

**UNIVERSIDAD DE COSTA RICA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA**

**Proyecto de Graduación**

**UTILIZACION DEL LIRIO ACUATICO  
(Eichhornia crassipes) PARA EL  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

**MARIO A. CAMACHO HERRERA**

**1981**

PROYECTO DE GRADUACION PRESENTADO A LA FACULTAD DE  
INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD DE COSTA RICA COMO  
REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL GRADO DE:

LICENCIADO EN INGENIERIA QUIMICA

MARIO A. CAMACHO HERRERA

Profesor Guía:

Ing. Gerardo Chacón Valle

Miembros del Tribunal:

Ing. Gerardo Chacón Valle

Ing. Hernán Camacho Soto

Ing. Gerardo Rojas Meza.

Con cariño:

A mis padres

A Julieta.

A todos los pueblos  
que luchan por preservar  
el medio ambiente.

#### AGRADECIMIENTO:

- Al ing. Gerardo Chacón V. por la orientación prestada para la realización de este proyecto.
- A los ingenieros Gerardo Rojas M y Hernán Camacho S. por la revisión de este trabajo.
- A la Vicerectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica por el aporte económico.
- A Julieta Báez B. por su valiosa colaboración en este proyecto.

## INDICE

	<u>PAGINA</u>
RESUMEN	
INTRODUCCION -----	1
I CALIDAD DEL AGUA -----	3
1.1    Introducción -----	3
1.2    Características del agua contaminada -----	4
1.2.1    Definición -----	4
1.2.2    Sales inorgánicas -----	5
1.2.3    Acidos y bases -----	6
1.2.4    Materia orgánica -----	6
1.2.5    Sólidos en suspensión -----	6
1.2.6    Sólidos y Líquidos flotantes -----	7
1.2.7    Agua a temperatura elevada -----	7
1.2.8    Color -----	7
1.2.9    Productos químicos tóxicos -----	8
1.2.10    Microorganismos -----	8
1.2.11    Materias radioactivas -----	8
1.2.12    Compuestos que producen espumas -----	8
1.3    Parámetros de calidad -----	9
1.3.1    Demanda biológica de oxígeno -----	9
1.3.2    Demanda química de oxígeno -----	10
1.3.3    Oxígeno disuelto -----	10
1.3.4    Sólidos totales -----	10
1.3.5    Sólidos suspendidos -----	11

	<u>Página</u>
1.3.6 Sólidos disueltos -----	11
1.3.7 Contenido de coliformes -----	11
1.4 Patrones establecidos -----	14
1.5 Reducción de la contaminación -----	22
1.5.1 Neutralización -----	22
1.5.2 Reducción y oxidación -----	24
1.5.3 Sedimentación y clarificación -----	24
1.5.4 Filtración -----	26
1.5.5 Intercambio iónico -----	26
1.5.6 Retención en lagunas -----	27
1.5.7 Tratamiento por lodos activados -----	27
II LIRIO ACUATICO -----	30
2.1 Clasificación y descripción de la planta -----	30
2.2 Composición química -----	34
III JACINTO DE AGUA PARA TRATAMIENTO DE EFLUENTES -----	38
3.1 Tratamiento de desechos orgánicos -----	38
3.1.1 Lagunas de estabilización -----	39
3.1.2 Desarrollo cronológico de las principales investig.49	
3.1.3 Parámetros de diseño -----	53
3.1.4 Operación de sistemas de tratamiento con lirio acuático. -----	59
3.2 Tratamiento de aguas residuales industriales --	60
3.2.1 Descripción y clasificación de los efluentes industriales -----	62
3.2.2 Factibilidad de instalar el tratamiento -----	67

	<u>Página</u>
IV DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO -----	69
V USOS POSTERIORES DEL JACINTO DE AGUA -----	81
4.1 Producción de biogás -----	83
4.2 Alimento para animales -----	85
4.3 Composte -----	87
VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES -----	89
VII BIBLIOGRAFIA -----	92



## INDICE DE FIGURAS

	<u>PAGINA</u>
1. Costos del tratamiento de desechos -----	23
2. Sistema continuo de neutralización -----	25
3. Lirio acuático -----	32
4. Representación de una laguna de estabilización ---	40
5. Vista del sistema de tratamiento -----	77
6. Perfil del sistema y detalle de la esclusa -----	78
7. Detalle del talud -----	79
8. Corte longitudinal de las lagunas -----	79
9. Detalle de la estructura de salida -----	80
10. Sistema de producción de alimentos -----	86

## INDICE DE TABLAS

	<u>PAGINA</u>
1. Análisis para el agua residual -----	13
2. Calidad del agua para diferentes utilidades -----	15
3. Requisitos del agua utilizada en algunas industrias	16
4. Concentraciones límites recomendadas para las aguas industriales -----	17
5. Clasificación y calidades para las aguas del estado de New York -----	18
6. Calidades del agua en el estado de Washington ----	19
7. Métodos para el control de la contaminación -----	29
8. Composición del lirio acuático -----	34
9. Composición por elementos del lirio acuático -----	35
10. Composición de proteínas y aminoácidos -----	36
11. Porcentajes del Jacinto de Agua y sus partes -----	37
12. Criterios de diseño típicos para lagunas de estabilización -----	47
13. Resumen de consideraciones de diseño proporcio- nadas por la literatura -----	54
14. Criterios de diseño para sistemas de tratamiento con Jacinto de Agua -----	58
15. Descripción de algunos residuos industriales ----	63
16. Clasificación de procesos industriales -----	66
17. Productividad de plantas acuáticas -----	82
18. Unidades fertilizantes del lirio acuático -----	88

## INTRODUCCION

*"Una nación que falla en planificar inteligentemente el desarrollo y protección de sus aguas, estará condenada a debilitarse a causa de su ceguera. Están claras las duras lecciones de la historia, escritas en las desiertas arenas y ruinas de las orgullosas civilizaciones de la antigüedad".*

Lyndon B. Johnson

En los países centroamericanos, al igual que los encontrados dentro del llamado "cinturón de jacintos" (\*) la mayoría de las industrias no están en capacidad de sufragar el costo de tratar los efluentes por los métodos convencionales y por el contrario se descargan en ríos y lagos, provocando la contaminación y el deterioro ambiental. No obstante, los gobiernos de estos países tienen ahora la oportunidad de exigir a las industrias un tratamiento natural, eficaz y de bajo costo para tratar sus aguas de residuo.

Es posible, además con el tratamiento aquí estudiado mejorar la calidad de las aguas municipales, dejándolas dentro de límites a los cuales las lagunas de estabilización tradicionales no han podido llegar.

---

(\*) Región tropical y subtropical aproximadamente dentro de los 33° de latitud del ecuador.

Al no existir estudios orientados hacia este campo en ninguno de los países tropicales se hace necesario la integración de suficiente información para, posteriormente estructurar un proyecto práctico, que permita investigar con mayor profundidad los anteriores aspectos.

El proyecto tiende, también a abrir un nuevo campo de acción del ingeniero químico costarricense, cooperando en la solución de un problema al cual no se le ha dedicado la debida atención y que de seguir así tendrá graves consecuencias afectando a las generaciones futuras.

## I CALIDAD DEL AGUA

### 1.1 INTRODUCCION

Un curso de agua debe ser protegido para servir con la mayor eficacia a los intereses de las comunidades que lo utilizan. Con ese propósito se han ideado diferentes sistemas que regulan la calidad de las aguas.

En Costa Rica la Ley General de Salud (Artículo 263) establece la regulación en todo el país de la cantidad de desechos sólidos y líquidos que pueden verterse en los ríos y lagos. Sin embargo, no existen normas que determinen el grado de contaminación y simplemente queda a criterio del inspector del Ministerio de Salud la decisión en ese sentido.

El Departamento de Desechos Sólidos y Líquidos de dicho Ministerio (27), tratará de implantar un método más rígido, en el cual los cursos de agua estarán normalizados por zonas o cuencas. Para ello primeramente se debe hacer una clasificación de esas cuencas de acuerdo con el uso que se le da a cada una, por ejemplo: bebida, riego, pesca, industria o para el desarrollo normal de la oxidación biológica en el cauce.

Se deben establecer claramente el principio y el fin de cada zona, tomando en cuenta puntos importantes, tales como: tomas de agua, industrias establecidas en la ribera, etc. Esta es una tarea que demanda gran cantidad de trabajo, pero que es una necesidad para un país que es-

tá empezando a sufrir los efectos de la contaminación.

En este capítulo se estudian las materias contaminantes; los parámetros mediante los cuales se mide el grado de contaminación; los patrones establecidos para estos parámetros, dependiendo de los diferentes propósitos para los que se destina el agua; y por último los procesos utilizados corrientemente en el tratamiento de aguas. Todo esto con el objetivo de establecer claramente el problema, las causas y sus posibles soluciones antes de proponer una mejor alternativa para los países ubicados dentro del cinturón de jacintos.

## 1.2 CARACTERISTICAS DEL AGUA CONTAMINADA

### 1.2.1 Definición:

Cuando una corriente de agua no cumple con las disposiciones, de tal modo que no se puede hacer uso normal de ella como bebida, baño, pesca, riego o para uso industrial, se dice que está contaminada. Clasificar una corriente como tal significa que contiene una cantidad excesiva de uno o varios contaminantes específicos.

Las materias que pueden causar contaminación son las siguientes:

- a) Sales inorgánicas
- b) Materia orgánica
- c) Acidos o bases

- d) Sólidos en suspensión
- e) Líquidos, sólidos flotantes
- f) Calor
- g) Productos químicos tóxicos
- h) Microorganismos
- i) Agua a temperatura elevada
- j) Materiales radioactivos
- k) Compuestos que producen espumas

A continuación, y dada la importancia que tienen para el presente trabajo, se hace un breve análisis de cada uno de estos puntos.

#### 1.2.2 Sales Inorgánicas:

Se encuentran en la mayoría de los residuos industriales así como en las aguas naturales, donde es notable el alto contenido de sales de magnesio y calcio. Su presencia se manifiesta como un "endurecimiento" del agua, haciendo que no sea apta para usos domésticos y en ciertos fines industriales. El mayor problema se debe a que producen incrustaciones en sistemas de distribución de agua y en calderas, lo cual disminuye el rendimiento y aumenta los costos de producción. Algunas industrias, especialmente la textil, la de conservas, las fábricas de papel, tienen verdaderos problemas con las aguas cargadas de sales. Sin embargo, a pesar de esos inconvenientes, el agua debe contener cierta cantidad de sales minerales indispensables para la vida de plantas y animales.

### 1.2.3 Acidos y bases:

Valores altos o bajos del pH causan grandes daños en la flora y la fauna de ríos y lagos. Los peces pueden sobrevivir comúnmente en un ámbito entre 6.5 y 8.5; no obstante, dosis muy pequeñas de bases, como el hidróxido de sodio (25 p.p.m.) y de ácidos fuertes son mortales para los peces.

### 1.2.4 Materia orgánica:

La materia orgánica consume el oxígeno de las corrientes provocando un déficit que termina con la vida acuática. Además cierto tipo de productos orgánicos cuando están presentes en altas concentraciones, causan serias enfermedades en humanos y animales.

### 1.2.5 Sólidos en suspensión:

También se descomponen consumiendo oxígeno y ocasionando olores. Algunas veces se depositan en grandes cantidades en el fondo; de esta forma el recreo en esas aguas se torna desagradable. La sedimentación de sólidos ocasiona pérdida de profundidad en las represas. Esto significa grandes desembolsos de dinero para eliminarlos y obtener el nivel adecuado de agua.



### 1.2.6 Sólidos y líquidos flotantes:

Comprenden los aceites, grasas y materiales que flotan en la superficie. Ellos interfieren en la aireación natural, son tóxicos para la vida acuática, destruyen la vegetación a lo largo del cauce y crean una película desagradable en la superficie del agua; también en grandes cantidades representan un peligro potencial de incendio (tal es el caso de los derrames de petróleo).

### 1.2.7 Agua a temperatura elevada:

El agua proveniente de cierto tipo de equipo industrial, especialmente condensadores, se descarga en los ríos aumentando rápidamente su temperatura. El agua caliente al tener menor densidad se va a las capas superiores; de esta manera se produce una estratificación. El contenido de oxígeno disminuye en esas capas, lo que afecta la degradación biológica natural de cualquier contaminante orgánico descargado en la superficie. El agua caliente aumenta también el número de bacterias presentes en el río.

### 1.2.8 Color:

El color interfiere con la transmisión de luz solar, disminuyendo la acción fotosintética dentro de la corriente. Por otra parte las aguas con colores intensos, causan la indignación pública, en detrimento de la empresa responsable de la contaminación.

### 1.2.9 Productos químicos tóxicos:

Los que provocan más problemas debido a su proliferación son los insecticidas y herbicidas. También se destacan por su alta toxicidad los compuestos de cobre, plomo, mercurio, fósforo y cromo.

### 1.2.10 Microorganismos:

Las industrias de conservas, frutas, tenerías, mataderos y las comúnmente llamadas aguas negras causan un aumento del contenido bacteriológico de la corriente en que se descargan. Estas bacterias pueden ser beneficiosas, como el caso de las que ayudan a la degradación biológica de la materia orgánica. Sin embargo existen otras que son patógenas para las demás bacterias y para los humanos.

### 1.2.11 Materias radioactivas:

Son causa de grandes problemas, por su gran poder contaminante y especialmente por su duración. La contaminación por desechos radioactivos no se presenta hasta el momento en Costa Rica.

### 1.2.12 Compuestos que producen espumas:

Los más importantes son vertidos por la industria textil y las fábricas de papel. Como el color, las espumas son un tipo de contaminación visible y causan el descontento público.

### 1.3 PARAMETROS

Para analizar la calidad del agua es necesario obtener ciertos parámetros, los cuales determinan de una u otra manera la cantidad de las materias contaminantes, mencionadas anteriormente, presentes en la muestra tomada. Estos parámetros, comparados con sus respectivos límites tolerables, proporcionan el criterio sobre el estado de contaminación o de pureza del agua en estudio. Es importante resaltar este hecho. Una clase de agua puede considerarse contaminada sólo en función de su utilidad. Así por ejemplo puede ser ingerida por el hombre y sin embargo no ser apta para lavar o para ciertos fines industriales, o puede ser muy útil para riego y no sea potable.

A continuación se establecen los parámetros usados más corrientemente para medir la calidad del agua.

#### 1.3.1 Demanda biológica de oxígeno: DBO.

Es una medida de la habilidad de un desecho para consumir el oxígeno disuelto en el agua. El DBO proporciona el criterio primordial sobre el grado de contaminación por desechos orgánicos, ya que estos son los que consumen más cantidad de oxígeno al degradarse.

La determinación del DBO (1) es comúnmente hecha por dilución de porciones de una muestra con agua oxigenada y midiendo el oxígeno disuelto residual después de un período de incubación (usualmente 5 días a

20 ° C). El resultado se expresa casi siempre en términos del peso de oxígeno requerido por unidad de volumen de la muestra inicial.

### 1.3.2 Demanda química de oxígeno: DQO

Es una prueba basada en el hecho de que todos los compuestos orgánicos pueden ser oxidados, mediante agentes oxidantes fuertes (dicromato o permanganato de potasio), convirtiéndolos a carbono y agua. Las sustancias orgánicas se convierten en  $\text{CO}_2$  y agua sin incluir la asimilabilidad biológica de las sustancias. La determinación de la DQO es una prueba más sencilla que la usada para obtener la DBO pero solamente proporciona una idea de la carga de contaminación orgánica.

### 1.3.3 Oxígeno disuelto: OD

Como su nombre lo indica, es el oxígeno libre disuelto en el agua. Se determina, con regular exactitud, por medio de sencillos métodos colorimétricos.

### 1.3.4 Sólidos totales:

Incluye sólidos disueltos, suspendidos y materia coloidal. Los sólidos totales se encuentran cuando se evapora completamente una muestra de agua.

### 1.3.5 Sólidos suspendidos:

Son aquellos que quedan detenidos al pasar una muestra por el papel de filtro. Se pueden identificar cuando se realiza la diferencia entre sólidos totales y disueltos.

### 1.3.6 Sólidos disueltos:

Se considera sólidos disueltos los que no son detenidos por el papel de filtro al pasar una muestra de agua a través de él. Al evaporar hasta sequedad una muestra filtrada se obtienen los sólidos disueltos.

### 1.3.7 Contenido de coliformes:

Se trata de organismos que se encuentran predominantemente en la vía intestinal del ser humano y de otros animales. Es un indicador del contenido de bacterias, tanto fecales como no fecales; razón por la cual se considera importante su determinación para el control de las "aguas negras".

Los siguientes son otros parámetros utilizados corrientemente para el análisis de calidad del agua:

- pH
- Alcalinidad
- Dureza total
- Cloruros

- Sulfatos
- Nitrógeno amoniacal
- Fosfatos
- Nitrógeno orgánico
- Color
- Turbiedad
- Temperatura

Naturalmente, los parámetros a determinar en una muestra específica dependerán del proceso en estudio y del tipo de material añadido al agua.

En la tabla 1 se incluyen varias determinaciones analíticas que generalmente se utilizan para hallar correctamente todas las características de una muestra de agua. Los residuos aparecen clasificados en orgánicos y en inorgánicos.

DESCRIPCION	ANALISIS			
	Residuos Inorgánicos	Parcial para Resid. Inorgánicos	Residuos Orgánicos	Parcial Para Resid. Orgánicos.
pH	X	X	X	X
Alcalinidad	X	X	X	X
Dureza total	X			
Cloruros	X			
Sulfatos	X			
Sólidos en suspensión	X	X	X	
Sólidos totales	X		X	
Sólidos volátiles			X	
Sólidos sedimentables	X		X	
Nitrógeno total			X	
Nitrógeno amoniacal			X	
Fosfatos	X			
Cobre	X	X	X	
Níquel	X			
Cromo Hexavalente	X			
Cromo total	X			
Hierro	X		X	
Manganeso	X			
Disolventes orgánicos solubles	X			
Fenol			X	
DBO			X	X
DQO			X	X
Carbono orgánico			X	X
Cianuro	X	X		

TABLA 1. Análisis para el Agua Residual. Ref. (36).

Además, es sumamente importante contar con la medida del caudal que indique la cantidad de agua arrojada, así como las variaciones en el ritmo de flujo. Con esto es posible calcular la cantidad total de contaminantes vertidos. El flujo puede obtenerse por medio de un depósito y midiendo el tiempo que dura en llenarse. También se obtiene por el método de las esclusas, según se explica en el capítulo IV.

#### 1.4 PATRONES ESTABLECIDOS

No es posible establecer patrones de calidad del agua en forma general debido a las diferentes eficiencias de cada río para absorber la contaminación (especialmente los desechos que se pueden degradar biológicamente). Sin embargo, existen normas dependiendo del tipo de uso que se le de al agua. En la tabla 2 se encuentra la calidad para el agua de recreo, abastecimiento público, vida animal y agricultura. En las tablas 3 y 4 se dan las normas establecidas para agua de diferentes usos industriales.

El estado de New York clasificó sus ríos, dándoles la mejor utilización factible. En la tabla 5 se muestra esta clasificación y los límites de calidad. No obstante, en Estados Unidos las normas de calidad varían de estado a estado; a modo de comparación se presentan las establecidas para el estado de Washington. Tabla 6.

Por último, se especifican las "Condiciones mínimas aplicables a todas las aguas en todos los lugares y en todos los tiempos" creadas por la ORSANCO (Ohio River Valley Water Sanitation Commission) en 1967:



	Recreo y Estética	Permisible	Deseable	Organismo de aguas limpias	Vida Libre	Organismo marinos y de estuarios	Abastecimiento p/ Granjas	Animales	Riegos
Color, Unidad		75	<10	10% Luz penetra al fondo	10% Luz penetra 2 m.				
Temperatura (° C)	<29	<29	<29	28-35					13-29
Coliformes fecales N/100ml.	2000-200	2000	20						4000
Alcalinidad		30-500	30-500	> 20	35-200	35-200			
Cloruros		250	25						
Cromo Hexavalente		0,05	ausente				0,05	0,05	5-20
Cobre		1,0	ausente				1,0		0,2-5,0
Oxígeno disuelto		> 3,0	cerca saturación	> 4.0	Fondo Aeróbico	> 4,0			
Dureza		300-500	60-120						
Hierro		0,3	Virtualmente ausente				0,3		
Manganeso		0,05	Ausente				0,05		2,0-20
Nitratos		10,0	Virtualmente ausente				45,0		
pH	5,0-9,0	6,0-8,5		6-9	7,0-9,2	6,5-8,5	6,0-8,5		4,5-9,0
Sulfatos		250	50						
Sólidos disueltos		500	200				500-5000	10000	5000
Grasas y aceites		0,15	0,04				0,02		
Pesticidas		0,1	Ausente	Varía con organismo	Varía con organismo	Varía con organismo			
Fenol		0,001	Ausente						
Radioactividad Beta MM c/litro		1000	100	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Cianuros		0,20	Ausente				0,20		
Turbidez			Virtualmente ausente	10-50					

Todos los valores están en partes por millón (p.p.m.) a menos que se especifique de otra forma.

Tabla 2. Calidad del agua para diferentes utilidades. Ref. (42) 1969.

	Centrales Eléctricas	Textil	Pulpa y Papel	Procesos Químicos	Petróleo	Alimentación	Bebidas Suaves	Cemento
Dureza (CO <sub>3</sub> Co)	0-20	25	100	250-900	350	250	-	-
pH	8-10	2,5-10,5	6-10	6,2-8,7	6-9	6,5-8,5	-	7
Calcio, Mg/l	0	-	20	60-100	75	100	100	-
Cloruros Mg/l	Sin Prob.	-	200-1000	500	300	250	500	250
Manganeso	0,01-0,3	0,01-0,05	0,05-0,1	0,1-0,2	-	0,2	0,05	0,5
Hierro	0,01-1	0,1-0,3	0,1-0,3	0,1-0,3	1	0,2	0,3	25
Color	Sin prob.	5	10-30	20	Sin prob.	5	10	Sin prob.
Alcalinidad	40-140	-	-	125-200	-	250	85	400
Sólidos en suspensión	0-10	5	10	5-30	10	10	0	500

Tabla 3. Requisitos del agua utilizada en algunas industrias. Ref. (36).

	Turbiedad Unidades	Color Unidades	Umbral de sabor y olor	Sólidos disueltos	Dureza expresada en CaCO <sub>2</sub>	Alcalinidad expresada en CaCO <sub>2</sub>	pH Unidades	Cloruros expresados comp Cl	Sulfatos expresados como SO <sub>4</sub>	Hierro expresado como Fe.	Hierro total Mangane- so	Sulfuro de hidro- geno.	Fluoruros expresados como F.	Otras exigencias
Aire Acondicionado	-	-	bajo	-	-	-	-	-	-	0,5	0,5	-	-	No debe ser corrosivo, ni fomentar la formación de fangos.
Panadería	10	10	Ninguno bajo	-	-	-	-	-	-	0,2	0,2	0,2	-	Potable
Alimentación de Calderas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Potable, si se emplea a vapor en la preparación de alimentos.
Cervecería	0,10	0,10	Ninguno bajo	500- 1.500	-	75-80	6,5-7,0	60-100	-	0,1	0,1	0,2	1,0	Potable, otros muchos requisitos
Bebidas carbonatadas	1,2	5-10	Ninguno bajo	850	200-250	50-130	-	250	250	0,1-0,2	0,1-0,4	0,-0,2	0,2-1,0	Potable: COD 1,5, materia orgánica infinitesimal, algas y protozoos, ninguno.
Vestimenta	-	-	bajo	50-100	-	-	> 7,0	-	-	0,2	0,2	0,2	-	Potable.
Refrigeración	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Industrias lácteas	-	Ninguno	Ninguno	500	180	-	-	30	60	0,1-0,3	-	-	-	Potable: NO <sub>2</sub> N, 5,5; NO <sub>3</sub> N, 0; NH <sub>3</sub> N, tan sólo trazas, COD y FMN <sub>0</sub> 12.
Bebidas	5	15	3, inofensivo	500	-	-	-	250	250	0,3	-	-	1,4-2	Potable:
Conservación y congelación de alimentos.	1-10	-	Ninguno bajo	850	-	30-250	> 7,5	-	-	0,2	0,2-0,3	1,0	1,0	Potable; excepto de organismos saprofiticos: NaCl 1.000-1500; NO <sub>2</sub> N, 2,8; NH <sub>3</sub> N 0,4.
Equipo de alimentación, lavado	1	5-20	Ninguno	850	10	-	-	250	-	-	0,1	-	1,0	Potable: materia orgánica infinitesimal.
Proceso de alimentos	1-10	5-10	bajo	850	10-250	30-250	-	-	-	0,2	0,2-0,3	-	1,0	Potable
Fabricación de hielo	5	5	bajo	170-1300	-	-	-	-	-	0,2	0,2	-	-	Potable: SiO <sub>2</sub> 10.
Lavandería	-	-	-	-	0,50	60	6,0-6,8	-	-	0,2-1,0	0,2-1,0	-	-	-
Papel y pulpa, finos	10	5	-	200	100	75	-	-	-	0,1	-	-	-	SiO <sub>2</sub> libre, 20; Co libre, 10 Cl <sub>2</sub> residual, 2.
Papel, pasta de madera	50%	30	-	500	200	150	-	75	-	0,3	-	-	-	SiO <sub>2</sub> , soluble, 50; CO <sub>2</sub> libre 10
Papel Kraft blanqueado	40	25	-	300	100	75	-	200	-	0,2	-	-	-	SiO <sub>2</sub> soluble, 50; CO libre 10.
Papel Kraft sin blanquear	100	100	-	500	200	150	-	200	-	1,0	-	-	-	SiO <sub>2</sub> soluble, 100; CO libre 10.
Papel, pastas a la sosa y al sulfato	25%	5	-	250	100	75	-	75	-	0,1	-	-	-	SiO <sub>2</sub> soluble, 20 CO libre 10.
Producción de fibras de rayón acetato y de pulpas	5	5	-	100	8	50-75	-	-	-	0,05	0,05	-	-	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 8; Si, 25; Cu, 5.
Manufactura de rayón	0,3	-	-	-	55	-	7,8-8,3	-	-	0,0	0,0	-	-	-
Industria azucarera	-	-	-	bajo	bajo	-	-	20	20	0,1	-	-	-	Ca, 20; Mg, 10; bicarbonato, expresado como CaCO <sub>3</sub> 100; estéril, ningún organismo saprofitico.
Curtido	20	10-100	-	-	50-500	130	6,0- 8,0	-	-	0,1-0,2	0,2	-	-	Dureza de bicarbonato, baja
Textiles	0,3-25	0-70	-	-	0,50	-	-	100	100	0,1-1,0	0,2-1,0	-	-	DQO, 8; metales pesados, ninguno; Ca, 10; Mg, 5; bicarbonato como CaCO <sub>3</sub> 200.

Todas las unidades en mg/l.

Tabla 4. Ambito de las concentraciones límites recomendadas para las aguas de Procesos Industriales. (ref. (36)).

CLASIFICACION Y MEJOR UTILIZACION	Oxígeno disuelto mínimo ppm.	Contenido de Coliformes N°/100 ml.	pH	Tóxicos, líquidos calientes y otros que producen olor y sabor.	Sólidos
AA - Abastecimiento público de agua sin filtrar.	4.0	< 50	6,5 - 8,5	Ninguno en cantidades suficientes o a una temperatura elevada en que sean dañinos para la vida psíquica.	Ninguno atribuible a aguas residuales
A - Abastecimiento de agua potable filtrada	4.0	< 5000	6,5 - 8,5		Ninguno que sea fácilmente visible y atribuible a aguas residuales.
B - Baños	4.0	< 2400	6,5 - 8,5		
C - Pesca	4.0	No aplicable	6,5 - 8,5		
D - Drenaje Natural Agricultura y agua industrial	3.0	No aplicable	6,0 - 9,5	Ninguno que perjudique agricultura industria o la vida psíquica	

Tabla 5. Clasificación y calidades para las aguas superficiales del Estado de New York, Ref. (42).

CARACTERISTICA	AGUA DULCE		AGUA SALADA	
	Valor óptimo	Valor normal	Valor óptimo	Valor normal
Alcalinidad (fenolftalefina y total)				
Nitrógeno amoniacal	0,3	0,5	0,0025	0,003
Arsénico	0,003	0,005	0,003	0,004
Bacterias				
Bario	0,01	0,05	0,05	0,06
Bicarbonato				
DBO	1,0	2,0	1,0	2,0
Boro	0,1	0,3	4,7	5,5
Depósitos en el fondo por vertidos de la descarga de aguas residuales	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno
Cadmio	0,0005	0,001	0,00011	0,00013
Calcio				
Carbonatos				
Reparable por cloroformo	0,00	0,10	0,05	0,10
Cloruros	10	20	Natural	120% del natural
Cromo	Trazas	0,01	0,00095	0,00006
COD				
Coliformes (origen aguas residuales domésticas)	50/100 ml	240/100 ml	50/100 ml	240/100 ml
Color	5 unidades	5 unidades sobre la natural	Ninguno	5 unidades
Conductividad	110% del natural	125% del natural	Natural	120% del natural
Cobre	0,05	0,02 sobre valor natural	0,05	0,05
Cianuros	0,005	0,01	Ninguno	0,01
Oxígeno disuelto	95% de saturación	85% de saturación	95% de saturación	25% de saturación
Estreptococos fecales				
Sólidos flotantes	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno
Fluoruros	0,5	1,0	1,3	1,5
Dureza (como CO <sub>3</sub> Ca)	20 a 75	20 a 125	-	-
Hidróxidos	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno
Hierro	0,0 sobre el natural	0,1 sobre el natural	0,01 sobre el natural	0,2
Plomo	Límite de detención	0,02	Límite de detención	0,004
Magnesio				
Manganeso	Trazas	0,01	0,002	0,04
Nitrato	0,1 sobre el natural	1,0 sobre el natural	0,5	0,5
Nitrógeno	0,4 sobre el natural	1,0 sobre el natural	0,5	0,6
Umbral de olor	1,0	3	1,0	3
Aceites y Alquitrans	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno
Pesticidas				
pH	7,0 - 8,0	6,5 - 8,5	7,5 - 8,4	7,5 - 8,4

Tabla 6. Resumen de los límites de calidad en el agua propuestos por el Estado de Washington. Ref. (0).

CARACTERISTICA	AGUA DULCE		AGUA SALADA	
	Valor óptimo	Valor normal	Valor óptimo	Valor normal
Fenol	Límite de detectabilidad	0,0005	0,04	0,05
Fosfatos totales	0,03	0,15	0,3	0,4
Potasio	2,5	5,0	380	450
Radioactividad	Ninguno	Calidad de agua potable (USPHS)	Ninguno	Calidad de agua potable (USPHS)
Selenio	Límite de detectabilidad	0,002	0,004	0,005
Sílice				
Plata	Límite de detectabilidad	0,003	0,0003	0,0004
Sodio	10 sobre lo natural	35 sobre lo natural	10.500	12.500
Licor sulfítico agotado				
Sulfatos	15	30	2.700	3.200
Detergentes	Trazas (LAS)	0,10 (LAS)	Trazas (LAS)	0.10 (LAS)
Temperatura	Natural + 1°C	Natural + 2°C	Natural + 1°C	Natural + 2°C
Sólidos disueltos totales				
Tóxicos diversos	Ninguno detectable	Ninguno detectable	Ninguno detectable	Ninguno detectable
Turbidez	5 unidades	Natural	3 unidades	5 unidades
Virus				
Zinc	Límite de detectabilidad	Límite de detectabilidad	0,01	0,012

Tabla 6. Límites de calidad en el agua propuestos por el Estado de Washington. Ref. (42).

Continuación

- 1.- Libre de sustancias atribuibles a descargas municipales e industriales y otras, o a prácticas de la agricultura que puedan sedimentarse para formar depósitos putrefactibles.
- 2.- Libre de residuos flotantes, atribuibles a descargas municipales, industriales, prácticas agrícolas, en cantidades suficientes para ser desagradables a la vista o molestas.
- 3.- Libre de materiales atribuibles a las ciudades, industrias, u otras descargas o prácticas agrícolas que produzcan color, olor, u otras condiciones tan grandes que causen molestias.
- 4.- Libre de sustancias atribuibles a descargas municipales, industriales o de otro tipo en concentraciones o combinaciones que sean tóxicas o peligrosas para la vida humana, animal, vegetal o acuática.

Para establecer las normas de calidad es importante tomar en cuenta la capacidad de los ríos para absorber contaminantes. Costa Rica, al igual que los demás países tropicales tienen la ventaja de tener sólo dos estaciones; así en el verano cuando el cauce del río disminuye, la luz solar aumenta siendo mayor la acción fotosintética de las algas por lo que la degradación biológica aumenta. Por otra parte en el invierno el cauce aumenta provocando una dilución del material contaminante.

De esta manera, se concluye que cada país debe tener las normas que se ajusten mejor a la realidad. No deben ser tan rigurosas que perjudi-

quen sin motivo al sector industrial, ni tan flexibles que causen peligro al medio ambiente y a la salud pública.

## 1.5 REDUCCION DE LA CONTAMINACION

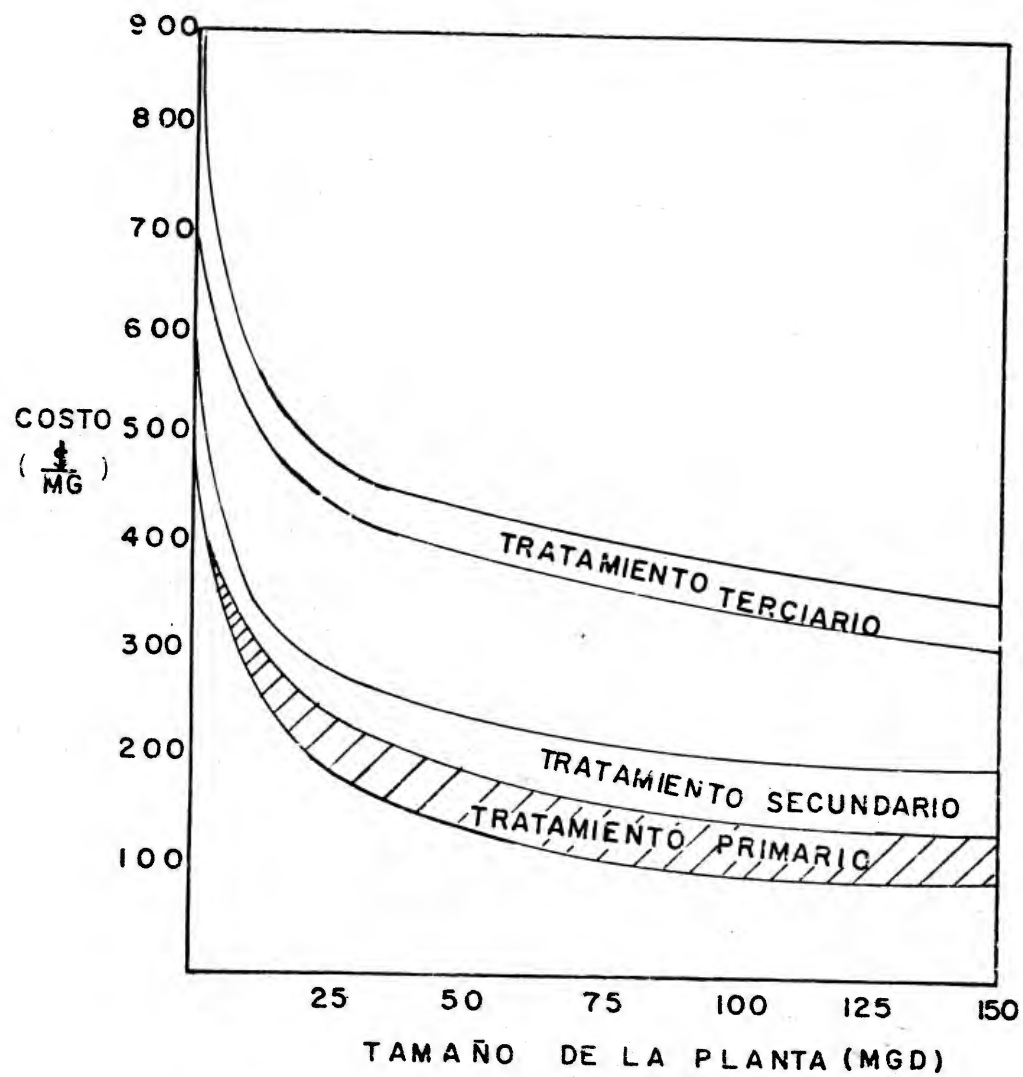
Los tratamientos utilizados para el control de la contaminación en el agua van desde procesos tan sencillos como la separación por medio de rejillas hasta otros tan complicados como el intercambio iónico. Es así como el proceso o procesos a utilizar dependen del grado de calidad necesario en el efluente. Es posible agruparlos dependiendo del tipo de tratamiento que proporcionan. De esta forma si se eliminan solamente los sólidos suspendidos el tratamiento es del tipo primario. Si además de esto se eliminan los contaminantes orgánicos, que demandan oxígeno disuelto, es secundario. Por último al existir una eliminación significativa de nutrientes y otras materias contaminantes el tratamiento es terciario. En la figura 1 se muestra la variación de los costos para cada uno de estos tipos de tratamiento. Es importante observar como aumenta el costo al aumentar el tratamiento, especialmente el terciario.

Algunos de los procesos más utilizados para el control de la contaminación son los siguientes:

### 1.5.1 Neutralización:

Consiste en la adición de un álcali para que reaccione con una base de manera que se ajuste al pH del agua. Los álcalis comúnmente empleados





MG : MILES DE GALONES  
 MGD: MILES DE GALONES POR DIA

FIG.1 COSTOS GENERALIZADOS PARA TRATAMIENTO DE DESECHOS REF. (8) 1976

son la cal y la soda cáustica. Por otra parte el ácido sulfúrico es el más utilizado para disminuir el pH de las aguas. El proceso puede ser realizado de la manera que se ilustra en la figura 2.

#### 1.5.2 Reducción y oxidación:

Este proceso se utiliza para la destrucción de ciertos agentes colorantes, de otros productores de sabor y olor y para eliminar fenoles. Es importante también la reducción del cromo hexavalente a cromo trivalente, así como la destrucción del cianuro por medio de la cloración. El permanganato de potasio, ozono, cloro y bióxido de cloro son los oxidantes más usados.

#### 1.5.3 Sedimentación y clarificación.

La sedimentación es un proceso que aprovecha las tendencias naturales de separación de las materias no solubles en el agua.

La clarificación implica la adición de coagulantes químicos, de agentes facilitadores de la coagulación y el ajuste del pH para formar un glóbulo estable que se separe del agua por sedimentación.

Los coagulantes que se usan más frecuentemente en el tratamiento de las aguas residuales son las sales de hierro y aluminio, tales como el sulfato de aluminio, sulfato de hierro y cloruro de hierro.

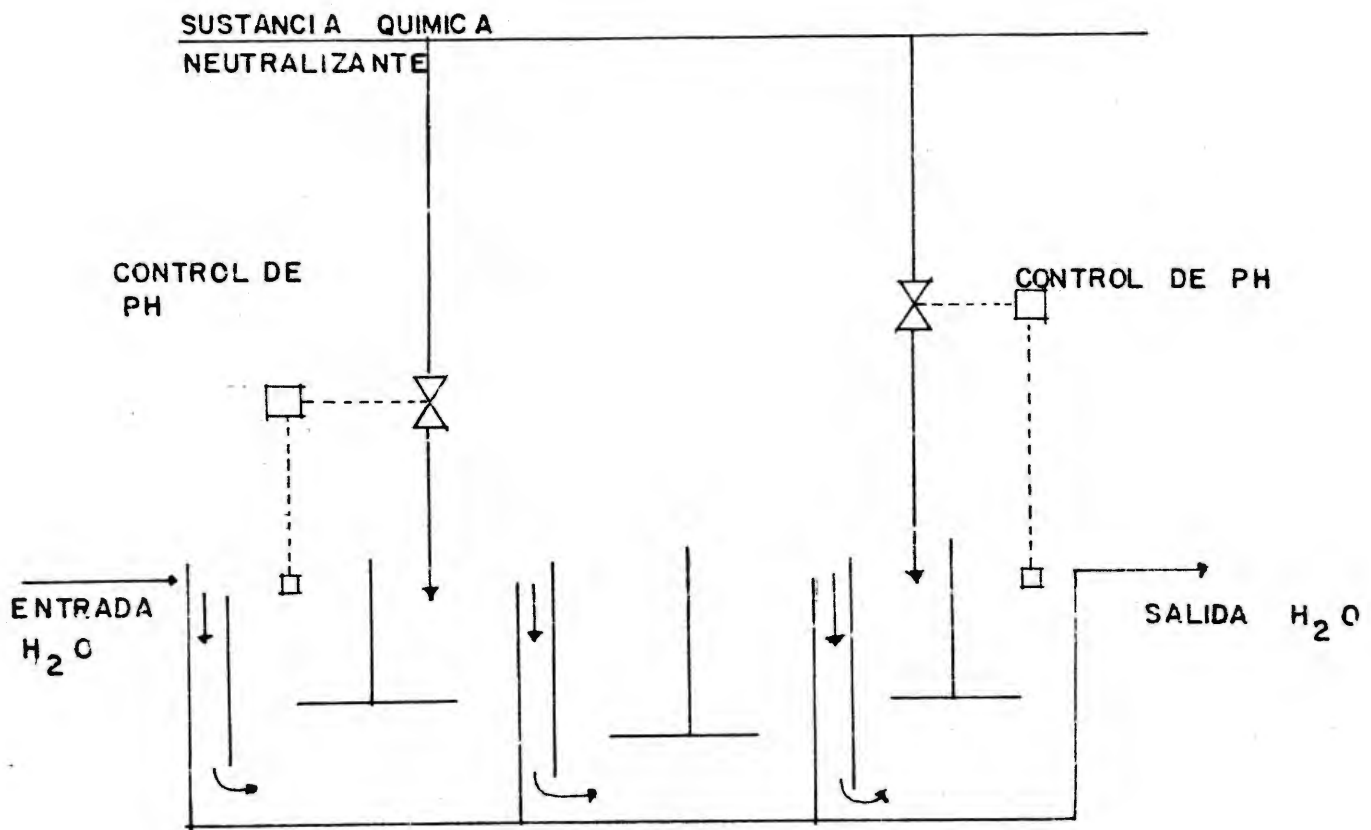


FIG. 2 SISTEMA CONTINUO DE NEUTRALIZACION REF (36)

#### 1.5.4 Filtración:

Comprende el paso del agua a través de un lecho compacto para la retención de los sólidos en suspensión. Comúnmente se utilizan filtros graduados con un lecho que va de grueso a fino siguiendo la dirección del flujo de agua.

#### 1.5.5 Intercambio iónico:

Es un proceso de cambio de ciertos cationes y aniones indeseables de las aguas residuales por sodio, hidrógeno e iones de resinas sintéticas o naturales (zeolitas). El intercambio iónico se desarrolló originalmente para reducir la dureza de los abastecimientos de agua potable, pero recientemente se utiliza, sobre todo, para la concentración y recuperación de componentes valiosos, tales como el cianuro de cromo hexavalente, cobre y otros empleados en el laminado y acabado de metales.

El intercambio de iones funciona como un lecho fijo a través del cual pasa el agua y el ión gastado se reemplaza por el ión contenido en el material de intercambio. Es un proceso que requiere una operación cuidadosa y una supervisión continua. Sólo es útil cuando se requiere agua de excelente calidad.

### 1.5.6 Retención en lagunas:

Consiste en el mantenimiento de aguas residuales en estanques para la eliminación de los sólidos en suspensión y de los aceites. También se utilizan para estabilizar la materia orgánica por oxidación biológica. En el capítulo III se proporciona mayor información sobre este método.

### 1.5.7 Tratamiento por lodos activados:

En este proceso, se crean poblaciones biológicamente activas, que son capaces de absorber la materia orgánica de las aguas residuales y convertirla por un sistema de oxidación, por enzimas, en productos finales más simples como  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{=}$ . El tratamiento es eficaz para cargas de DBO pequeñas (menos de 0.6 kg por  $\text{m}^3$  del tanque) por lo que se requiere períodos relativamente largos de retención y altos costos de instalación.

A continuación se hace mención de otros procesos usados para el tratamiento de aguas residuales:

- Inyección en pozos profundos
- Digestión anaeróbica
- Filtros bacterianos
- Torres de enfriamiento

- Rejillas de separación
- Diálisis.

En la tabla 7 se presentan varios procesos utilizados para el control de diferentes tipos de contaminantes. Se observa como diversos procesos son aplicables al tratamiento de diferentes contaminantes. De esta manera es posible incorporar varias combinaciones para cualquier sistema de tratamiento de residuos. En una situación de análisis de alternativas, los costos de instalación y mantenimiento, así como la inversión original constituyen el factor que proporciona el criterio para escoger el tipo de tratamiento óptimo. Sin embargo, se debe tener en cuenta que el tipo de desecho y el grado de reducción requerido en los contaminantes son las variables verdaderamente importantes.

TABLA 7. Métodos para el control de la contaminación Ref. (36).

PROCESOS	CONTAMINANTES																			
	pH	Acidos	Alcalis	Sólidos sedimentables	Sólidos en suspensión	Metales pesados.	Cromo hexavalente	Cianuro	Materia orgánica	Aceites	Fenol	Cuerpos colorantes	Sabor y olor	Herbicidas y pesticidas	Cantidad total de sólidos en suspensión	Contaminación térmica	Nutrientes	Fosfatos	Nitrógeno.	Radioactividad
Neutralización (reajuste del pH)	•	•	•																	
Oxidación o reducción química							•	•			•	•	•							
Sedimentación				•	•					•										
Clarificación				•	•	•	•		•	•								•		
Filtración				•	•	•														
Flotación					•				•											
Intercambio de iones						•	•				•				•			•	•	•
Detención en lagunas				•					•	•	•	•	•		•			•	•	
Ruptura de la emulsión									•	•										
Absorción									•		•	•	•	•						•
Tratamiento biológico									•	•	•	•	•					•	•	
Inineración directa								•	•	•	•	•	•							
Deshidratación del cieno				•	•	•			•	•	•	•	•							
Eliminación final del cieno				•	•	•			•	•	•	•	•							
Inyección en capas profundas	•	•							•						•					
Tornas refrigeración															•				•	
Técnicas de desalinización															•				•	•

## II LIRIO ACUÁTICO

### 2.1.1 Introducción:

El jacinto de agua, choreja o lirio acuático es considerado como un tipo de "maleza" cuyo control ha sido un reto para la humanidad. Crece en forma desmesurada en todas las regiones tropicales. Su origen se ubica en Sudamérica, de donde se trasladó al resto del planeta.

El estudio de esta planta se ha generalizado y se cuenta ahora con gran cantidad de trabajos orientados especialmente hacia su control. En este sentido existe en Estados Unidos una publicación periódica llamada "Journal of Hyacinth Control". Por otra parte en la década anterior se empezó a trabajar en forma más amplia en la utilización del lirio acuático para la purificación de aguas residuales. Estas plantas de agua dulce, de rápido crecimiento y gran reproducción extraen las materias contaminantes del efluente y las almacenan en su extensa raigambre, después de ser transformadas mediante una progresión natural de adsorción, translocación (cambio de lugar), concentración y desintegración por metabolismo.

### 2.1.2 Clasificación y descripción de la planta:

Se conoce la existencia de varias especies de lirio acuático entre ellas:



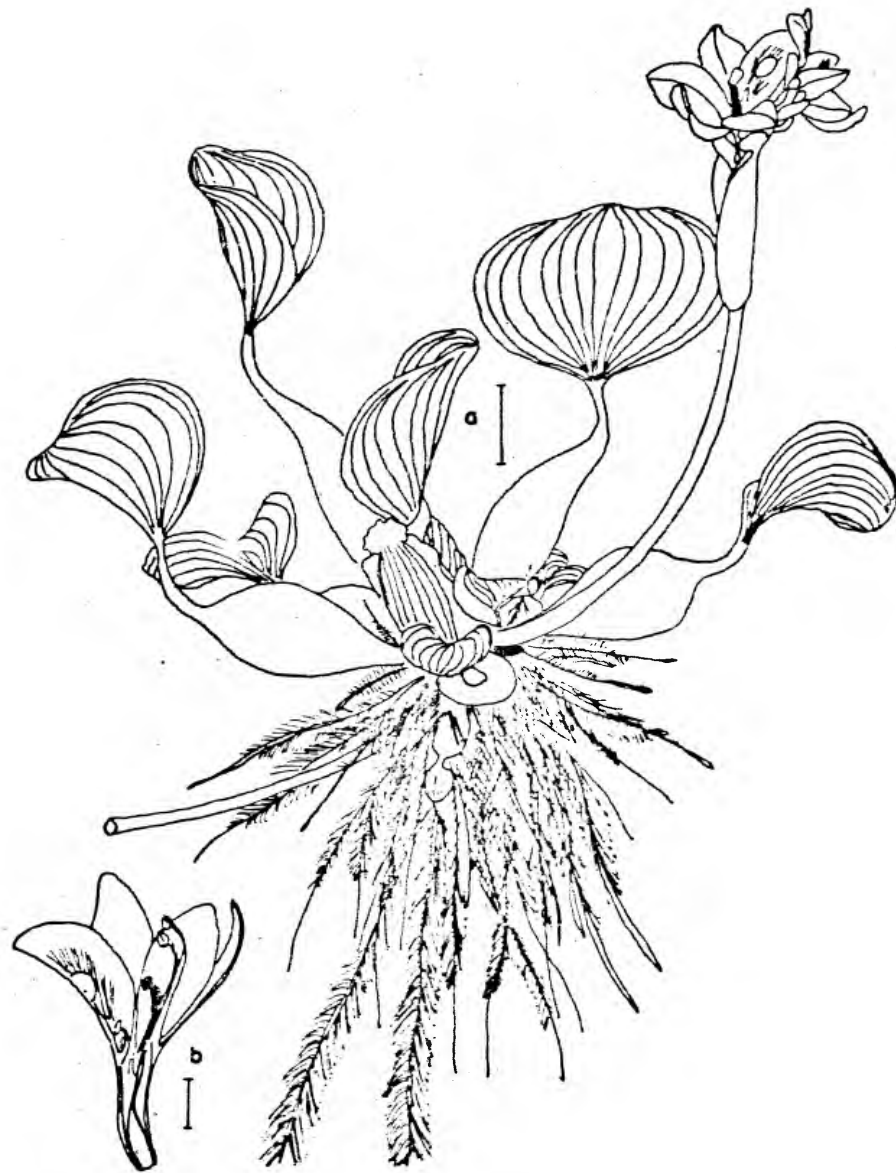
- Eichhornia crassipes
- Eichhornia azurea
- Eichhornia paniculata
- Eichhornia natans
- Eichhornia diversifolia

La primera especie es la que se encuentra con mayor abundancia en Costa Rica, a su vez está distribuida por todo el planeta, por esta razón la mayoría de estudios sobre el lirio han centrado su atención en la Eichhornia crassipes fig.3.

Castillo (15) proporciona la clasificación taxonómica de la planta:

Reino -----	Vegetal
Subreino -----	Fanerógamas
Tipo -----	Angiospermas
Clase -----	Monocotiledóneas
Subclase -----	Super ováricas
Serie -----	Periantadas
Familia -----	Pontenderiaceas
Género -----	<u>Eichhornia</u>
Especie -----	<u>crassipes</u>

Es necesario mencionar algunas observaciones importantes que se han hecho (15) y (16) sobre el jacinto de agua, con el objeto de formar una idea general de las características de la especie:



SECCION LONGITUDINAL DE UNA PLANTA DE LIRIO  
(EICHHORNIA CRASSIPES)

a) HABIT (3cm)

b) SECCION LONGITUDINAL (1cm)

- a) La raíz es muy desarrollada, representa del 15 al 20% de la biomasa de la planta.
- b) El fruto expulsa las semillas en un período de 16 a 23 días.
- c) La planta se reproduce sexual y asexualmente.
- d) La maduración de las semillas se alcanza aproximadamente en dos meses y se ve favorecida por temperaturas de 36 a 38° C.
- e) Es probable que existan cambios genéticos para una mayor adaptación al medio.
- f) La temperatura de crecimiento óptimo es de 24 a 30° C.
- g) El 4.8% de la planta es materia seca.
- h) La planta puede duplicar su tamaño cada 10 días hasta alcanzar un máximo de 1.5 metros, bajo condiciones óptimas.
- i) En los climas subtropicales y durante la estación normal de 8 meses de crecimiento, una sola planta es capaz de producir 70 mil plantas hijas.
- j) Las corrientes de agua y los vientos limitan el crecimiento del lirio.

### 2.1.3 Composición Química:

La composición depende de la localización y de las condiciones en que se encuentre. No obstante, los principales estudios revelan los siguientes resultados:

COMPONENTE	AMBITO % EN PESO
Proteína cruda	17-22
Fibra cruda	15-18
Contenido cenizas	16-18

Tabla 8. Ambito de composición general del lirio acuático (32).

Referencia	Boyd (12)	Carpenter (14)
ELEMENTO	% PESO	% PESO
Cenizas	18.11	16 - 18
Nitrógeno	2.64	2.72 - 3.52
Fósforo	0.43	0.7 - 1.0
Calcio	1.80	0.6 - 1.25
Magnesio	1.05	0.2 - 0.3
Potasio	4.25	2.0 - 3.5
Sodio	0.34	1.5 - 2.5
Azufre	0.33	0.3 - 0.42
Hierro		0.025- 0.050
Manganeso		0.005- 0.008
Zinc		0.005- 0.05

Tabla 9. Composición por elementos del lirio acuático (12), (14).

Referencia	Boyd	Carpenter
ELEMENTO	% PESO SECO	% PESO SECO
Proteína cruda	25.67 - 26.21	17.5
Proteína real	19.31 - 19.55	-
Lisina*	1.13 - 1.30	4.19
Histidina*	0.41 - 0.43	2.94
Arginina	1.12 - 1.24	11.52
Acido Espártico	2.82 - 2.64	10.24
Treonina*	0.96 - 0.98	3.77
Serina	0.88 - 0.95	4.94
Acido Glutámico	2.39 - 2.46	22.80
Prolina	0.88 - 0.97	4.05
Glicina	1.17 - 1.16	4.84
Alanina	1.33 - 1.37	4.32
Cistina	0.06 - 0.05	-
Valina*	1.20 - 1.13	4.89
Metionina*	0.37 - 0.34	1.59
Isoleucina*	1.01 - 0.99	3.59
Leucina*	1.75 - 1.77	6.58
Tirosina	0.75 - 0.77	3.51
Fenilalanina	1.12 - 1.00	6.01

Tabla 10. Composición de proteínas y aminoácidos (12), (14).

\* Aminoácidos esenciales.

	% PESO	% N	% PROTEINAS
Toda la planta	4	2.5	15
Raíces	6.6	2	12
Rizomas	4.9	-	-
Estolones	3.3	-	-
Flotantes	6.1	-	-
Hojas	10.7	4.9	30

Tabla 11. Porcentajes del Jacinto de Agua y sus partes (16).

### III JACINTO DE AGUA PARA EL TRATAMIENTO DE EFLUENTES

#### 3.1 TRATAMIENTO DE DESECHOS ORGANICOS

La contaminación por desechos orgánicos se produce en el momento en que la cantidad de nutrientes presentes en el agua es exagerada. Bajo condiciones adecuadas, algunas sales, especialmente de nitrógeno y fósforo aumentan el crecimiento de los seres de vida microscópica. Aparecen así, la Microsystis y la Amabaena, cierto tipo de algas, que en grandes cantidades son tóxicas para los peces y que se reproducen en la superficie. De la misma manera, los nutrientes favorecen la proliferación de otras clases de algas, las cuales aunque son una forma secundaria de contaminación, son de extrema importancia. Tienen la ventaja de que añaden oxígeno disuelto al agua, pero es perjudicial la carga orgánica con que contribuyen después de su muerte.

El déficit de oxígeno causado por la materia orgánica se considera como el factor más importante en la contaminación de los ríos. Por esta razón se hace necesario un tratamiento donde se obtenga la cantidad de nutrientes adecuada para la vida de plantas y animales, tomando en cuenta, a la vez, que una ausencia total de sales produce agua de características corrosivas y sin sabor.



### 3.1.1 Lagunas de estabilización:

Para este tratamiento se han utilizado corrientemente las lagunas de estabilización, las cuales son estructuras construidas en la tierra, abiertas al sol y al aire.

Están sujetas a normas de control en cuanto a forma, profundidad y superficie. Se diseñan y construyen especialmente para el tratamiento de aguas negras en el que actúan procesos de autopurificación biológicos, químicos y físicos. Se ha mencionado (8) que en 1979 existían más de 5.000 lagunas usadas para este fin en Estados Unidos.

El funcionamiento de las lagunas se da gracias a dos clases de organismos: algas y bacterias. La fuente de energía es el sol. Esta energía unida a las propiedades fotosintéticas de las algas, las capacita para utilizar los desechos orgánicos parcialmente fermentados, principalmente dióxido de carbono para producir más células de algas y liberar oxígeno que estimula las actividades de las bacterias aeróbicas. El mecanismo se representa esquemáticamente en la figura 4.

#### Clasificación:

Los diferentes tipos de lagunas pueden dividirse en tres clases:

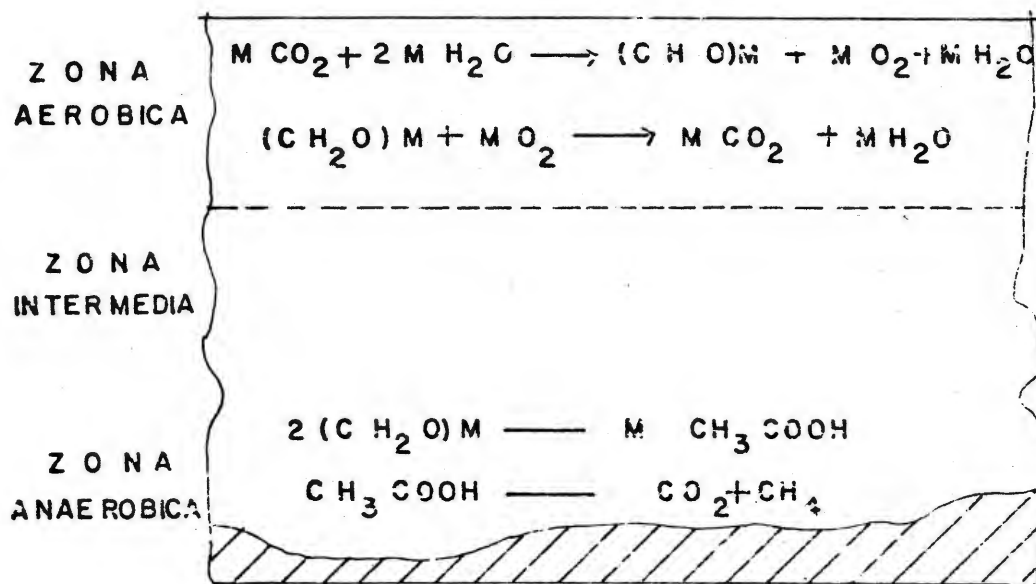
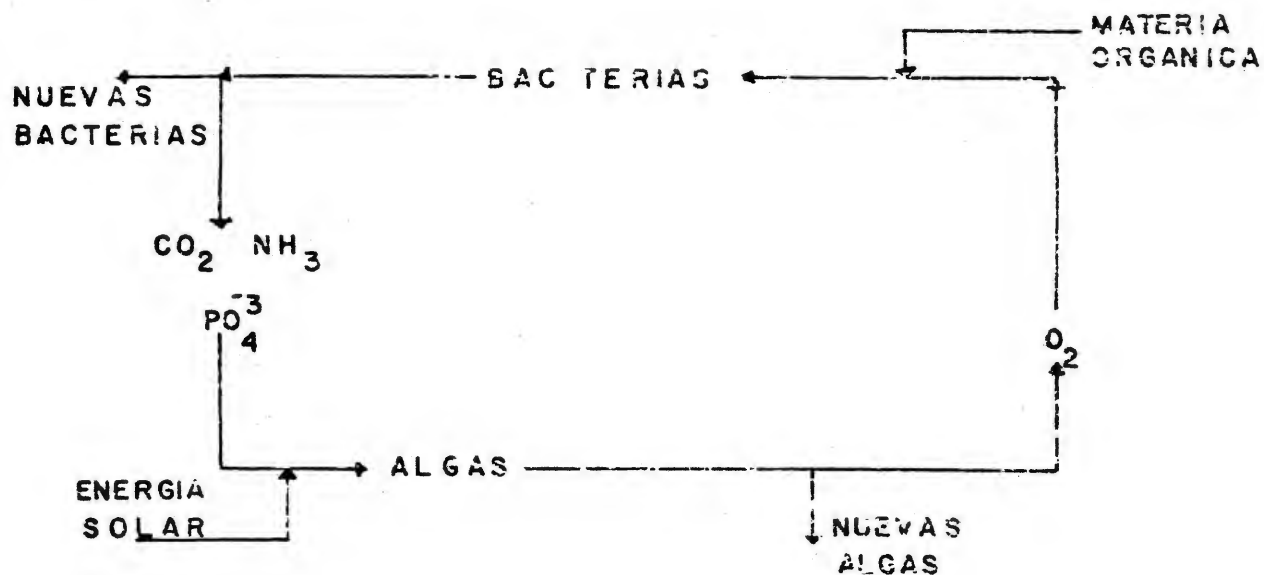
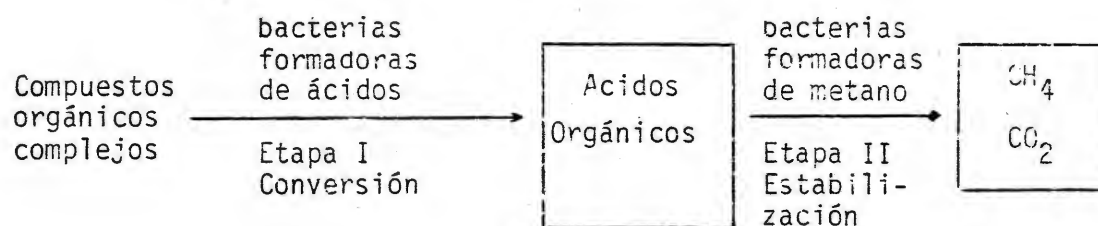


FIG. 4 REPRESENTACION ESQUEMATICA DE UNA LAGUNA DE ESTABILIZACION

LA RELACION SIMBIOTICA ENTRE ALGAS Y BACTERIAS ES COMO SIGUE:

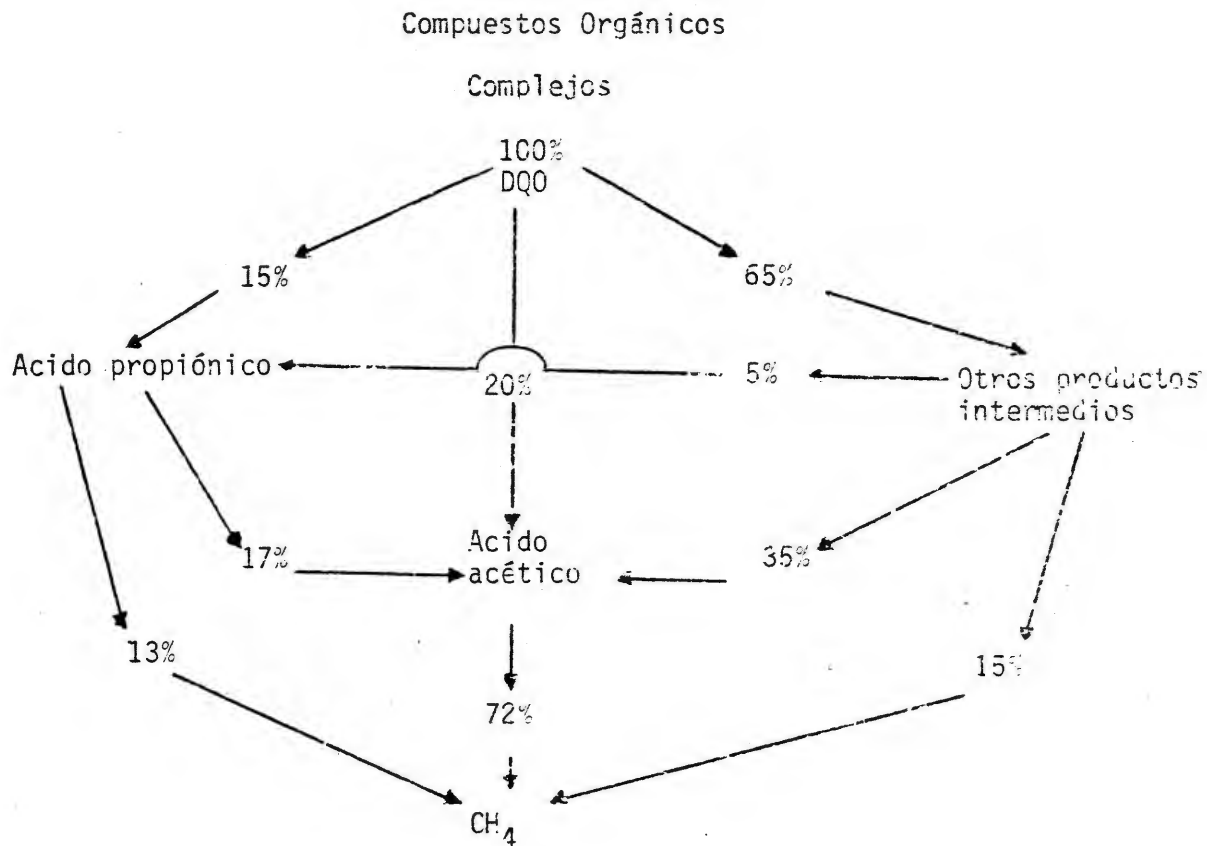


- 1) **Aeróbicas:** Las sustancias suspendidas y disueltas, degradables son convertidas en sales estables o minerales por microorganismos que suplen las necesidades de oxígeno con la fotosíntesis de las algas. Se utiliza aereación natural o mecánica. La escogencia del tipo de aereador y su potencia es un criterio de diseño sumamente importante para el buen funcionamiento de estas lagunas.
- 2) **Anaeróbicas:** Las sustancias degradables se estabilizan por organismos anaeróbicos en continua ausencia de oxígeno. El mecanismo se desarrolla en dos etapas, según se muestra en el siguiente diagrama:



Las bacterias denominadas "formadoras de ácidos" utilizan compuestos orgánicos complejos (grasas, proteínas, carbohidratos), los cuales son hidrolizados, fermentados y transformados biológicamente en compuestos más simples.

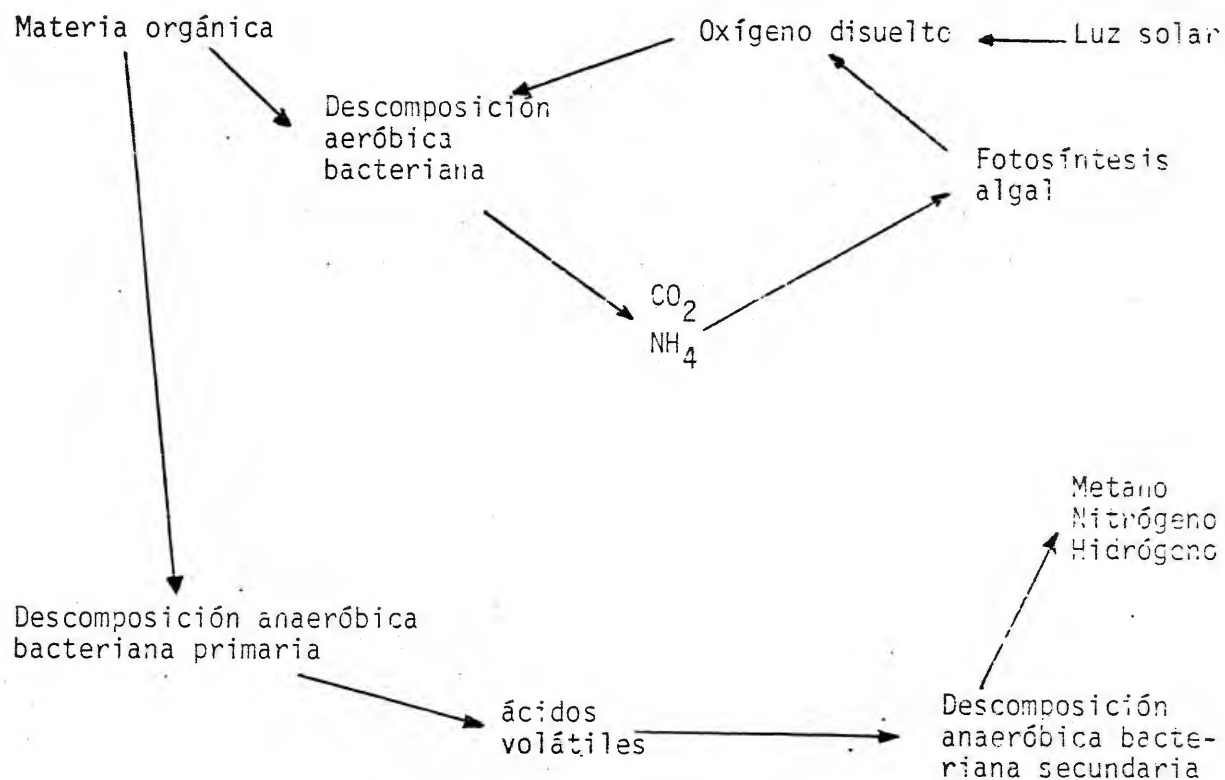
A continuación se muestra en forma gráfica las diferentes transformaciones que se llevan a cabo en este proceso:



En el diagrama se especifican los porcentajes de demanda química de oxígeno, basado en los compuestos iniciales, necesaria para la transformación a metano. Es importante observar como el metano producido vía ácido acético ocupa del 72% de la demanda de oxígeno, lo cual indica la gran cantidad de este ácido que se produce en la primera fase del mecanismo.

3) Heteroaeróbicas o Facultativas: Lagunas donde la estratificación causa un predominio de reacciones anaerobias en las secciones bajas y oxidación aerobia fotosintética en la parte superior.

Su funcionamiento se comprende mejor mediante el siguiente diagrama:



En forma general, y tomando en cuenta la característica principal, las lagunas se clasifican como se muestra a continuación:

<u>Característica base</u>	<u>Clasificación</u>
Actividad biológica	Aerobias Facultativas Anaerobias
Tipo de influente	Agua sin tratar Agua sedimentada Agua Cribada Efluente de algún sistema
Forma de Oxigenación	Fotosintética Transferencia superficial atmosférica Aereación artificial
Grado de agitación	Mezclado completo Flujo intermedio Flujo en pistón

La teoría para el diseño de lagunas de estabilización se basa en el tipo de flujo imperante, mencionados en esta última clasificación. Por ejemplo, Hermann y Gloyna (31) establecieron la ecuación para el volumen de una laguna facultativa usando el comportamiento de flujo en pistón, según el cual todos los elementos que circulan por la laguna tienen tiempos de permanencia uniforme, o sea que no hay mezcla a lo largo del flujo.

La ecuación es:

$$V = C Q S_0 \Theta^{(35-T)} f$$

donde:

V : Volumen de la laguna ( $m^3$ )

C : Cte. =  $3.5 \times 10^{-2}$

Q : Flujo promedio ( $m^3/día$ )

$S_0$  : DBO del influente (mg/l)

$\Theta$  : 1.085

T : Temperatura ( $^{\circ} C$ )

f : Factor  $\approx 1.0$  para concentraciones de  $SO_4^{=}$  menores de 500 mg/l.

Para el caso de mezclado completo se supone que la concentración del efluente es igual que en cualquier parte dentro de la laguna. Las ecuaciones correspondientes pueden encontrarse en el manual de la S.A.R.H.

(55) · Pág. 192.

Diseño:

El buen funcionamiento de una laguna depende casi exclusivamente de su diseño. Se deben tener en cuenta los siguientes factores:

**Físicos:** Tipo de suelo, área superficial, profundidad, forma geométrica, velocidad del viento, radiación solar, temperatura, tiempo de retención.

**Químicos:** Carga orgánica, variaciones en el gasto, pH, sólidos, concentraciones y naturaleza del desecho.

**Biológicas:** Tipo de bacterias, clase y cantidad de algas, actividad de los microorganismos, concentración de nutrientes, concentración de tóxicos.

Además de estos factores el diseño de la laguna está determinado por los requisitos impuestos al agua del cuerpo receptor.

En la tabla 12 se señalan los ámbitos que alcanzan los criterios de diseño más importantes para los diferentes tipos de lagunas de estabilización.



	AEROBICA	FACULTATIVAS	ANAEROBICA
Altura (m)	0.15 - 0.5	0.9 - 2.5	2.5 - 4.5
Tiempo de retención (días)	2 - 6	7 - 50	5 - 50
Carga orgánica BOD/Hect-día	245 - 500	500 - 1225	515 - 10000
% Remoción de BOD	80 - 95	70 - 95	50 - 80
Concentración de algas mg/l	100	10 - 50	0

Tabla 12. Criterios de diseño típicos para lagunas de estabilización (43).

En la tabla anterior se muestran los porcentajes de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno, o sea, la diferencia porcentual de la demanda de oxígeno entre la entrada y la salida, para lagunas de estabilización típicas.

Las lagunas aeróbicas logran un efluente con menor demanda biológica de oxígeno, pero soportan cargas orgánicas más pequeñas (menos de

500 DBO/hect.-día). También se debe mencionar que en el proceso aeróbico no se producen olores desagradables, los cuales sí se presentan al desarrollarse mecanismos anaeróbicos. Sin embargo, la relación costo/beneficio es la que en última instancia proporciona el criterio óptimo para la escogencia del tipo de tratamiento.

En la práctica las lagunas no se construyen aisladas sino que se utilizan series de lagunas para efectuar el tratamiento. Lo más acostumbrado es colocar dos o tres, estando primero la anaeróbica. Cuando estas lagunas, se diseñan para recibir desechos pre-tratados o se usan como tratamiento secundario, después del tratamiento primario convencional son conocidas por el nombre de lagunas de oxidación. Es aquí donde el jacinto de agua tiene una gran función. Al utilizar los nutrientes para su crecimiento es posible lograr mayor remoción de contaminantes, llegando incluso a obtener agua de características terciarias.

En 1977, Musil y Breen (39) en Sudáfrica, evaluaron la cinética del crecimiento del jacinto a través de la ecuación de Michaelis-Menton:

$$U = \bar{U} \left( \frac{S}{K_s + S} \right);$$

Donde:

$U$  : Razón de crecimiento específica

$\bar{U}$  : Razón de crecimiento máxima

S : Concentración de nutrientes limitantes

$K_s$  : Constante de saturación media; cuando  $U = 0.5 \bar{U}$

Ellos determinaron que el  $\text{NO}_3^-$  es el factor de crecimiento limitante y que otras formas de nitrógeno no son utilizadas por el jacinto para su crecimiento.

No obstante, Steward (54) primero y Castillo (15), posteriormente, demostraron que en el desarrollo del lirio están involucrados otros nutrientes.

A pesar de eso es claro que el nitrógeno es el principal alimento para el jacinto de agua, pero además se ha comprobado que sin la existencia de fósforo la planta no vive. Sin embargo el porcentaje de este nutriente extraído es más bajo que el de nitrógeno, siendo en algunos casos necesario la utilización de un tratamiento adicional.

### 3.1.2 Desarrollo cronológico de las principales investigaciones:

A continuación se hace un resumen cronológico de los principales estudios realizados en torno a la utilización del jacinto de agua para tratamiento de desechos orgánicos.

En 1948, Dymond (25), sugirió el uso de jacinto para remoción de nutrientes. Encontró que se podía eliminar nitrógeno y fósforo.

En 1965, Furman y Gilcreas (29), determinaron mediante el uso de jacinto de agua una reducción del 75% de materia orgánica durante el verano, bajando a 35% en los meses de invierno.

En 1966, Sheffield (51), estudió los efectos del jacinto en un tratamiento secundario. La remoción de ortofosfatos fue de 40 a 50%. Con un crecimiento controlado la cantidad de nitrógeno bajó en un 94% después de 10 días.

En 1968, Sheffield y Furman (52) usaron la siguiente configuración: el efluente pasa a una laguna de jacinto seguida de aereación y coagulación química, con recirculación. En este sistema el  $\text{NO}_3\text{-N}$  se redujo en un 92% y el  $\text{NH}_3\text{-N}$  en 35%.

En 1968, Edwards (26), encontró que una tonelada métrica de jacintos remueve 19 Kg de  $\text{PO}_4\text{-P}$  y 96 Kg de N.

En 1968, Clock (19), encontró alta remoción de nitrógeno y fósforo después de 5 días de retención con efluentes secundarios. El  $\text{NO}_3\text{-N}$  fue reducido en 75% y el  $\text{PO}_4\text{-P}$  en 61%.

En 1971, Miner (38), estudió el uso del lirio acuático para tratamiento del estiércol de cerdos en lagunas anaeróbicas. Al mismo tiempo que Furman, demostraba como la eliminación de nutrientes se aumenta drásticamente en los meses de verano. En 1972, Scarsbrook y Davis (40), estudiaron el efecto de aguas de desecho en el crecimiento de plantas acuá-

ticas vasculares, en lagunas de 0.66 m de profundidad. Los mayores rendimientos fueron los del jacinto de agua, para el cual el aumento de peso en base seca fue de 3.000% en 23 semanas, y cada planta absorbió 6.93 g de nitrógeno, 2.87 g de fósforo y 8.73 g de potasio en promedio. Como punto de referencia se estudió el efecto de aguas no contaminadas en el crecimiento del jacinto. El incremento del peso seco para este caso fue de 77%.

En 1972, Rogers y Davis (45), estimaron que el nitrógeno y el fósforo del desecho diario de 800 personas puede ser adsorbido por una hectárea de jacintos.

En 1977, la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (N.A.S.A.) (40), publica los resultados obtenidos en varios de sus proyectos. Uno en Lucedale, Mississippi, otro en Orange Grove también en Mississippi y en Williamson Creek, Texas. Además realizan un resumen de los estudios de varias universidades del sur de los Estados Unidos y de algunos proyectos propuestos, entre los que destaca el de Disney World para la comunidad del mañana. Los investigadores a cargo del programa concluyen que el factor costo/beneficio constituye la mayor motivación para el tratamiento de desechos orgánicos con lirio acuático.

En 1978, Dinges (24) realizó un estudio en Austin, Texas, en una laguna de 9.1 x 64 m, dividida en cuatro secciones. Los resultados muestran como los contaminantes del agua fueron eliminados por medio de una combinación de factores biológicos, químicos y físicos. También se com-

probó la existencia de cloro, potasio, fósforo, arsénico, cromo, mercurio, hierro, níquel, zinc, cobre, magnesio y manganeso, como minerales acumulados en el jacinto durante el período de crecimiento.

En 1979, el Centro de Investigaciones de Energía y Medio Ambiente de Puerto Rico (17), realizó un proyecto en el cual el jacinto de agua se usó para un tratamiento terciario de aguas contaminadas y la biomasa aprovechada convirtiéndola en metano. Se obtuvo un 95% de reducción en el nitrógeno de 30.4 mg/l a 0.05 mg/l y 25% de extracción de fósforo (1.12 mg/l a 0.84 mg/l). Los sólidos totales se eliminan en un 90%. Además se obtiene un incremento de 2.61 p.p.m. de oxígeno disuelto, durante el tratamiento.

En 1981, Block (9), da cuenta que el sistema de tratamiento del agua para la ciudad de San Juan, Puerto Rico, contiene una laguna sembrada de lirio acuático. Por medio de esta laguna fue posible bajar el nivel de los contaminantes orgánicos por debajo de los límites establecidos, lo que no se había logrado con el tratamiento original.

La mayoría de investigadores están de acuerdo en la importancia del lirio acuático para el tratamiento de desechos, principalmente orgánicos y concuerdan en que las mayores ventajas son las siguientes:

- 1- Uso de una maleza para lograr agua de mejor calidad
- 2- Costos mínimos de operación
- 3- Tratamiento eficaz de alto grado

- 4- Bajas inversiones de capital
- 5- Utilización posterior del lirio como abono, alimento para animales o para producir metano por fermentación.

A su vez, la mayor desventaja de esta clase de tratamiento es la alta disponibilidad de terreno necesario para la instalación.

### 3.1.3 Parámetros de diseño:

Tomando en cuenta los criterios proporcionados por los diferentes autores, con experiencia en sistemas de tratamiento de aguas residuales con lirio acuático es posible lograr establecer un ámbito de trabajo razonable para cada uno de los parámetros de diseño.

En la tabla 13 se muestra el valor de algunos parámetros importantes que fue posible obtener de la literatura. La mayoría de estudios contienen una sensible falta de información, ya que no se presentan los datos de muchas variables, trascendentales para el diseño del sistema; sino que se dedican a mostrar los resultados obtenidos.

Se debe considerar también que estos trabajos fueron realizados en Estados Unidos, y que existe gran diferencia en el clima, la tierra y la temperatura ambiental, principalmente, con respecto a los países tropicales.

AUTOR	# Bibliografía	Lugar del Estudio	No. de Lagunas	Profundidad m	Flujo $m^3$ / día	Carga orgánica kg DBO/ no.-día	Area Ha	% ELIMINADO			Otros
								BOD	N	P	
Development Research Manager	22	Florida	5	0,4	378	31	0,5	98	97	79	Retención: 6 días
Cornwell	20	Florida	3	1,4	3800		2.1		80	44	Retención: 0.6 días.
Miner, Wooten y Dodd	38	Iowa	4	0,6			30 $m^2$	88	93	82	A nivel de laboratoris Lagunas cíclicas de plástico
Rogers y Davis	45				0.11						Retención: 2-3 días.
Wooten y Dodd	56	Icwa	5	0,8	630		0,05		96	40	Tratamiento terciario.

Tabla 13. Resumen de algunas consideraciones de diseño proporcionadas por la literatura.



AUTOR	# Bibliografía	Lugar del Estudio	No. de Lagunas	Profundidad m	Flujo m <sup>3</sup> / día	Carga orgánica Kg DBO / ho.- día	Area Ha	% ELIMINADO			Otros
								BOD	N	P	
W.C. Stewart	54	California	5	1.7	11		10 m <sup>2</sup>	49	80	Bajo	Estudio piloto Retención 4-5 días. Tratamiento Terciario
Dinges	23	Texas	3	1	110	89	1,2	97	63	50	Retención: 5.3 días
C.E.E.R.	17	Puerto Rico	2						95	25	Tratamiento Terciario
N.A.S.A.	40	Mississippi	1	1.22				89	52	23	
N.A.S.A.	40	Mississippi	3	1.83	870	45	1.05, 1.6, 0,28	90	74	29	
N.A.S.A.	40	Mississippi				26	2	96	87	82	Retención: 50 días.
Stewart	54	Florida	3		1035		0,4	60	80	33	Tratamiento Terciario

Tabla 13. Continuación.

A continuación, se analizan algunos de los parámetros de diseño para obtener un ámbito más acorde a los países ubicados dentro del "Cinturón de Jacintos".

#### Número de Lagunas:

Varían de 1 a 5 unidades. No obstante, la mayoría de trabajos constan de 3 lagunas en serie, de la siguiente manera: primero una anaeróbica, la cual funciona mejor en invierno. Después una aeróbica o una facultativa para el verano. Por último la unidad con jacintos de agua. Para el trópico se consideran suficientes 2 lagunas, dado que es posible suprimir la anaeróbica.

#### Profundidad:

Para las lagunas auxiliares se utiliza el ámbito de profundidad, según el tipo de laguna requerido. Se pueden utilizar los proporcionados en la tabla 12 en el caso de la laguna con jacintos la profundidad no debe ser mayor de un metro, ni muy pequeña, para lograr un máximo de contacto entre las raíces del lirio y los nutrientes.

#### Tiempo de retención:

Se utilizan los mismos tiempos que se recomiendan para lagunas tradicionales. La laguna de jacintos, a pesar de ser aeróbica, debe tener un tiempo de residencia mayor de 6 días para obtener mayor contacto con los nutrientes.

### Velocidad de carga hidráulica:

Este parámetro no está determinado exactamente. En la tabla 13, se observa como varía considerablemente el flujo para cada estudio, por tanto se tomará como valor de diseño la recomendación de Middlebrooks (37):  $0.02$  a  $0.08 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-día}$ .

### Carga orgánica:

La eficiencia del trabajo de una laguna de estabilización depende de la cantidad de materia orgánica vertida por unidad de tiempo. Sin embargo, es bastante difícil establecer un ámbito de operación, debido a que el trabajo de la laguna está determinado por fenómenos ambientales como la intensidad de luz, duración del día solar, vientos, y por otros intrínsecos de ella como la concentración de algas. Los estudios consultados trabajan con cargas menores de  $100 \text{ Kg DBO/ha-día}$ . Mientras tanto las lagunas en Costa Rica se diseñan para soportar un máximo de  $150 \text{ kg DBO/ha-día}$ .

En la tabla 14 se resumen las anteriores consideraciones y se amplía con algunos otros puntos que deben ser especificados para lograr el diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales utilizando el lirio acuático.

El área se recomienda que sea menor de  $0.4 \text{ ha}$  para lograr una mejor recolección del lirio.

PARAMETRO	VALOR DE DISEÑO
Número de lagunas	2 - 3
Profundidad laguna con lirios	< 1 m
Profundidad otras unidades	Depende del tipo
Tiempo retención laguna lirios	> 6 días
Tiempo retención otras unidades	Depende del tipo
Flujo	0.02 - 0.08 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> - día
Carga orgánica	< 150 Kg DBO/ha-día
Forma	Rectangular - ovoidal
Relación largo-ancho	3:1.
Taludes	Pendiente 1:3.
Area laguna con lirios	< 0.4 ha.
Pendiente del terreno	0.5

Tabla 14. Criterios de diseño para sistemas de tratamiento de aguas residuales con Jacinto de Agua.

### 3.1.4 Operación de sistemas de tratamiento con lirio acuático:

Con este punto, se establecen algunas normas que deben cumplirse para el funcionamiento normal de los sistemas de tratamiento que utilizan jacinto de agua:

- 1) Proyectar la instalación de modo que se pueda regular el nivel de agua y vaciar completamente la laguna.
- 2) Nivelar el fondo antes de llenar la laguna.
- 3) Mantener en buen estado los taludes de los diques.
- 4) Se debe evitar el contacto humano o de animales, con el contenido de las lagunas.
- 5) Tomar precauciones especiales para lograr un sellado efectivo del piso y bordos.
- 6) La superficie no debe estar totalmente cubierta de jacintos. Se recomienda un 75%.
- 7) Se debe tener especial cuidado de que los jacintos no abandonen la laguna y lleguen a los ríos. Ocasionando una eventual propagación de la maleza.

- 8) Se deben mantener relaciones de nitrógeno a fósforo de 3:1 o más.  
Se puede adicionar amoníaco o precipitar el fósforo para mantener la relación.
- 9) Es necesario realizar pruebas de laboratorio diariamente para controlar el nivel de eliminación de contaminantes.
- 10) Debe llevarse control de la evaporación de agua para mantener el nivel, regulando el flujo de salida.

### 3.2 JACINTO DE AGUA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

Otro vasto campo de acción del jacinto de agua se desarrolla al aprovechar su poder de absorción para descontaminar las aguas industriales. La experiencia en este sentido, y hasta hace pocos años era muy pobre; sin embargo, últimamente se realizan proyectos para evaluar el verdadero poder del lirio acuático. Organismos altamente especializados como el Laboratorio Nacional de Tecnología Espacial (N.S.T.L.), en Estados Unidos están abocados hacia esta clase de estudios. Se ha logrado comprobar a nivel experimental, la forma en que el jacinto de agua es capaz de adsorber y almacenar gran cantidad de sustancias contaminantes. El N.S.T.L. (32) proporciona algunos datos de interés con respecto a la extracción de metales pesados usando jacinto de agua:

- Plomo: Aproximadamente media hectárea de jacintos es capaz de extraer 105.6 gramos de plomo en un período de 24 horas.
- Mercurio: Una laguna de jacintos de una hectárea extrae cerca de 200 gramos en 24 horas.
- Cadmio: Una hectárea de jacintos puede adsorber 300 gramos cada 24 horas.
- Cobalto: La velocidad de extracción del cobalto de las aguas industriales por hectárea de jacintos es de 340.8 gramos por día.
- Níquel: Lagunas de una hectárea sembradas de jacinto de agua tienen capacidad para eliminar 300 gramos de níquel cada día.
- Plata: Una hectárea de jacintos puede extraer 263 gramos de plata en un período de 24 horas.

La importancia del proceso de extracción de metales pesados con jacintos de agua está no sólo en la eliminación de esos elementos, sino que es posible mediante sistemas adicionales, lograr recuperarlos.

Además de metales pesados el N.S.T.L., comprobó que el Jacinto de agua puede eliminar el fenol y sus derivados de las aguas industriales. También, se menciona la posibilidad de controlar el nivel de algunos insecticidas en el agua.

Se debe destacar que el jacinto de agua resiste el ataque de esos elementos, y a concentraciones moderadas no sufre retraso en su crecimiento.

### 3.2.1 Descripción y clasificación de los efluentes industriales:

Es necesario clasificar los procesos industriales en base al contenido de sus efluentes, para determinar de esta forma la factibilidad de instalar en ellos el sistema de tratamiento. En la tabla 15 se especifican, el origen, las características y el tratamiento de los desechos de procesos industriales conocidos. Dentro de la tabla se encuentran numerosos procesos, en los cuales, sus desechos se pueden enmarcar dentro del tipo orgánico, de manera que es posible tratarlos como se propone en el punto 3.1. Se necesita hacer esta división debido a las diferentes características del diseño de los dos tipos de tratamiento, y al camino diferente que sigue el jacinto de agua después de utilizarlo en el tratamiento del agua, según se propone en el capítulo V.

En la tabla 16 se clasifican los procesos en que es factible el uso del jacinto, en orgánicos y del tipo industrial, dependiendo del efluente de cada uno de ellos.



PROCESO INDUSTRIAL	ORIGEN DE LOS DESECHOS PRINCIPALES	CARACTERISTICAS DEL EFLUENTE	TRATAMIENTOS Y METODOS DE ELIMINACION.
Detergentes y jabones	Lavado y purificación	Alto en DBO, espumas.	Desnatado, precipitación con $\text{Ca Cl}_2$
Almidón	Condensados y lavados	Alto DBO y materia orgánica	Filtración biológica, digestión anaerobia
Pesticidas	Productos de lavado y purificación.	Alto contenido material orgánico (estructuras benzénicas)	Dilución, almacenamiento, carbón activado, cloración
Fosfatos y fósforo	Lavado, tamizado y condensados	Bajo pH, sólidos, fósforo, sílice, cloruros.	Lagunas, clarificación, coagulación y precipitación.
Plásticos y resinas	Preparación de polímeros, derrames y lavado	Acidos, materia orgánica disuelta, (fenoles, etc).	Descarga controlada a colector municipal.
Café	Descarrilado y fermentación del grano	Alta DBO y sólidos en suspensión	Tamizado, precipitación y filtros bacterianos
Pescado	Desechos de centrífuga, aguas de lavado	Alta DBO, sólidos orgánicos, clor.	Evaporación de vertidos, materia restante va al mar

Tabla 15. Descripción de algunos residuos industriales (42).

PROCESO INDUSTRIAL	ORIGEN DE LOS DESECHOS PRINCIPALES	CARACTERISTICAS DEL EFLUENTE	TRATAMIENTO Y METODOS DE ELIMINACION.
Arroz	Remojo, cocido y lavado	Alta DBO, sólidos	Coagulación por calcio, digestión.
Refrescos	Lavado de botellas, drenaje de los tanques	Alto pH y DBO, sólidos en suspensión	Tamizado, descarga a colector municipal
Papel	Cocción, refinado, lavado de fibras, tamizado de pulpa	pH alto o bajo, color, sólidos, cargas inorgánicas	Precipitación, lagunas, biológico, aireación
Gomas	Lavado de latex, impurezas extraídas de la materia prima	DBO alta, olor, sólidos en suspensión, cloruros	Aireación, coloración, sulfanación, biológico
Colas	Lavado de cal, lavado ácido	DBO y pH altos, cromo, ácidos, minerales fuertes	Sistema biológico aireado, precipitación química
Tratamiento de madera	Condesado de vapor	Alta DBO, sólidos y fenoles	Coagulación, lagunas de oxidación
Textiles	Preparado de fibras, eliminación del apresto	Alcalino, coloreado, DBO y temperaturas altas, alto contenido sólidos en suspensión.	Neutralización, precipitación química, tratamientos biológicos aireación, filtros bacterianos.

Tabla 15. Continuación.

PROCESO INDUSTRIAL	ORIGEN DE LOS DESECHOS PRINCIPALES	CARACTERISTICAS DEL EFLUENTE	TRATAMIENTO Y METODOS DE ELIMINACION
Curtidos	Pelado, remojado, eliminación de cal, lavado de pieles	Sólidos altos, dureza sales, sulfuro, cromo, DBO alta	Igualación, sedimentación, tratamiento biológico
Lavanderías	Lavado	Alta turbidez, alcalinidad, sólidos orgánicos	Tamizado, precipitación química, adsorción
Alimentos enlatados	Preparación, extracción y tratamiento	Sólidos en suspensión, materia orgánica	Tamizado, lagunado, absorción
Productos de leche	Dilución, producción de mantequilla y suero	Materia orgánica (proteínas, grasas y lactosas)	Biológico, aireación, filtros bacterianos, lodos activados
Bebidas fermentadas y Destiladas	Maceración, residuo de la destilación	Materia orgánica (nitrógeno y almidones fermentados)	Centrifugación, filtros bacterianos digestión de los residuos.
Productos de la carne y pollos	Corrales, residuos de los animales	Materia orgánica, sangre	Tamizado, precipitación y filtración, filtros bacterianos.

Tabla 15. Continuación.

Proceso Industrial	Tratamiento Desechos Orgánicos	Tratamiento Desechos Industriales
Textiles		X
Curtidos		X
Alimentos enlatados	X	
Productos de leche	X	
Bebidas, fermentados y destiladas	X	
Productos de carne	X	
Café		X
Acabados metálicos		X
Pescado y pollo	X	
Arroz	X	
Refrescos	X	
Papel		X
Gomas y colas		X
Tratamiento de madera		X
Detergentes y jabones		X
Almidón	X	
Pesticidas		X
Plásticos y resinas		X

Tabla 16. Clasificación de procesos industriales.

### 3.2.2 Factibilidad de instalar el tratamiento:

#### Consideraciones:

Los sistemas de tratamiento para aguas residuales industriales son diseñados y puestos a funcionar en base al contenido de sus efluentes. Es por esta razón que no es posible precisar un sistema común, tal como se propone para los efluentes del tipo orgánico.

Se señalan a continuación, los puntos a seguir para definir la posibilidad de instalar un tratamiento que utilice lirio acuático para descontaminar las aguas industriales:

- 1) Se deben realizar análisis de laboratorio hasta obtener exactamente las características del efluente y sus variaciones. También deben realizarse análisis en el cuerpo receptor de las aguas.
- 2) De acuerdo con las normas establecidas para el cauce que recibe el efluente ó para las sustancias contenidas en éste, determinar las características contaminantes de cada elemento en el agua de desecho.
- 3) Clasificar los elementos del efluente, determinando cuales son los más peligrosos para el medio ambiente.
- 4) Realizar análisis a futuro, tomando en cuenta posibles ampliaciones de la planta y su efecto en los contaminantes, especialmente los

clasificados como "más peligrosos".

- 5) Igualmente, estudiar las variaciones anuales del cauce receptor y hacer una proyección al futuro.
- 6) Obtener literatura y toda clase de información sobre jacinto de agua para tratar los contaminantes "peligros" de este proceso industrial.
- 7) Determinar experimentalmente, a nivel de laboratorio, el efecto de los principales elementos contaminantes sobre el lirio acuático.
- 8) Después de determinar si el jacinto de agua resiste el ataque de los contaminantes; se debe realizar un estudio a nivel piloto, donde se incluye el efecto de las variables ambientales, tan importantes en esta clase de trabajos.

De ser necesario debe añadirse nutrientes al agua para el crecimiento y supervivencia de la planta. En la laguna piloto se hacen análisis de laboratorio para encontrar el porcentaje de cada contaminante eliminado.

- 9) Si el estudio del punto anterior resulta satisfactorio se procede a diseñar el sistema de tratamiento. Se debe contemplar la posibilidad de añadir otras aguas al sistema para aumentar el nivel de nutrientes.

#### IV DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO

El sistema aquí propuesto fue diseñado para la cooperativa "El Silencio" en Quepos y especialmente para tratar las aguas residuales de una planta procesadora de frutas. Este trabajo se concreta en el diseño del sistema.

Se utilizan los procedimientos de diseño dados para lagunas de estabilización convencionales y las consideraciones propuestas en el punto 3.1.3 para sistemas de tratamiento con jacintos de agua.

A continuación se detallan los factores que deben establecerse para obtener el diseño total del sistema:

##### 1) Selección del sitio:

Por norma las lagunas de estabilización deben ubicarse a una distancia mínima de 400 metros a la casa más cercana (46). Es conveniente que el líquido llegue a la laguna por gravedad y que la salida del sistema esté cerca de un río. El sitio seleccionado reúne estas características, está ubicado a unos 100 metros de la planta y mide aproximadamente 400 metros cuadrados, además el terreno cuenta con tierras arcillosas, excelente para evitar la filtración.

2) Forma de la laguna:

Debido a las características topográficas del terreno, se escogió la forma rectangular, a la vez que esta proporciona las mejores condiciones para la recolección del jacinto.

3) Número de lagunas:

Se planteó un sistema de dos lagunas conectadas por un pequeño canal. La primera será una laguna de estabilización del tipo aeróbica, la cual disminuirá el contenido orgánico del efluente. Posteriormente se ubica otra laguna, de baja profundidad, sembrada con jacintos de agua, que se encargarán de disminuir los contaminantes hasta un nivel secundario, suficiente para poder utilizar las aguas río abajo en irrigación.

4) Profundidad:

Se considera 0.91 metros como la profundidad óptima para este tratamiento, ya que está dentro del ámbito de lagunas aeróbicas y también proporciona un mayor contacto de los nutrientes con las raíces del jacinto.

5) Taludes:

La pendiente es de 1 a 3, según recomendación del Livestock Wastes Subcommittee" (35) para lagunas de tratamiento, deben ser protegidas



contra las corrientes, tal como se especifica en el figura 7.

6) Período de retención:

Datos: Q : Flujo estimado:  $15 \text{ m}^3/\text{día}$

P : Profundidad : 0.91 m

A : Area disponible:  $350 \text{ m}^2$

Cálculo del Volumen:

$$V = Ap = 350 \text{ m}^2 \times 0.91 \text{ m} = 318.5 \text{ m}^3$$

Cálculo del tiempo de retención:

$$t = \frac{V}{Q} = \frac{318.5 \text{ m}^3}{15 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}} = 21 \text{ días}$$

Lo que significa un período de aproximadamente 10 días en cada laguna; cumpliendo con la restricción impuesta en el apartado 3.13 (tiempo mayor de 6 días).

Demanda máxima de oxígeno recomendado:  $\text{DBO}_{\text{max}}$

Para el buen funcionamiento de esta clase de lagunas debe cumplirse con una carga orgánica máxima de  $150 \text{ kg/ha-día}$  (valor usado en Costa Rica).

$$DBO_{\max} = \frac{150 \text{ Kg DBO}}{\text{ha} \cdot \text{día}} \times 350 \text{ m}^2 \times \frac{\text{ha}}{10000 \text{ m}^2} \times 10^6 \frac{\text{Mg}}{\text{Kg}}$$

$$\frac{1 \text{ día}}{15 \text{ m}^3} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}}$$

$$DBO_{\max} = 350 \text{ mg DBO/l}$$

Si el desecho tiene una demanda de oxígeno mayor de 350 mg/l, es probable que la primera laguna falle, por no estar capacitada para tratar grandes cargas orgánicas.

7) Dimensiones de las lagunas:

$$\text{Area: } 350 \text{ m}^2$$

Ancho: 12 m (Por configuración del terreno)

$$\text{Largo: } \frac{350 \text{ m}^2}{12 \text{ m}} = 30 \text{ m}$$

Longitud de cada laguna: 15 m

Longitud del canal intermedio: 2 m

$$\text{Area total: } (30 + 2) \text{ m} \times 12 \text{ m} = 384 \text{ m}^2$$

$384 \text{ m}^2 < 400 \text{ m}^2$ . Se cumple con la restricción del terreno.

## 8) Estructura de entrada y salida:

La entrada a la primera laguna es por gravedad, utilizándose para transportar el fluido un canal rectangular. En la parte superior de la ladera se coloca una esclusa que mide el flujo, según se muestra en la figura 6. El flujo se calcula a partir de las dimensiones de la esclusa y el nivel de agua con la siguiente fórmula empírica (fórmula de Francis):

$$Q = 1400 H^{5/2}$$

Donde:

Q : Caudal en l/s

H : Carga del vertedor en m

Cálculo de H:

La planta procesadora de frutas trabaja 6 horas diarias y despide un caudal aproximado de  $15 \text{ m}^3$  por día.

$$Q = \frac{15 \text{ m}^3}{\text{día}} \times \frac{\text{día}}{6 \text{ h}} \times \frac{1000 \cdot \text{l}}{\text{m}^3} \times \frac{\text{h}}{3600 \text{ s}} = 0.69 \text{ l/s}$$

$$Q = 1400 H^{5/2} \implies H = \left( \frac{Q}{1400} \right)^{2/5} = \left( \frac{0.69}{1400} \right)^{2/5} \implies$$

$$H = 4.75 \times 10^{-2} \text{ m} \implies H = 4.75 \text{ cm}$$

Otra esclusa de este tipo se utiliza para medir el flujo de salida del sistema.

Las estructuras de salida deben construirse de forma tal que permitan controlar el nivel de agua en la laguna y también vaciarla completamente. En la figura 9 se presenta una estructura que logra realizar estas funciones. Cuenta con tres niveles de salida, uno al nivel de agua máximo, otro al de diseño y por último uno en el fondo. Además, para el caso de la primera laguna, la estructura de salida debe tener una válvula adicional, colocada en el fondo. De esta manera es posible vaciar individualmente cada laguna. También funciona como válvula de seguridad.

El nivel de agua se regula con el flujo de salida, conociendo la cantidad de agua evaporada.

Cálculo del flujo de salida:

$$\text{Evaporación: } E_m = 15 (V_w - V) \left(1 + \frac{W}{10}\right)$$

$E_m$  : Evaporación mensual plg/mes

$V_w$  : Presión vapor a la temperatura del agua. Plg Hg

$V$  : Presión vapor a la temperatura del aire plg Hg

$W$  : Velocidad del viento, millas/h

$$Q_e = 8.47 \times 10^{-4} E_m A$$

$Q_e$  = evaporación diaria:  $m^3/\text{día}$

A ; área laguna  $m^2$

$$Q_{ef} = Q_s - (Q_e + Q_p)$$

$Q_s$  = flujo entrada  $m^3/día$

$Q_e$  = Agua evaporada  $m^3/día$

$Q_p$  = agua filtrada  $m^3/día$

$Q_{ef}$  = flujo de salida  $m^3/día$

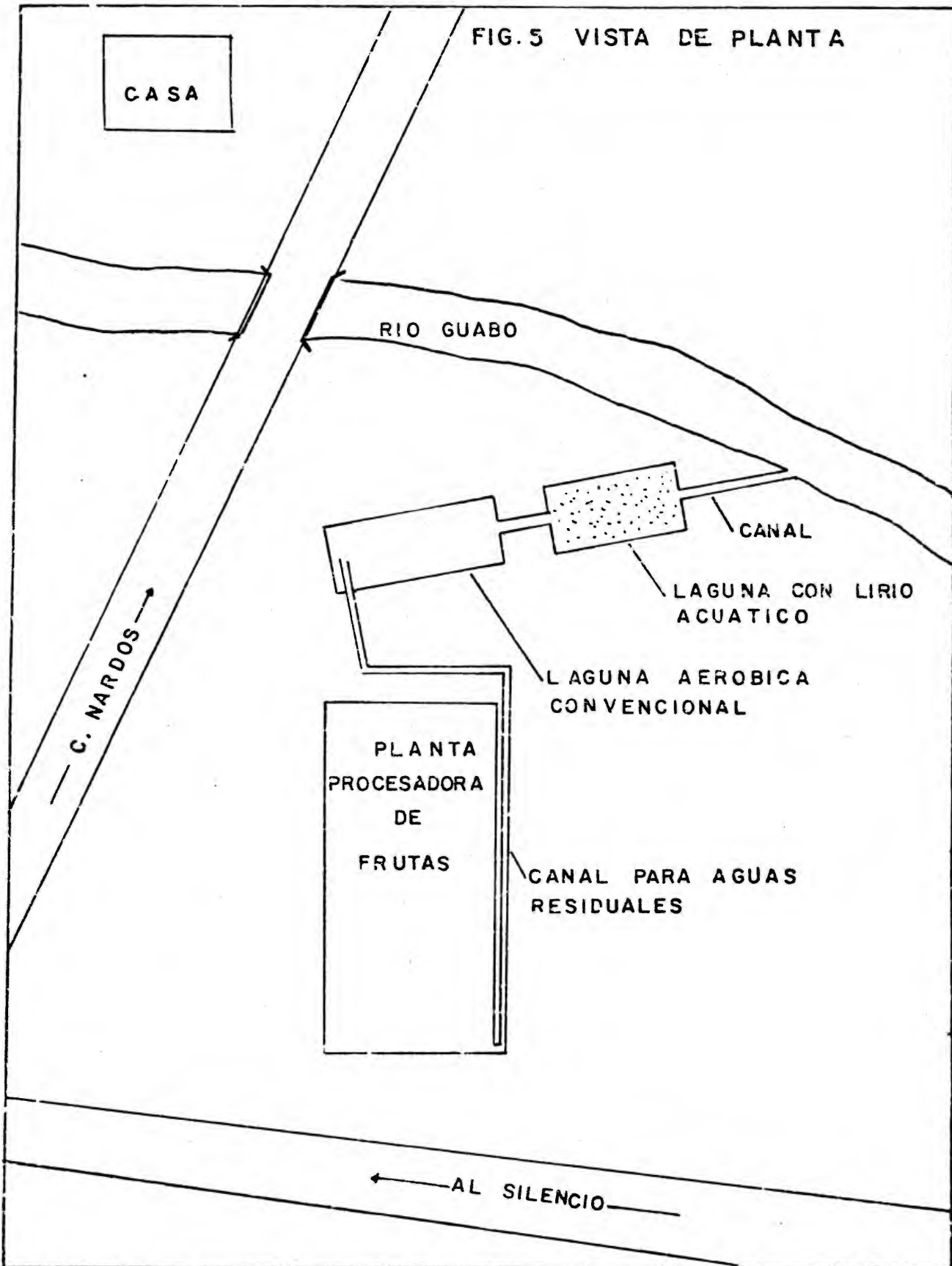
El agua filtrada se estima a partir de las características de la tierra.

9) Otras recomendaciones:

- a) La estructura de las lagunas no debe presentar irregularidades en las orillas ni permitir la formación de isletas, evitándose de esta manera la aparición de mosquitos.
- b) Construir una cerca suficientemente segura, para evitar el acceso de personas o animales a las lagunas.
- c) Colocar avisos de precaución, indicando que no se debe tener contacto físico con esas aguas.
- d) Nivelar el fondo y eliminar toda vegetación antes de llenar la laguna.

- e) De ser necesario se debe usar un recubrimiento de arena y piedra, para evitar filtraciones. Esto no aumenta el costo en forma significativa, ya que existe gran cantidad de esos materiales en la Cooperativa.
- f) En consideración a la alta radiación solar de la región (aproximadamente  $600 \text{ cal/cm}^2 - \text{día}$ ) puede ser posible que aumente la eficiencia del tratamiento, llegando incluso a justificarse un estudio para tratar en la laguna las aguas negras de la comunidad.
- g) Por último, se recomienda obtener periódicamente los siguientes datos, a la entrada y la salida del sistema:
- pH
  - temperatura
  - alcalinidad
  - DQO
  - oxígeno disuelto
  - sólidos totales
  - sólidos volátiles
  - flujo
  - nitrógeno amoniacal
  - nitrógeno orgánico
  - fosfatos y
  - cloruros.

FIG.5 VISTA DE PLANTA



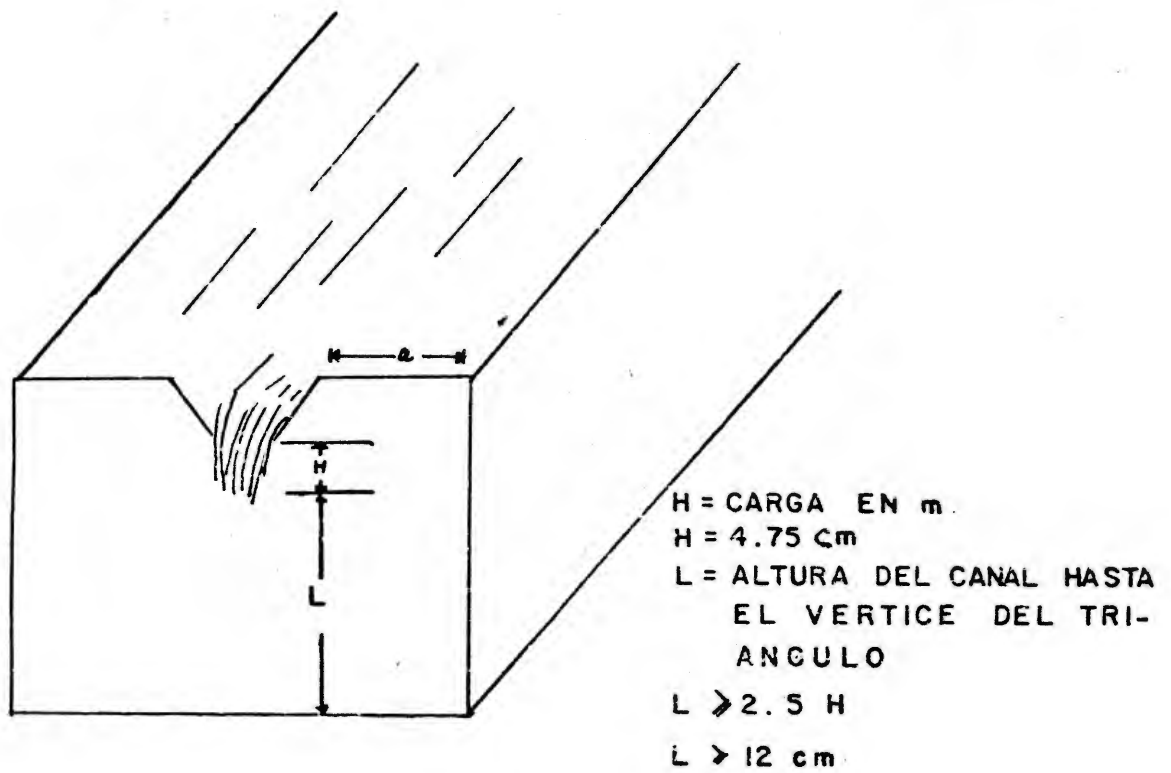
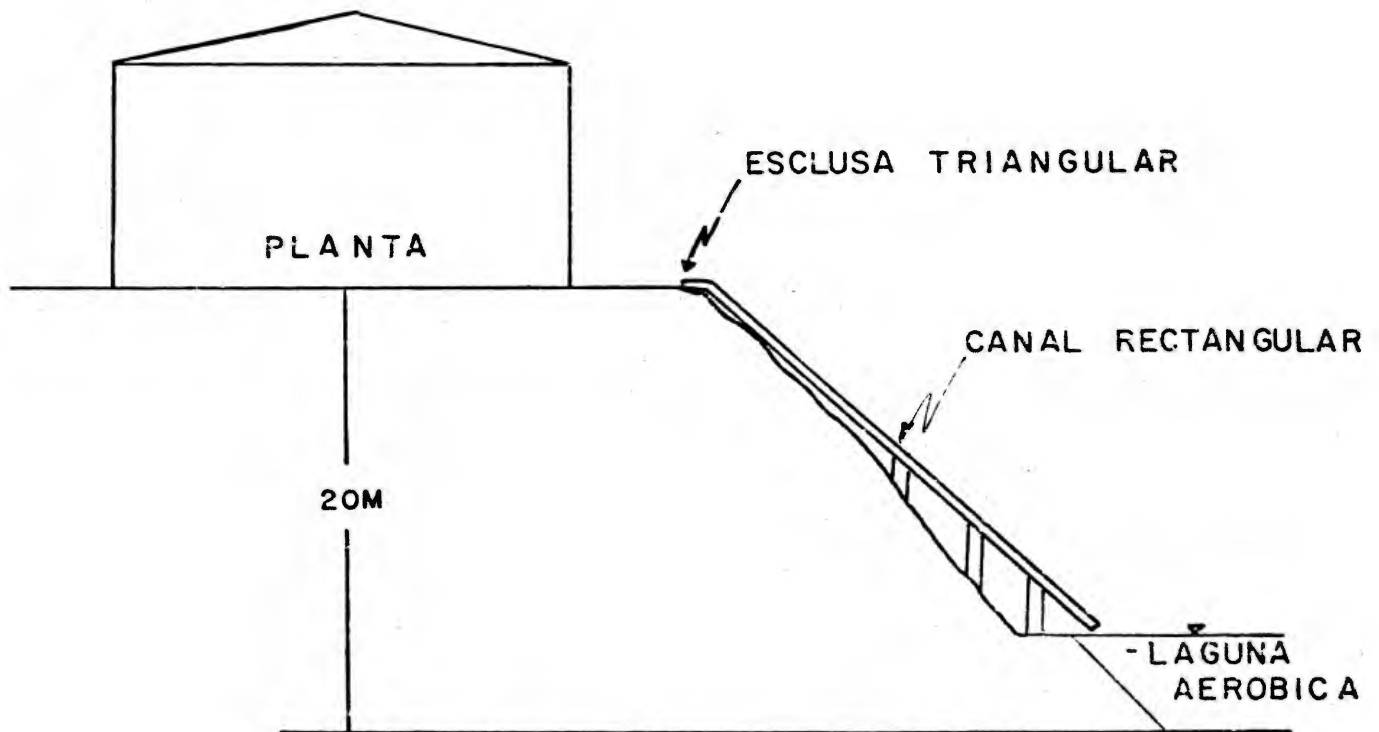


FIG.6 PERFIL DEL SISTEMA Y DETALLE DE LA ESCLUSA



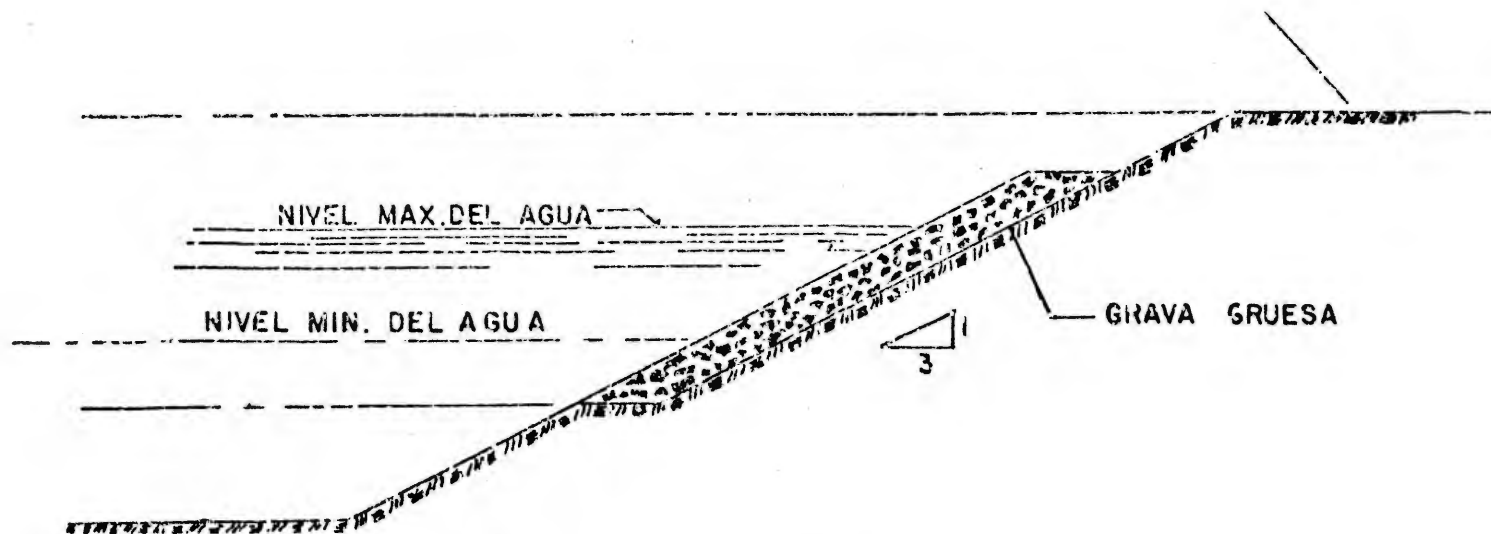


FIG.7. DETALLE DEL TALUD escala 1:40

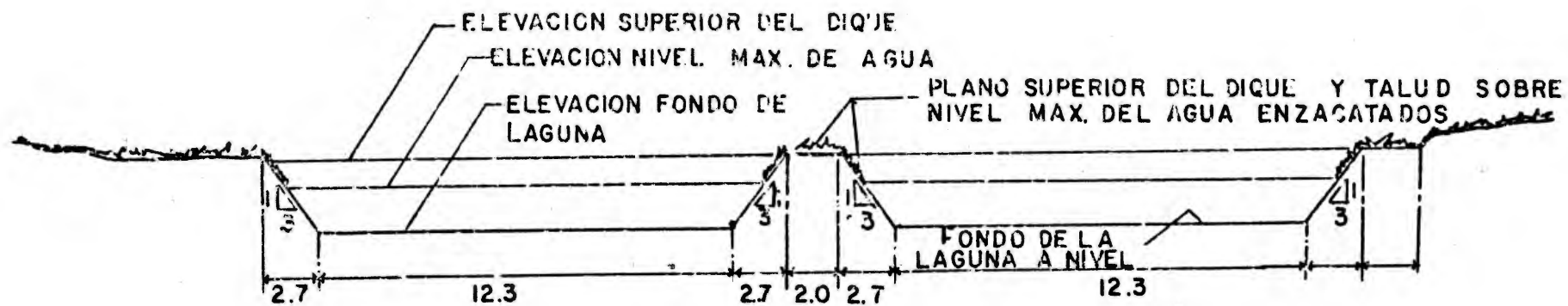


FIG.8. CORTE LONGITUDINAL DEL SISTEMA DE LAGUNAS escala horizontal 1:500 vertical 1:200

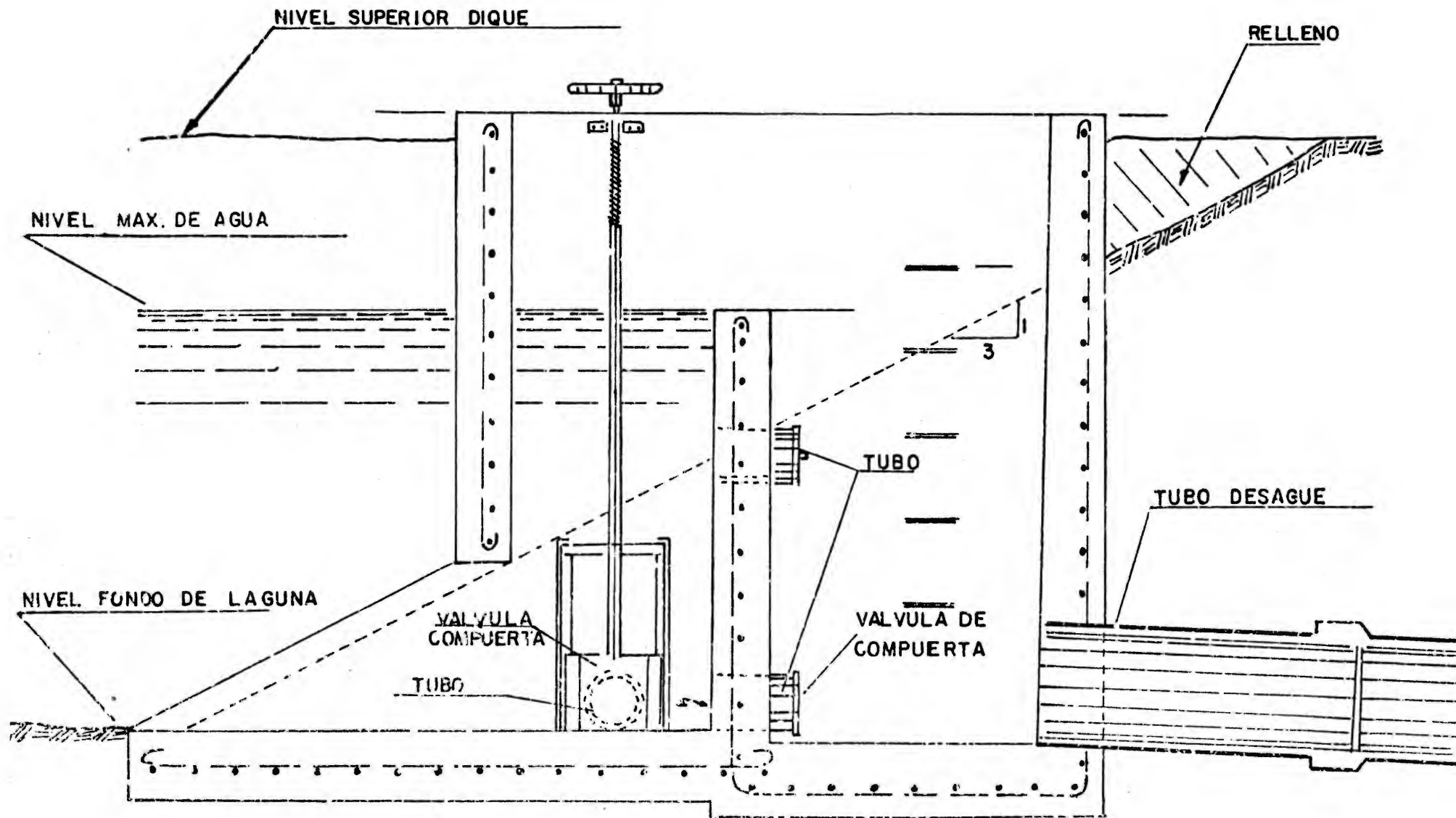


FIG. 9. DETALLE DE LA ESTRUCTURA DE SALIDA

## V USOS POSTERIORES DEL JACINTO

### DE AGUA

Para hacer funcionales los sistemas de purificación de agua, es necesario que las plantas se mantengan en continuo crecimiento. Para ello se deben extraer cada cierto tiempo una considerable cantidad de jacintos. A pesar de que el lirio acuático cumple una excelente función al descontaminar las aguas, es indispensable encontrar un uso para las plantas extraídas, de lo contrario se estará creando un nuevo problema de graves proporciones.

La alta productividad de biomasa por parte del jacinto, es un incentivo para sugerir diferentes alternativas de aprovechamiento. En la tabla 17 se destaca la productividad del lirio, comparándola con otras plantas acuáticas.

En la producción de biogás, como alimento para animales y en la fabricación de un composte para la tierra; son la maneras que más se mencionan para aprovechar el lirio.

La factibilidad de poner en práctica alguna de estas alternativas depende principalmente del tipo de desecho que se esté tratando en el sistema y de la cantidad de lirio disponible. Aproximadamente el 95% en peso del lirio acuático es agua y sólo un 5% materia seca. Esto trae como consecuencia que se necesite manejar grandes volúmenes de plantas para obtener cantidades razonables de ciertos productos.

PLANTAS ACUATICAS		Ambito de Productividad Ton/ha - año
MICROALGAS	Algas verdes	40 - 80
	Algas azul verdosas	25 - 50
PLANTAS SUPERIORES SUMERGIDAS	<u>Hydrilla</u> , etc.	25 - 50
	<u>Duckweek</u> (Berros)	20 - 40
PLANTAS FLOTANTES	Jacinto de Agua	60 - 120
	<u>Azolla</u>	20 - 50
PLANTAS EMERGENTES	<u>Phagmites</u>	40 - 80
	<u>Spartina</u>	25 - 50

Tabla 17. Ambito de productividad de biomasa para plantas acuáticas (8).

Si el desecho es del tipo industrial, con materias tóxicas y bajo contenido de nutrientes, tal como se clasifican en el punto 3.2.1, no es posible utilizar el lirio usado en el tratamiento y más bien se elimina por otros medios por ejemplo la incineración.

Al contrario, si el desecho tiene alto porcentaje de nutrientes y no contiene elementos tóxicos, es factible escoger cualquiera de las alternativas mencionadas anteriormente dependiendo sólo de la cantidad de lirio sustraído de las lagunas.

El resto del capítulo, se dedica a plantear algunos sistemas y procesos para aprovechar el lirio acuático proveniente de lagunas que tratan desechos orgánicos.

### 5.1 PRODUCCION DE BIOGAS

Se trata de fermentar anaeróbicamente, en un digestor, los jacintos recogidos. De esta manera es posible producir un gas con alto contenido de metano. Es una excelente alternativa para sistemas que tratan desechos orgánicos y aguas negras.

El metano se puede aprovechar posteriormente para cubrir algunas de las necesidades energéticas de la planta de tratamiento. En Puerto Rico el C.E.E.R. (17) ideó un sistema de generación de energía, basado en el jacinto de agua recogido. El consumo total de energía de la planta es de 505270 kw-hr/año, mientras que la energía procedente del metano es 115887 kw-hr/año; lo que significa un 30% de la demanda total.

Otras investigaciones (5), (34) y (40), también sugieren el uso del lirio acuático para producción de biogás. No obstante, este proceso es funcional solamente cuando actúa para obtener un subproducto del tratamiento de aguas residuales. La inversión, los costos de operación para las lagunas, requerimientos de nutrientes y el poco desarrollo de la tecnología apropiada, hacen que el sistema orientado primordialmente hacia la producción en biogás no sea rentable. Benemann (8) asegura que hasta finales de siglo será posible aprovechar directamente este recurso en la producción de energía.

Se señalan a continuación algunas consideraciones para el sistema de producción de biogás:

- 1) Debido al alto contenido de agua y a la baja densidad de la planta el proceso de conversión a biogás debe ubicarse en el sitio de producción del jacinto.
- 2) Para una máxima producción de biogás la razón C/N debe ser de aproximadamente 30/1.
- 3) La temperatura juega un papel muy importante en la conversión: (18) a 20° C el contenido de metano en el biogás es 59.9% a 36 ° C el contenido es 69.2%.
- 4) La máxima producción de biogás se obtiene para una razón de dilución de 1:19 (18).
- 5) Según Bagnall (6) se puede utilizar el jugo de jacinto solo y aprovechar la parte sólida para formar un composte.
- 6) No se presentan efectos negativos en el medio ambiente. El lodo proveniente del digester es posible tratarlo en el sistema de lagunas, aunque no representa un peligro serio.

Para estudios posteriores se recomienda consultar la literatura, especialmente (6), (8), (17), (18), (40), (44).

## 5.2 ALIMENTO PARA ANIMALES

Salazar (47), propone el lirio acuático para la producción de un concentrado proteico y como subproductos un forraje y un calcio alimenticio para aves, rico en xantófilas y carotenos.

El proceso fue adaptado a nivel piloto con características sencillas, entre las que se pueden citar:

- 1) Equipo de manejo sencillo, sin requerimiento de mano de obra especializada.
- 2) Bajos costos de operación.
- 3) Requerimiento mínimo de mantenimiento.

El proceso se divide en varias etapas: recolección, lavado, cortado, molienda de la planta fresca, coagulación, filtración, secado del coágulo, molienda del coágulo, secado de fibra. Con este sistema es posible obtener un concentrado, conteniendo hasta 52% de proteína.

En la figura 10 se muestra el esquema de otro proceso, similar al propuesto por Salazar, con la diferencia de que en éste es posible obtener mayor número de productos.

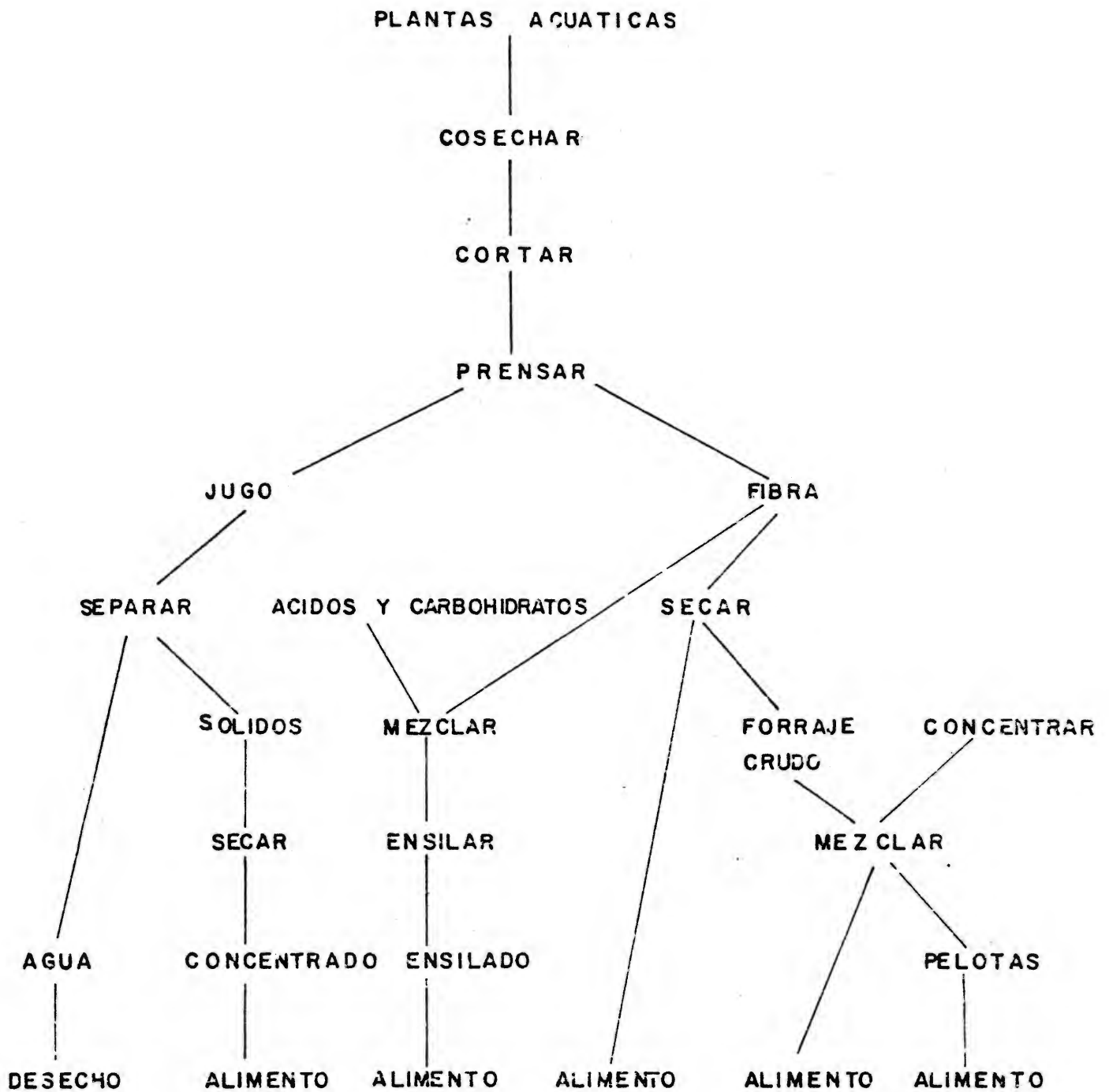


FIG 10 SISTEMA DE PRODUCCION DE ALIMENTOS A PARTIR DE PLANTAS ACUATICAS (7)



En un proyecto anterior (16) se estudió la posibilidad de instalar en Costa Rica una planta procesadora de harina de lirio acuático. Se obtuvo 25% de rentabilidad para un precio de venta de  $\text{Q}1851/\text{ton}$ .

Por otra parte, en los sistemas de tratamiento de aguas residuales la cantidad de lirio sustraído es poca en comparación con la necesaria para operar eficientemente cualquiera de los procesos anteriores; razón por la cual no se recomienda la producción de alimentos para animales en gran escala como alternativa para un uso posterior del lirio acuático.

### 5.3 COMPOSTE

En la tabla 18 se especifican las características fertilizantes del lirio acuático, en comparación con otros compostes bastantes utilizados. En India y China se apilan las plantas secas y marchitas con tierra, estiércol animal y cenizas, formando un composte de color oscuro muy eficaz. Se aprovechan de esta forma las unidades fertilizantes del jacinto de agua. La producción del composte puede realizarse a bajo costo y en grandes cantidades. Es posible usarlo para incrementar el crecimiento de frutas y vegetales, especialmente.

	% N	% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	% K <sub>2</sub> O	% CaO	c/N
Lirio base seca	2.5	1.0	5.3	3.91	13
Lirio base húmeda	0.1	0.06	0.3	-	-
Town Compost	1.0	1.0	0.6	3 a 6.0	10
Farmyar Manure	0.5	0.25	0.3	10	12 a 13

Tabla 18. Unidades fertilizantes del lirio acuático (16).

## VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El principal problema de contaminación en los cauces de agua es el exceso de nutrientes. Desde este punto de vista puede asegurarse que el tratamiento con lirio acuático es una alternativa eficaz para descontaminar las aguas, dado el poder de adsorción de estos elementos que tiene esa planta acuática. Así mismo, se debe resaltar que el jacinto de agua cuenta con gran capacidad para reducir a niveles mínimos la cantidad de coliformes presentes en las "aguas negras", al mismo tiempo que aumenta el crecimiento de la planta, en comparación con jacintos ubicados en aguas no contaminadas.

En lo referente a los macronutrientes, particularmente el nitrógeno se elimina en forma excelente, mientras que el fósforo es menos sensible al tratamiento y su reducción en la mayoría de los casos es menor al 50%. Cuando esta reducción es muy pequeña se debe realizar un tratamiento adicional.

También se recomienda tener cuidado con la cantidad de cloro en el agua a tratar, ya que inhibe el crecimiento del jacinto.

Por otra parte, el tratamiento para aguas residuales industriales se ha estudiado poco; no obstante, se pueden predecir buenos resultados en este campo.

Un problema en el tratamiento con lirio acuático para desechos in-

dustriales es que no es factible, en muchos casos, encontrar una utilidad para el lirio sustraído de las lagunas y es necesario eliminarlo de otras maneras que demandan algún gasto extra, aumentando los costos del tratamiento.

Por el contrario el lirio proveniente de sistemas donde se traten desechos del tipo orgánico, puede ser utilizado posteriormente para producir biogás y usar este combustible para cubrir algunas necesidades energéticas de la planta. Es posible usarlo como abono en un composte de excelentes propiedades fertilizantes. Además, se menciona la posibilidad de utilizarlo en diferentes formas de alimento para animales.

Se considera que la producción de alimento a gran escala, demanda demasiada cantidad de materia prima, debido al alto porcentaje de agua en el jacinto, por lo que es una alternativa poco viable para pequeños sistemas de tratamiento.

Para el sistema propuesto en la cooperativa "El Silencio", se recomienda procesar el jacinto de agua recogido en un molino (\*) y hacer uso del producto como alimento para ganado.

Dado el magnífico interés del Departamento de Desechos Sólidos y Líquidos del Ministerio de Salud hacia este Proyecto, es recomendable que

---

(\*) Existen varias marcas a disposición en el mercado nacional, por ejemplo, la Nogueira.

exista una coordinación entre esa entidad pública y la Universidad de Costa Rica para futuros estudios. De esta manera se estarán aprovechando de la mejor forma posible todos los recursos, en la solución del problema de conservar nuestro medio ambiente en condiciones óptimas para la vida.

BIBLIOGRAFIA

- (1) AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (A.P.H.A.), Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, A.P.H.A., 14<sup>o</sup> Edition, Washington (1975).
- (2) AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (A.W.W.A.), Control de Calidad y Tratamiento de Aguas, Instituto de Estudios de Administración Local. Madrid, España (1975).
- (3) BAGNALL, L. HARVESTING AND UTILIZATION OF WATER HYACINTH. Departamento de Ingeniería Agrícola, Univ. de Florida, Gainesville, Florida (1976).
- (4) BAGNALL, L. MECHANICAL RECOVERY OF WATER HYACINTH. Press Liquor Solids. Publicado por A.S.A.E., St. Joseph, Michigan (1973).
- (5) BAGNALL, L. PROCESSING AND STORAGE OF WATER HYACINTH SILAGE. Hyacinth Control Journal. Volumen 12, 1974, 73-79.
- (6) BAGNALL, L. METHANE PRODUCTION FROM WATER HYACINTH JUICE. Instituto de Alimento y Ciencias Agrícolas, Univ. de Florida (1979).
- (7) BAGNALL, L. PROCESSING AND CONSERVATION OF WATER HYACINTH AND HYDRILLA FOR LIVESTOCK FEEDING. Instituto de Alimento y Ciencias Agrícolas, Univ. de Florida (1979).
- (8) BENEMANN. Energy from aquaculture biomass systems: Final report to Office of Technology Assessment U.S. Congress, California (1979).
- (9) Block. Comunicación personal. Enviado del CEER (Puerto Rico) al XIV Congreso Lationamericano de Química. San José, C.R. (1981).

- (10) BOCK, J. Productivity of the water Hyacinth Eichhornia crassipes. Dep. de Botánica, Univ. de California (1969).
- (11) BOYD, C. Vascular aquatic plants for Mineral nutrient removal from polluted waters. Economic Botany 1970, págs. 95-105.
- (12) BOYD, C. Accumulation of dry matter, nitrogen and phosphorus by cultivated water hyacinths. Economic Botany 30,
- (13) BOYD, C y SCARBROOKE. Influence of nutrient additions on production of water hyacinth. Aquatic Botany 1, 1975, págs. 253-261.
- (14) CARPENTER J. Aquatic plants on Gachí reservoir. Julio (1974).
- (15) CASTILLO H. Determinación de los factores más importantes en el crecimiento del lirio acuático en la presa Enúho. Tesis de maestría, Unam. México (1979).
- (16) CAVALLINI G. Alternativas para el aprovechamiento del lirio acuático. Tesis, Univ. de C. R. (1980).
- (17) CENTER FOR ENERGY AND ENVIRONMENT RESEARCH (CEER). Water hyacinth for the clarification of wastewaters and the production of energy. Univ. de Puerto Rico (1979).
- (18) C.E.E.R. An evaluation of the biogas rates form waterhyacinths harvested from Lake Carraizo. Univ. de Puerto Rico (1979).
- (19) CLOCK R. Removal of nitrogen and phosphorus from a secondary sewage treatment effluent. Tesis de doctorado Univ. de Florida (1963).
- (20) CORNWELL D. Nutrient removal by water hyacinths. Journal WPCF 49 (1) 1977, págs. 57-65.

- (21) DESARROLLO NACIONAL. Exterminio o recolección del Jacinto de Agua. Desarrollo Nacional (1978) págs. 67-68.
- (22) DEVELOPMENT DEPARTMENT CORAL SPRING. A water hyacinth advanced wastewater. Coral Spring, Florida (1979).
- (23) DINGES R. Development of hyacinth wastewater treatment systems in Texas. Univ. de California (1979).
- (24) DINGES, R. Upgrading stabilization pond effluent water hyacinth culture. Journal WPCF 1978, págs. 833-845.
- (25) DYMOND, G. The water hyacinth a cinderella of the plant world. Soil fertility and sewage, New York (1948).
- (26) EDWARDS P. Uptake of nitrogen and phosphorus by water hyacinths talla hassee (1960).
- (27) FABIAN, W. Comunicación personal.
- (28) FAIR, GEYER y OKUN. Purificación de aguas, tratamiento y remoción de aguas residuales. Vol II ed. Limusa, México, (1973).
- (29) FURMAN T y GILCREAS, F. The application of oxidation ponds to treatment of residential wastes. Univ. de Florida (1965).
- (30) HALLER y SUTTON. Effect of pH and high phosphorus concentrations on growth of water hyacinth. Univ. de Florida.
- (31) HERNANN y GLOYNA. Waste stabilization ponds. J. Sewage and industrial wastes. Vol. 30 (8), 1958, pág. 963.
- (32) JOSEPH J. Lagunas de Jacinto: Tratamiento barato de aguas cloacales. Desarrollo Nacional. Oct-Nov. 1976, págs. 52-58.



- (33) JOSEPH, J. Control Botánico: Un medio de depurar las aguas industriales. Desarrollo Nacional. Nov-Dic. 1976, págs. 75-77.
- (34) LECUYER, R. An economic assessment of fuel gas from water hyacinths. Instituto de Tecnología del gas., Chicago (1976).
- (35) LIVESTOCK WASTES SUB COMMITTEE. Livestock waste facilities handbook 1° Edición Iowa (1975), págs. 56-61.
- (36) LUND. Manual para el control de la contaminación industrial. 1° Edición en español. Ieal. España, (1974).
- (37) MIDDLEBROOKS, E. Aquatic. Process assessment.
- (38) MINER R. Water hyacinths to further treat anaerobic lagoon effluent. Livestock waste management and pollution abatement. Sr. Joseph, Michigan ASAE. (1971), 170-173.
- (39) MUSIL Y BREEN. The application of growth kinetic to the control of Eichhornia crassipes. Hidrobiología Vol. 53 (2), 1977, págs. 165-171.
- (40) NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). Review of current interest and research in water hyacinth-based wastewater treatment. Reporte final Columbus Ohio (1977).
- (41) NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. Making aquatic weeds useful. N.A.S. Washington, D.C. (1976).
- (42) NEMEROW. Aguas residuales industriales. Ed. en español. Editorial Blume, Madrid, España (1977).
- (43) RAMALHO, R. Design of aerobic treatment units. Hydrocarbon processing. Oct 1979, págs. 99-106.

- (44) RYTHER, J. Biomass production by marine and freshwater plants. Harbor Branch Foundation Inc. Fort Pierce, Florida (1978).
- (45) ROGENS Y DAVIS. Nutrient removal by water hyacinth. Weed Science 20 (5), 1972, págs. 423-428.
- (46) SAENZ, R. Lagunas de Oxidación. Tesis Escuela de Ing. Civil. Univ. de Costa Rica (1958).
- (47) SALAZAR, C. Desarrollo del proceso para el aprovechamiento del lirio acuático. Ponencia al XIV Congreso Latinoamericano de Química, S.J. C.R. (1981).
- (48) SCARBROOK y DAVIS. Effect of Sewage effluent on growth of five vascular aquatic species. Hyacinth control Journal 9, 1971, pag.26.
- (49) SECRETARÍA DE SALUBRIDAD - Cartilla de Saneamiento - Desechos. Dirección de Ingeniería Sanitaria, México (1963).
- (50) SEYFARTH, R. Wastewater treatment utilizing water hyacinth. Mississippi Air and Water Pollution Control Commission (1978).
- (51) SHEFFIELD, C. Removal of nitrogen and phosphorus after secondary sewage treatment. Tesis de maestría. Univ. de Cincinnati (1966).
- (52) SHEFFIELD C y FURMANT T. Biological and chemical means of removing nutrients. Presentado a la 42ª Conferencia de WPCF Dallas, Texas (1969).
- (53) SOLARES. Lagunas de oxidación. Tesis. Univ. de San Carlos, Guatemala (1959).
- (54) STEWART, W. Pilot studies of the solar aquacell controlled aquaculture process for wastewater reclamation ANWA., Washington, D.C. (1979).

- (55) SUBSECRETARIA de planeación (SARH): Operación de plantas de tratamiento primario de Aguas Residuales. Manual C. Vol. II y III México.
- (56) Wotten y Dodd. Growth of water hyacinth in treated sewage effluent. Economic Botany 30: Enero-marzo 1976, págs. 29-36.