en la tabla VI, que al compararse a los límites permisibles por la SEDUE, para el agua de la Clase antes señalada, los valores obtenidos cumplen plenamente con las concentraciones máximas establecidas por esta Dependencia Oficial.

En el mes de Julio de 1989, se observó un exceso de -- larvas y mosquitos dentro y fuera del estanque con lirios -- acuáticos, situación que se resolvió mediante esporas de -- Bacillus thuringiensis var. israelensis de efectos tóxicos para estas larvas, así como la instalación de aspersores, -- que alejan a las hembras y no ovodepositan, además se adicionaron peces Gambusia affinis, que son depredadores de -- larvas de mosquitos.

Se inició la cosecha de lirio acuático el 20 de Julio de 1989, al sobrepasar la densidad de 25 plantas/m², consi-

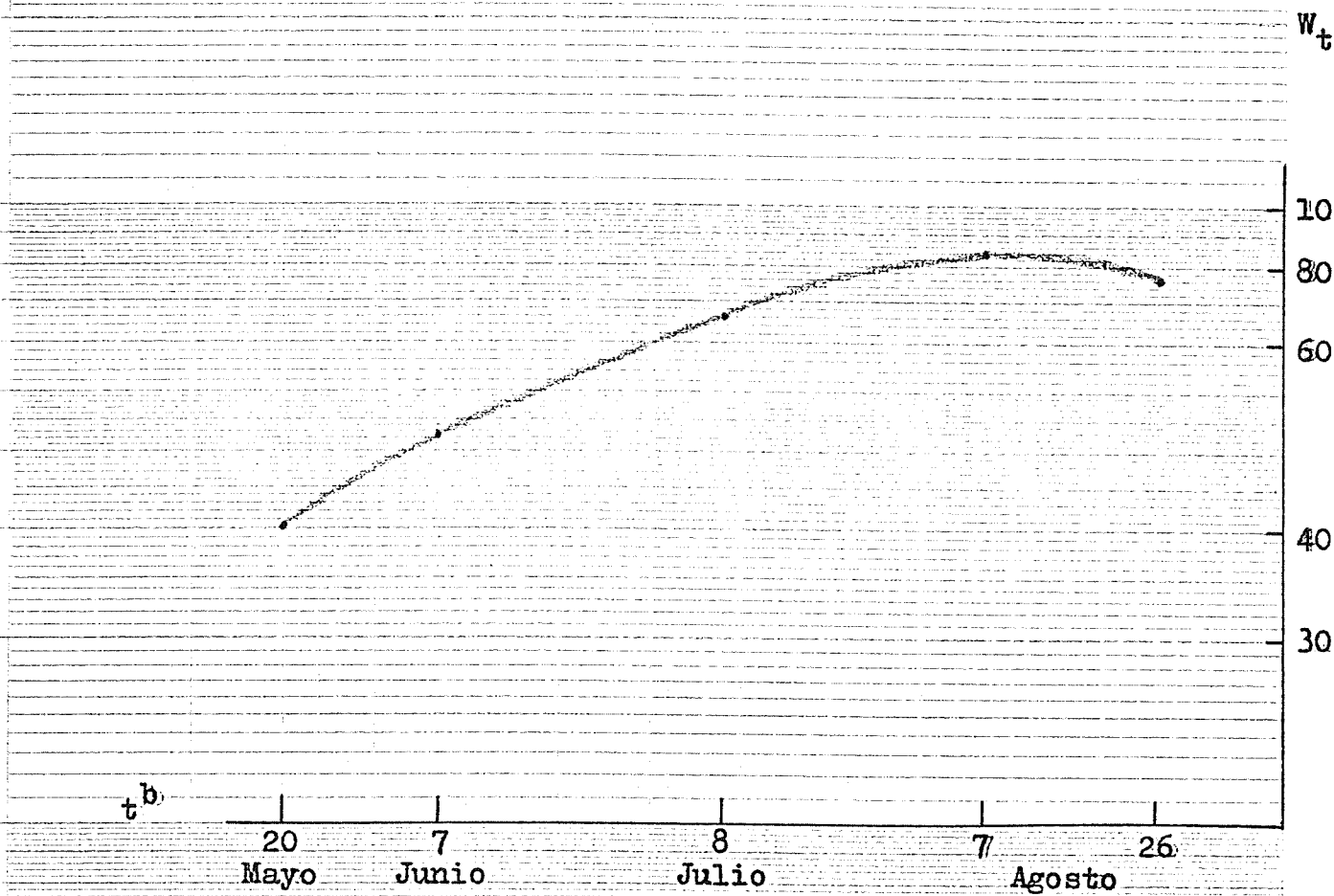


Fig. 10. Gráfica de crecimiento del lirio acuático.

a. Densidad media

b. Tiempo en días

Tabla VI, Resumen de los parámetros analizados al flujo hídrico antes y después de ser tratada.

		Junio	Julio	Agosto	Límite máximo. SEDUE, 1984
pH	influyente	7.4 ^a	8.0	8.2	
	efluente	7	7.3	7.7	6.8 a 9
Sólidos disueltos	inf.	50	75	100 mg/l	
	efl.	18	12	10 mg/l	200 mg/l
Bacterias coliformes	inf.	0.5x10 ⁵	0.3x10 ⁵	4x10 ⁴	
	efl.	5x10 ³	9x10 ²	4x10 ³	1x10 ⁴ colif. tot. prom. mensual
Fenoles	inf.	0.01	0.04	0.16 mg/l	
	efl.	0.001	0.002	0.06 mg/l	1 mg/l
Cianuro	inf.	0.01	0.03	0.09 mg/l	
	efl.	0.008	0.001	0.002 mg/l	0.02 mg/l
Mercurio	inf.	0.022	0.016	0.011 mg/l	
	efl.	0.003	0.005	0.008 mg/l	0.01 mg/l
Cromo hexavalente	inf.	0.42	0.03	0.97 microgr/l	
	efl.	0.07	0.01	0.07 microgr/l	0.1 mg/l
Bario	inf.	3.5	1.46	2.70 microgr/l	
	efl.	1.2	0.05	1.28 microgr/l	5 mg/l
Cobre	inf.	0.15	0.34	0.51 mg/l	
	efl.	0.013	0.06	0.08 mg/l	0.1 mg/l
Selenio	inf.	10	6.8	4.8 microgr/l	
	efl.	3.9	3.85	3.7 microgr/l	0.05 mg/l
SAAM	inf.	12	18	20 mg/l	
	efl.	2	3	1 mg/l	3.00 mg/l
Turbidez	inf.	81	85	89 mg/l	
	efl.	10.5	9.52	12.48 mg/l	50 U. Tec. Jackson
Cadmio	inf.	5	4	3 microgr/l	
	efl.	3	2	2 microgr/l	0.01 mg/l
Plomo	inf.	50	87	75 microgr/l	
	efl.	25	18.65	32 microgr/l	0.05 mg/l
Oxígeno disuelto	inf.	2.4	1.9	1.2 mg/l	
	efl.	3.7	3.2	3.0 mg/l	4 mg/l
Arsénico	inf.	5	3.6	4.8 microgr/l	
	efl.	2.8	2.2	2.6 microgr/l	1 mg/l
Grasa	inf.	35	43	28 mg/l	
	efl.	7.3	10.27	16.5 mg/l	No película visible
Materia flotante	inf.	Ausente	Ausente	Ausente	
	efl.	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente

a. Análisis químico realizado por triplicado a cada volumen de agua tratada.

derada ideal por Center y Spencer (1981), cuya evolución de la densidad se observa en la tabla VII, señalando su elevada tasa de multiplicación en los meses de Junio, Julio y Agosto de 1989, que luego se utilizó como mejorador orgánico en terreno destinado a la producción de clavel.

 Tabla VII, Densidad del lirio acuático.

Periodo 1989	Número de plantas por m ²			Densidad media
Mayo 20	32 ^a	24	38	31.3 ^b
Junio 7	40	35	52	42.3
Julio 8	60	70	65	65
Agosto 7	70	86	84	80
26	74	77	80	77

a. Observación en tres poblaciones.

b. Densidad media de las tres poblaciones.

DISCUSIONES

El lirio acuático es un vegetal, que se clasifica como maleza acuática por alterar el equilibrio biológico en cuerpos de agua dulce, debido a su exagerada multiplicación pues cada planta madre desarrolló 8 a 10 vástagos en promedio semanal durante el verano de 1989, cualidad que se aprovecha en la depuración de agua residual (fig. 11), según lo demuestran los análisis hídricos practicados antes y después del tratamiento, así como su uso en riego del invernadero y jardines del Complejo Turístico.

Center y Spencer (1981), consideran 25 plantas/m², como ideal en Florida, EUA, esta densidad se mantuvo en nuestras instalaciones observando la proliferación de algas unicelulares del género Chlorella y Scenedesmus, llegando a cubrir al lirio acuático, probablemente debido a una menor tasa metabólica, provocada por una temperatura ambiental promedio, que para nuestra región es de 12.5°C en contraste a la registrada en Florida, que es de 20°C de temperatura media anual.

La densidad del lirio acuático en estanques de tratamiento de aguas negras, es considerada de vital importancia por impactar la calidad del agua que se somete a tratamiento, ya que esta contribuye a su depuración asimilando nu--

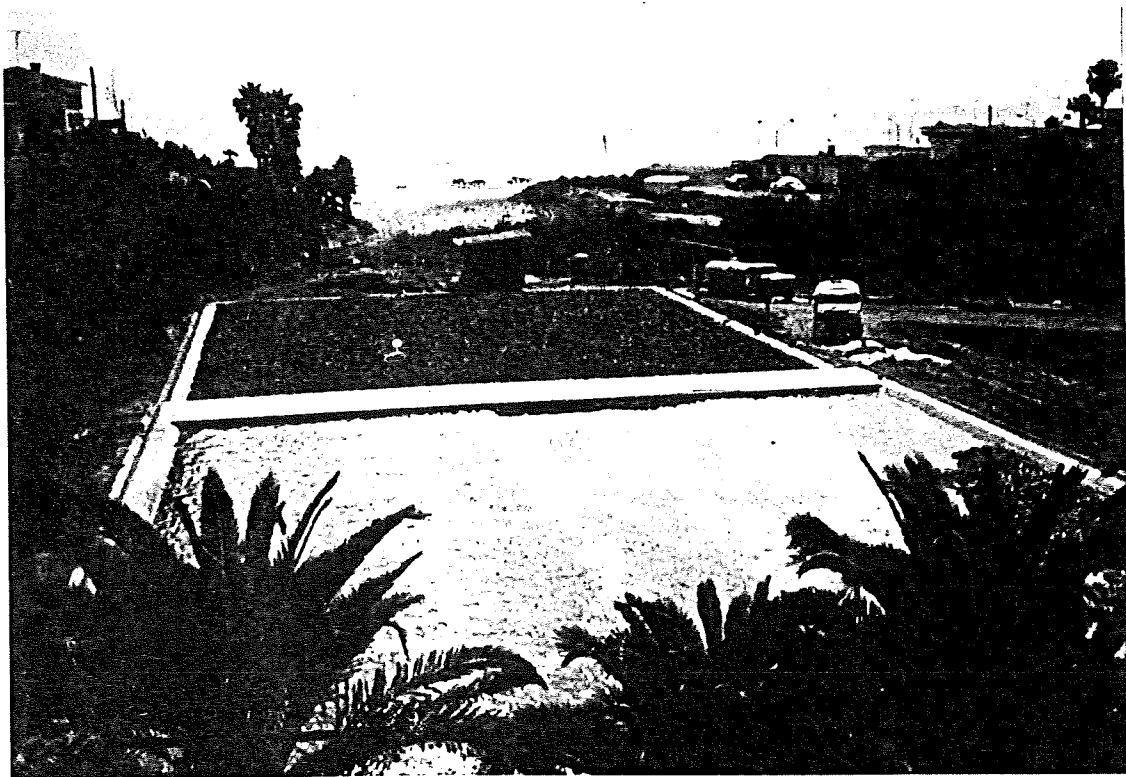


Fig. 11. Transporte de agua reciclada.

trientes presentes en el agua, así mismo considerar la temperatura por influir la capacidad de asimilación del vegetal.

Durante el periodo de maduración del Sistema Biológico se observó un desarrollo exagerado de algas unicelulares, -- siendo el motivo probable la eutroficación del medio, que -- puede inhibirse al agregar lentejuela del agua o creando pequeñas poblaciones de lirio acuático, que impidan el paso -- de luz solar y compitan por nutrientes.

La creación de lagunas artificiales con hidrofitas, -- conlleva el desarrollo de larvas de mosquitos, por tanto se utilizó esporas de Bacillus thuringiensis var. israelensis, peces Gambusia affinis y aspersores para eliminar su presencia, siendo más accesible y económico agregar peces o -- instalar aspersores en comparación al uso de esporas bacterianas, que son importadas de Florida, EUA.

El análisis matemático demuestra que el vegetal, tiene un crecimiento exponencial durante el verano (fig. 10), disminuyendo al final del experimento, que corresponde al principio de invierno o tal vez por el aumento poblacional, ya que se registró un aumento longitudinal y vertical de sus -- hojas.

El lirio acuático es un eslabón importante en la remoción de nitrógeno y fósforo, de acuerdo al análisis foliar de estos elementos, pues los requiere para su metabolismo. Así mismo, a causa probable de estos nutrientes favorecerían el desarrollo exagerado de algas unicelulares durante el periodo de maduración del Sistema Biológico, pero por otra parte, encontramos que no se incluye a estos parámetros en las especificaciones para el agua de la Clase D-II.

Algunos Sistemas para tratar agua residual doméstica, como el Sistema de Lodos Activados, produce residuos que al acumularse generan otro problema de contaminación, lo cual no ocurre mediante el cultivo de lirio acuático, por asimilar productos resultantes de la acción microbiana y que luego de cosecharse puede agregarse a suelos pobres en materia orgánica.

CONCLUSIONES

El análisis químico del agua tratada, comprueba que el lirio acuático es apropiado en el tratamiento de agua residual doméstica, pues satisface los requerimientos establecidos por la SEDUE (1984), para el agua de la Clase D-II, además, no genera contaminación posterior, ya que el vegetal cosechado es utilizado como mejorador edáfico.

De acuerdo a los datos de temperatura, registrados en la tabla VIII, desde Febrero a Agosto de 1989, señalan que esta zona es apropiada para implementar lirio acuático en el tratamiento de agua residual doméstica, considerando los rangos de temperatura propuestos por De Busk, et al (1989).

La densidad adecuada es de 40 plantas/m² en los meses de Junio a Agosto de 1989, puesto que suprime la formación de una capa de algas unicelulares, así mismo se mantiene su capacidad de asimilación vegetativa de manera normal, según los análisis del agua tratada y del análisis foliar en contenido de nitrógeno y fósforo, no presentando crecimiento foliar vertical, indicativo de sobrepoblación.

En las tablas VII y VIII, se resumen los datos de densidad y temperatura respectivamente, cuyas cifras denotan una relación entre ambos parámetros, además en el periodo -

Tabla VIII, Temperatura media mensual.

Periodo 1989	Temperatura agua ^a °C	Temperatura aire ^a °C
Febrero	15	11.5
Marzo	16.5	12.8
Abril	18.0	15.5
Mayo	19.3	17.4
Junio	21.0	18.9
Julio	23.7	21.4
Agosto	22.0	19.2

a. Temperatura media diaria, tomada 8 am, 12 pm y 5 pm.

de mayor temperatura se presentó el problema de los mosquitos y sus larvas. Por tanto la temperatura es un factor de importancia, que impactó la densidad vegetal y desarrollo de larvas de mosquitos.

Este sistema es rentable por tratar un volumen relativamente grande de agua, resolviendo en forma parcial la escasez de agua potable, que cumple con las especificaciones indicadas por SEDUE, para esta Clase de agua, según los valores comparados de la tabla VI.

Pero el aspecto relevante es la no descarga de aguas negras al medio marino.

Los análisis químicos practicados al agua, nos demuestran que se trata de un fluido, de relativa facilidad para depurarse y a bajo costo, así como aceptar su reutilización por ser muy bajo su contenido en metales pesados, restando la materia orgánica, que es biodegradable y en consecuencia eficazmente tratable mediante un Sistema Biológico.

Por otra parte es necesario establecer periodos de cosecha del lirio acuático en relación al fotoperiodo, temperatura y análisis hídricos, así como incrementar el periodo de experimentación y de cada una de las etapas del sistema de tratamiento.

Este Sistema Biológico debe ser apoyado por otros procesos como anaeróbico, aeróbico, etc., puesto que los cambios climáticos pueden afectar su funcionamiento, en consecuencia es necesario acoplar procesos biológicos y fisicoquímicos, para alcanzar óptimos resultados, de acuerdo a la situación geográfica del sistema para tratar agua residual doméstica.

RECOMENDACIONES

El implementar lirio acuático, en una de las fases del sistema para tratar agua residual doméstica, se debe investigar los rangos de temperatura de la zona, ya que por nuestro trabajo y de otros investigadores, encontramos que la temperatura es un parámetro, que influye sobre su metabolismo y también afecta a otros organismos participantes en el tratamiento hídrico.

El viento es un factor que afecta el desarrollo del lirio acuático, provocando cambios fisiológicos que alteran su efectividad en la asimilación de nutrientes, por tanto es posible reducir el impacto del viento mediante cortina rompeviento a base de árboles.

En la construcción de la pileta con hidrofitas, es necesario considerar los siguientes aspectos:

1). La forma geométrica en este sistema es cuadrada, que por sus dimensiones dificulta la cosecha y ocasiona daño a otros vegetales, de ahí que la forma rectangular en proporción de 5 a 1 sea adecuada.

2). La ubicación de la pileta debe hacerse en un sitio que reciba la mayor cantidad de luz solar en toda estación del año, incrementando el metabolismo vegetal y de otros organismos, a fin de mantener una eficaz depuración hídrica,

ya que en nuestro caso la pileta se construyó cercana a una pendiente, que obstaculizó la luz solar en invierno.

Es recomendable adicionar otra hidrofita, sobre todo - en invierno, como lentejuela del agua (Lemna sp), con un - metabolismo normal a 0°C , supliendo en parte la disminución metabólica del lirio acuático, que se inhibe a partir de -- 0°C .

Este sistema es posible aplicarlo en zonas áridas, -- que a pesar de la variación de temperatura en tales zonas, es factible resolverlo mediante el uso de invernadero.

El presente trabajo se integra por conocimientos de di versas áreas, de ahí que, su diseño, fases de tratamiento y funcionamiento, sea necesario establecerlo a través de profesionales en disciplinas relacionadas, a fin de lograr -- mejores resultados.

Un aspecto a considerar es la estricta vigilancia en - el control de su distribución y manejo, puesto que fácilmente se adapta a un medio dulceacuícola, llegando incluso a - deteriorar el equilibrio biológico, a causa de su exagerada multiplicación.

BIBLIOGRAFIA

- Aulenbach, D. y Messisheng, N., 1988. Studies on the Mechanism of Phosphorus Removal from Treated Wastewater by Sand. Water Pollution Control Federation, 60:2089-2095
- Baozhen, W., 1987. The Development of Ecological Wastewater Treatment and Utilization in China. Water Science Technology, 19(1): 51 - 63.
- Barret, S.C., 1980. Sexual Reproduction in Eichhornia crassipes. Applied Ecology, 17: 113 - 124.
- Bitton, G., 1984. Ground Water Pollution Microbiology. Edit John Wiley and Sons, EUA. 377 pp.
- Bosserman, R.W., 1981. Elemental Composition of Aquatic -- Plants from Florida. Freshwater Ecology, 1: 307 - 320.
- Center, T. y Spencer, N., 1981. The Phenology and Growth of Waterhyacinth in a Eutrophic Lake. Aquatic Botany, -- 10: 1 - 32.
- Guri, K., 1980. Theory and Practice of Biological Wastewater Treatment. Edit. Sijthoff, EUA. 524 pp.
- Christoulas, D. y Adreadakis, A., 1989. A System for on Site Treatment of Wastewater from Tourist Resort. Water Science Technology, 21(1): 37 - 45.
- De Busk, T. et al. 1989. Performance of a Pilot Waterhyacinth Secondary Treatment. Water Pollution Control Federation, 61(7): 1217 - 1224.
- Ellis, K.V., 1987. Slow Sand Filtration. Water Research, -- 21(4): 403 - 410.
- Fernández, C. y Delgado, A., 1989. Life Patterns of The Mosquitofish, Gambusia affinis. Freshwater Biology, -- 22: 395 - 404.

- Fresenius, W., 1988. Water Analysis. Edit. Springer-Verlag, Alemania. 804 pp.
- Gopal, B., 1987. Waterhyacinth. Edit. Elsevier, EUA. 471 pp.
- Hatva, T., 1988. Treatment of Groundwater with Sand. Water Science Technology, 20(3): 141 - 147.
- Hellawell, J., 1986. Biological Indicators of Freshwater Pollution. Edit. Elsevier, Inglaterra. 546 pp.
- Houston, J., 1989. Control of Sewage Flies Using Bacillus thuringiensis var. israelensis. Water Research, 23(3): 369 - 378.
- Hulshoff, L., 1986. New Technology for Anaerobic Wastewater Treatment. Water Research, 18: 41 - 53.
- Imaoka, T. y Teranishi, S., 1988. Nutrients and Growth of Waterhyacinth. Water Research, 22(8): 943 - 951.
- Jímenez, G.R., 1989. Contaminación Fecal en las Principales Playas de uso Recreativo en la Bahía de Todos Santos, B.C., en la Estación de Verano de 1987. Tesis de Licenciatura. Esc. Sup. de Ciencias, UABC, Ensenada, B. C.
- Joyce, J.C. y Haller, W.Y., 1985. Effect of Gibberelic Acid on Waterhyacinth. Aquatic Botany, 23: 119 - 125.
- Kadlec, R.H., 1987. Symposium on Monitoring, Modeling and Mediating Water Quality. Edit. Nix J.S., EUA. 709 pp.
- Kawai, H. et al, 1987. Pilot Scale Experiments in Waterhyacinth Lagoons for Wastewater Treatment. Water Science Technology. 19(10): 129 - 173.
- Lechtenberg, J., 1988. Chemical and Biological Characterization of Municipal Sludges. Edit. Elsevier, EUA. 512 pp.
- Marjanovic, P. e Ingjatovic, L., 1986. Nutrient Removal -- from Wastewater. Water Science Technology, 18: 49-56.

- Miranda, R., 1989. Problemática de las Aguas Residuales en la Zona Fronteriza de Baja California. Reporte Comisión Nacional del Agua, SARH. Mexicali, B. C.
- Narasiah, K.S., 1987. Performance of Aerated Lagoons in Small Communities. *Water Science Technology*, 19:65-76.
- Nishikawa, K.A. et al, 1985. Estado de Contaminación Marina en la Zona Fronteriza México-EUA. Delegación Asuntos Culturales del Estado de Baja California. 45 pp.
- Novaes, R.F., 1987. Microbiology of Anaerobic Digestion. -- *Water Science Technology*, 18(12): 1 - 14.
- Ohgaki, S. et al, 1986. Adsorption of Coliphages to Particulates. *Water Science Technology*, 18: 267 - 275.
- Orth, H.M. y Saptoka, D.P., 1988. Upgrading a Facultative Pond by Implanting Waterhyacinth. *Water Research*, -- 22 (12): 1503 - 1511.
- Pataki, L. y Zapp, E., 1980. Basic Analytical Chemistry. -- Edit. Pergamon Press, Hungría. 463 pp.
- Rudd, R.A. y Hopkinson, R., 1989. Desinfections Techniques for Sewage Effluents. *Water and Environmental Management*, 3(6): 612 - 618.
- SEDUE, 1984. Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación. Diario Oficial de la Federación. 12 de Junio de 1984.
- Shuval, H. y Fattal, B., 1986. An Epidemiological Model of Potential Pathogens in Wastewater Irrigations. *Water Science Technology*, 18(10): 191 - 198.
- Steber, J., 1987. The Anaerobic Degradation of Detergent - Range Fatty Alcohol Ethoxylates. *Water Research*, -- 21(6): 661 - 667.

- Suess, J.M., 1982. Physical, Chemical and Radiological examination of Water for Pollution Control. Vol. I. World Health Organization, Inglaterra. 555 pp.
- Suess, J.M., 1982a. Biological, Bacteriological and Virological Examination of Water for Pollution Control. Vol. III. World Health Organization, Inglaterra. 531 pp.
- Urbanc, O. y Gaberscik, E., 1989. The Influence of Temperature and Light Intensity on Activity of Waterhyacinth. Aquatic Botany, 35: 403 - 408.
- Wilson, A.L., 1986. The Chemical Analysis of Freshwater. -- Edit. Royal Society of Chemistry, Inglaterra. 683 pp.
- Wood, A. y Alexander, W., 1987. Experimental Investigations into The Use of Emergent Plants to Treat Sewage in -- South Africa. Water Science Technology. 19(10): 51-59
- Zirschki, J. y Reed, S.C., 1988. The Use of Duckweed for -- Wastewater Treatment. Water Pollution Control Federation, 60(7): 1253 - 1261.