

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

---

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO  
SECCION DE INGENIERIA AMBIENTAL



“DETERMINACION DE LOS FACTORES MAS  
IMPORTANTES EN EL CRECIMIENTO DEL LIRIO  
ACUATICO EN LA PRESA ENDHO, HGO.”

**T E S I S**  
que presenta el Ing.  
**HARRY CASTILLO VALLE**  
para obtener el grado de:  
**MAESTRO EN INGENIERIA SANITARIA**

C. U., México, D. F.  
- JUNIO 1979 -



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



DEPA

T. UNAM

1979

CAS

E.2

JURADO :

PRESIDENTE : Dr. JORGE AGUIRRE MARTINEZ  
VOCAL : M. en C. NATALIA SALCEDO OLAVARRIETA  
SECRETARIO : M. en I. JOSE DE JESUS LARA TEJEDA  
1er. SUPLENTE : M. en I. HUMBERTO VIDALES ALBARRAN  
2do. SUPLENTE : Dr. RAUL CUELLAR CHAVEZ

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA :

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERIA

SUSTENTANTE :

HARRY CASTILLO VALLE

DIRECTOR DE TESIS :


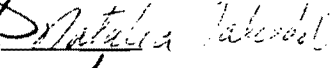
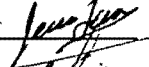
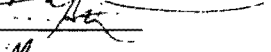
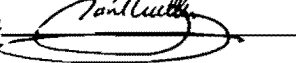
Dr. JORGE AGUIRRE MARTINEZ.

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO  
SECCION DE INGENIERIA AMBIENTAL


TESIS QUE PRESENTA EL  
ING. HARRY CASTILLO VALLE  
PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN INGENIERIA SANITARIA

CREDITOS POR TESIS: 12 (doce)

JURADO:

Presidente: Dr. Jorge Aguirre Martínez   
Vocal: M. en C. Natalia Salcedo Olavarrieta   
Secretario: M. en I. José de Jesús Lara Tejeda   
1er. Suplente: M. en I. Humberto Vidales Albarrán   
2do. Suplente: Dr. Raúl Cuéllar Chávez 

JEFE DE LA SECCION:

Dr. Raúl Cuéllar Chávez 



FACULTAD DE  
INGENIERIA

C.U., México, D.F.  
-junio, 1979-

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

A mi esposa Victoria Eugenia  
y a mi hija Raquel María, por  
todos los momentos felices  
que me han hecho pasar junto  
a ellas.

- Al Gobierno de Costa Rica, conjuntamente con la Oficina Sanitaria Panamericana/Organización Mundial de la Salud y a la Universidad de Costa Rica, por darme la oportunidad y el apoyo económico para realizar estudios de posgrado en Ingeniería Ambiental.
  
- Al Dr. Jorge Aguirre Martínez, cuya dirección, interés y apoyo fueron de gran beneficio para la realización de este estudio.
  
- A mi amigo y compañero M. en I. Roberto Contreras Martínez, porque sus consejos y conocimientos dieron valioso aporte a este trabajo.
  
- Al personal del Centro de Investigación y Entrenamiento para el Control de la Calidad del Agua (CIECCA) de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, por su colaboración en los análisis de las muestras, elaboración de tablas y gráficas, así como por el apoyo económico para realizar el estudio en la zona seleccionada.
  
- Al Dr. Ovsei Gelman M., Dr. Ubaldo Bonilla D., M. en I. José de Jesús de Jesús Lara T., M. en C. Natalia Salcedo O., M. en I. Humberto Vida

les A. y Dr. Raúl Cuellar Ch. , por su dedicación en la revisión de es  
te trabajo.

- Y a todas aquellas personas que de una u otra forma estuvieron relaciona-  
das con este estudio.



Lo que un hombre no logró, otro lo ha conseguido, y lo que era desconocido en una época se ha puesto en claro en la siguiente. Las ciencias y las artes no se vacían en un molde, sino que se plasman y pulen poco a poco mediante manipulaciones y retoques reiterados; y al manipular y amasar este nuevo material una y otra vez más, agitándolo y calentándolo, doy a quien venga detrás de mí cierta facilidad para que lo aproveche sin tanto esfuerzo, y se lo hago más flexible y manejable.... como él lo hará para quien le suceda.

MICHEL DE MONTAIGNE.

# INDICE

	<u>RESUMEN</u>	<u>Pág.</u>
1.	INTRODUCCION.....	1
	1.1 ASPECTOS GENERALES DE LA CONTAMINACION POR MALEZAS ACUATICAS.....	1
	1.2 JUSTIFICACION DEL ESTUDIO.....	10
	1.3 OBJETIVO DEL ESTUDIO.....	11
	1.4 ALCANCES DEL ESTUDIO.....	11
	1.5 LIMITACIONES DEL ESTUDIO.....	12
	1.6 DESARROLLO DEL ESTUDIO.....	12
2.	DESCRIPCION DEL SISTEMA LIRIO ACUATICO-MEDIO AMBIENTE..	15
	2.1 ASPECTOS GENERALES DEL LIRIO ACUATICO.....	15
	2.2 CLASIFICACION Y DESCRIPCION DE LA PLANTA.....	16
	2.3 METABOLISMO Y REPRODUCCION.....	20
	2.4 ESTUDIOS DEL SISTEMA.....	23
	2.5 CONCEPTUALIZACION DEL SISTEMA.....	26
	2.5.1 FACTORES CLIMATOLOGICOS.....	28
	2.5.1.1 TEMPERATURA.....	29
	2.5.1.2 RADIACION SOLAR O LUMINOSIDAD.....	30
	2.5.1.3 ACCION CONJUNTA DE LA TEMPERATURA Y -- HUMEDAD.....	31
	2.5.1.4 CORRIENTES Y PRESION.....	32
	2.5.2 FACTORES DEL AGUA.....	34
	2.5.2.1 FACTORES FISICOS.....	34
	2.5.2.2 FACTORES BACTERIOLOGICOS.....	35

2.5.2.3	FACTORES QUIMICOS.....	35
2.5.3	FACTORES DEL AIRE.....	38
2.6	ASPECTOS METODOLOGICOS SOBRE SISTEMAS Y MODELOS...	46
2.6.1	SISTEMAS.....	46
2.6.2	MODELOS.....	49
3.	METODOLOGIA EXPERIMENTAL.....	53
3.1	SELECCION DE LA ZONA DE ESTUDIO DE CAMPO.....	53
3.1.1	CARACTERISTICAS CLIMATOLOGICAS DE LA ZONA DE - ESTUDIO.....	54
3.1.2	SITIO Y PROGRAMA DE MUESTREO.....	56
3.2	MATERIALES Y METODO EXPERIMENTAL.....	58
3.2.1	MATERIAL Y EQUIPO DE MUESTREO.....	58
3.2.2	MUESTREO.....	60
3.2.2.1	MUESTREO DE LAS PLANTAS.....	61
3.2.2.2	FACTORES CLIMATOLOGICOS DEL SISTEMA..	66
3.2.2.3	MEDICION DEL FACTOR AMBIENTAL AGUA. ....	68
4.	RESULTADOS EXPERIMENTALES.....	74
4.1	FACTORES FISICOS.....	74
4.2	FACTORES BACTERIOLOGICOS.....	74
4.3	FACTORES CLIMATOLOGICOS.....	75
4.4	FACTORES QUIMICOS.....	76
5.	EVALUACION Y DISCUSION DE RESULTADOS.....	81
5.1	ANALISIS DE FACTORES Y SELECCION.....	81

5.2 ANALISIS DE LOS FACTORES SELECCIONADOS.....	96
5.3 DERIVACION DEL MODELO TENTATIVO EN BASE A LOS FACTORES SELECCIONADOS .....	110
5.3.1 PLANTEAMIENTO DEL MODELO TENTATIVO.....	111
5.4 PLANES DE CALIBRACION Y VALIDACION DEL MODELO TENTATIVO .....	135
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	138
6.1 CONCLUSIONES.....	138
6.2 RECOMENDACIONES.....	140
7. BIBLIOGRAFIA.....	142
<u>APENDICE</u> .....	146

## R E S U M E N

En virtud de que el lirio acuático (Eichhornia crassipes) es la maleza predominante (cubriendo 45,090 ha) en México, el presente trabajo establece, en base a estudios empíricos, los factores más importantes en el crecimiento de esta planta y como aspecto adicional, un modelo tentativo de crecimiento del mismo.

El estudio se realizó en la presa Endhó, estado de Hidalgo, México, en donde se confinaron plantas en un cerco flotante, mediante muestreos semanales de los factores ambientales a través de la observación de la biomasa del lirio durante un año, comenzando en septiembre de 1977 hasta septiembre de 1978.

De la evaluación de los resultados del estudio, en base al análisis estadístico de sensibilidad, los factores que se consideran de mayor influencia en el crecimiento del lirio son:

- . Temperatura
- . Luminosidad
- . Macronutrientes: nitrógeno, fósforo, magnesio, azufre y potasio
- . Micronutrientes: calcio y fierro

Los factores seleccionados en este estudio, están interrelacionados unos con otros, por ejemplo la velocidad máxima ( $\mu$ ) específica de crecimiento del lirio acuático depende de la temperatura y en este trabajo se estimó en forma aproximada siendo su variación de  $0.0186$  a  $0.0725$  días<sup>-1</sup>.

En base a los factores seleccionados se desarrolló el siguiente modelo tentativo de crecimiento del lirio acuático:

$$\frac{dX}{dt} = \hat{\mu} \sum_{k=1}^n \frac{\delta}{Z_T} \left( \frac{I_k}{K_I + I_k} \right) \left( \frac{C_{CO_2}}{K_{CO_2} + C_{CO_2}} \right) \left( \frac{C_N}{K_N + C_N} \right) \left( \frac{C_P}{K_P + C_P} \right) \left( \frac{C_K}{K_K + C_K} \right) \left( \frac{C_{Mg}}{K_{Mg} + C_{Mg}} \right) \left( \frac{C_S}{K_S + C_S} \right) \left( \frac{C_{Fe}}{K_{Fe} + C_{Fe}} \right) \left( \frac{C_{Ca}}{K_{Ca} + C_{Ca}} \right) X - K_{rl} X - K_{ml} X - \frac{\mu_c X_c}{Y_c/F}$$

su uso está restringido a las condiciones en que se derivó.

En virtud de que el estudio estuvo limitado a las condiciones de la zona de estudio; se recomienda realizar experimentos controlados de los factores a nivel de laboratorio con la finalidad de comparar y determinar cuál o cuáles son los verdaderos factores limitantes y poder calcular los coeficientes y -- constantes del modelo para calibrar y validarlo.

Se espera que los factores seleccionados y el modelo tentativo una vez calibrado, sean útiles y fructíferos para estudios especiales en la búsqueda de la posibilidad de control óptimo del crecimiento del lirio y la purificación adecuada de los cuerpos de agua infestados por esta maleza y sirvan como base en la evaluación de diferentes métodos de control.

## 1. INTRODUCCION.

### 1.1 ASPECTOS GENERALES DE LA CONTAMINACION POR MALEZAS ACUATICAS.

Las plantas acuáticas, al igual que en zonas terrestres, forman la base de los ecosistemas, constituyéndose en alimento para los organismos superiores; sin embargo, a algunas de estas plantas se les considera nocivas y de forma general se denominan "malezas" cuando crecen en proporciones desmedidas y sitios donde no se desean.

De acuerdo con Odum (22), las malezas acuáticas pueden clasificarse según las comunidades biológicas del cuerpo de agua en:

- a. Plantas emergentes (tule, Typha sp.).
- b. Plantas flotantes (lirio acuático, Eichhornia crassipes).
- c. Plantas sumergidas (Hydrilla, Hydrilla verticillata).

En México existen varias malezas catalogadas en el Primer Inventario Nacional de Infestación por Malezas Acuáticas (6), entre las cuales predominan: lirio acuático (con 37.9% del total), pasilla (28.9%), tule (21.9%), helecho acuático (5.4%), cola de zorro (5.1%), y cola de caballo (0.40%). En la Tabla 1.1 se presenta el Inventario de las malezas predominantes en México.

En la Tabla 1.1 se puede notar que el mayor nivel de infestación corresponde al lirio acuático, es por ello que este trabajo está dedica-

TABLA 1.1 MALEZAS ACUATICAS PREDOMINANTES EN MEXICO  
( DELGADO A., 1978 )

NOMBRE COMUN	NOMBRE CIENTIFICO	AREA (Ha.)	%
Lirio acuático	<u>Eichhornia crassipes</u>	45 090.3	37.89
Pasilio	<u>Ruppia maritima</u>	34 384.0	28.88
Tule	<u>Typha sp</u>	26 048.0	21.89
Helecho acuático	<u>Salvinia sp</u>	6 472.0	5.44
Cola de zorro	<u>Ceratophyllum sp</u>	6 077.0	5.10
Cola de caballo	<u>Potamogeton sp</u>	473.5	0.40
Lechuga de agua	<u>Pistia stratiotes</u>	200.0	0.16
Hydrilla	<u>Hydrilla verticillata</u>	137.0	0.11
Chilillo	<u>Polygonum sp</u>	95.7	0.08
Trapa	<u>Trapa natans</u>	65.0	0.05
T O T A L		119 042.5	100.00



do a esta maleza.

Muchas de las malezas acuáticas que se encuentran en México han sido introducidas desde el exterior; un ejemplo clásico lo constituye el lirio acuático, el cual es originario de América del Sur, justamente del río Paraná en Brasil, Paraguay y Argentina y de los afluentes del río Amazonas: Branco, Negro y Madeira, en el Brasil (1).

La forma como se ha diseminado esta especie acuática se desconoce, pero se le atribuye al hombre la responsabilidad directa de tal fenómeno. En los Estados Unidos de Norteamérica se cree que fue introducida durante la Feria del Algodón que se celebró en Nueva Orleans en 1884, en donde figuraba como detalle característico del pabellón venezolano. Su atractivo provocó que fuera introducido en lagos de --- Louisiana y en los estados colindantes, propagándose hasta convertirse en uno de los principales problemas acuáticos de la Unión Americana. Se estimó que en 1947 se encontraban infestadas por el lirio acuático más de 200,000 hectáreas de canales y pantanos de Louisiana, habiéndose gastado en 50 años (1905-1955) 5 millones de dólares en trabajos para salvaguardar los cuerpos de agua infestados (8).

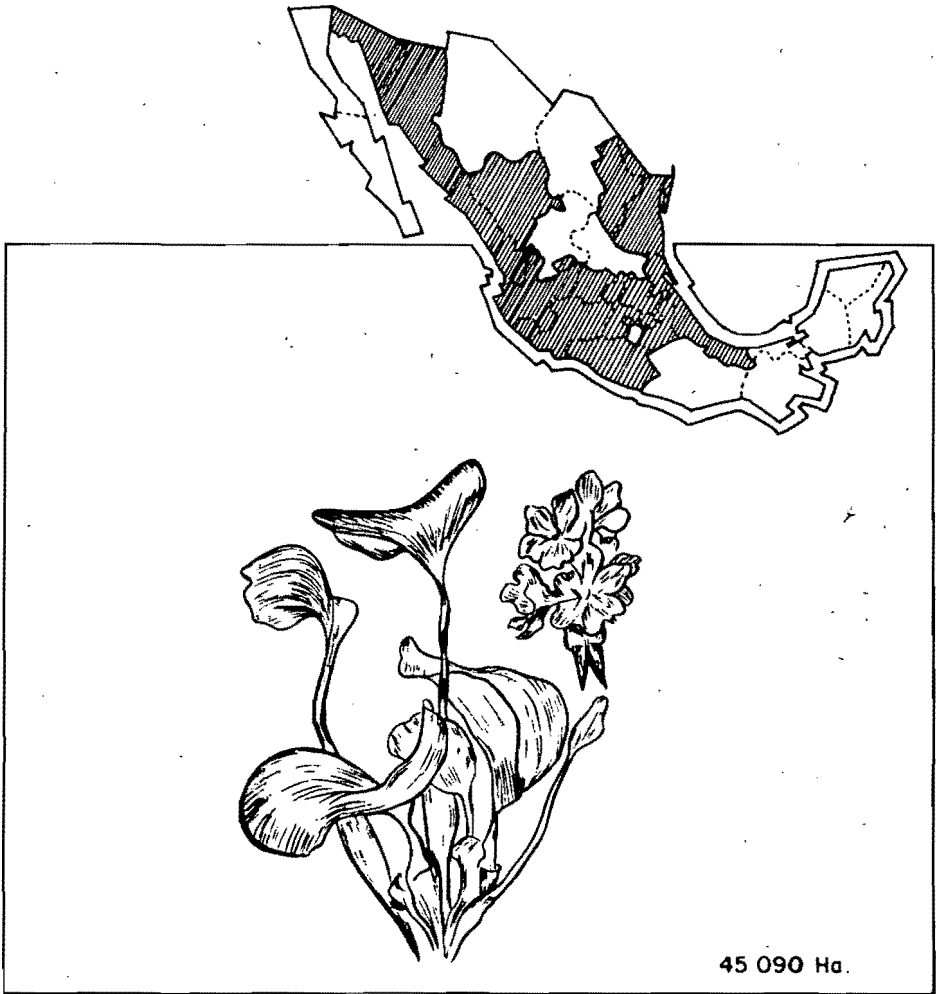
Australia fue invadida por el lirio acuático en 1895 y en la India ya se le conocía en 1892, así como en Africa en 1950, donde se le vió por primera vez en el río Congo. Seis años más tarde la planta había avanzado 1,500 kilómetros sobre este río y sus tributarios, penetrando

al Sudán, Etiopía, Malasia, Uganda y Rodhesia. La información más detallada que se tiene de la invasión del lirio acuático es la reportada por Becher en (1951) referente a la introducción de la planta en Java (1894) (1).

En México se reporta que el lirio acuático fue introducido a principios de siglo, existiendo varias versiones que tratan de explicar tal hecho (8). Cualquiera de las versiones que resultase la verdadera, no tiene más que la importancia de un dato histórico; lo cierto es que el lirio se ha establecido en el país invadiendo grandes superficies de lagos, vasos de almacenamiento, drenes, canales y en menor grado los ríos. Este fenómeno se debe a la gran habilidad que tiene el lirio de poder ocupar un espacio libre a diferencia de otras plantas acuáticas, al éxito que tiene al competir con otras plantas, al clima del país que resulta ser benigno para la maleza (tropical y templado), a la disponibilidad de nutrientes que existen en los depósitos de agua, a la ausencia de enemigos naturales y, principalmente, a su gran capacidad de reproducción asexual (vegetativa). La Figura 1.1 muestra la extensión de la infestación por lirio acuático en el territorio mexicano hasta 1978.

La proliferación de las malezas acuáticas afecta diferentes aspectos, entre los cuales se consideran como los más importantes los ecológicos, los económicos y los de salud pública.

Las malezas acuáticas pueden alterar la ecología de los cuerpos de -



( Lirio acuático — Eichhornia crassipes )

FIGURA 1.1 — INFESTACION DE LIRIO ACUATICO EN MEXICO  
( DELGADO A., 1978 )

agua parcial o totalmente. Por ejemplo, "la lenteja de agua" ----- (Lemna sp.) provee de habitats a pequeños peces en sus raíces -- colgantes; pero al mismo tiempo, reduce la penetración de la luz - necesaria para la generación de oxígeno disuelto fotosintético, que permite el desarrollo de los organismos acuáticos benéficos como - los peces.

Los cuerpos de agua enriquecidos con nutrientes, pueden presentar un enorme crecimiento de algas que se transforman en malezas removiendo los nutrientes de agua y por el lo suprimen el crecimiento de las algas esenciales para crustáceos y peces; de esta manera se modifica el ecosistema completamente.

Desde otro punto de vista, tomando en cuenta que México es un país que invierte grandes presupuestos en la construcción, mantenimiento y operación de obras hidráulicas de todo tipo, no es difícil ver que la infestación por malezas acuáticas ocasiona enormes pérdidas económicas.

Otro problema que ocasionan las malezas es la reducción del volumen de los cuerpos de agua, debido a la evapotranspiración, que según - estudios (4 y 6) realizados es 3 a 4 veces mayor que la evaporación normal en los depósitos desprovistos de malezas; el ciclo biológico de las malezas acuáticas da origen a desechos de materia orgánica, - que van a dar al fondo, contribuyendo al asolvamiento del embalse y

por lo tanto a la reducción de la vida útil de las presas y disminuyen do la productividad en general.

La proliferación de las malezas acuáticas afecta el desarrollo turístico de algunos lugares, donde el turismo constituye la principal actividad; perturba la cacería de patos, la productividad pesquera así como la pesca deportiva, el esquí acuático, la natación, la navegación y el transporte fluvial en las corrientes de navegación.

El crecimiento desmedido de las malezas acuáticas permite la dispersión de las "babosas", invertebrados del grupo molusco gasterópodo, transmisores de la esquistosomiasis; enfermedad insidiosa y debilitante que prevalece en muchos países en vías de desarrollo. Estos moluscos habitan sobre las raíces colgantes de la hierba, donde son transportados por éstas e impulsados por el viento (6).

Las plantas acuáticas también favorecen la diseminación de la malaria, de la encefalitis, la filariasis y de otras enfermedades causadas por los mosquitos que se reproducen en los remansos formados por las malezas (6).

Los mosquitos, aparte de ser transmisores de dichas enfermedades, también constituyen factores de incomodidad para las poblaciones que se encuentran cercanas a los sitios plagados y afectan la productividad ganadera.

Las plantas acuáticas al morir se sedimentan y entran en descomposición, que llega a desoxigenar el agua y desprender gases desagradables.

Han sido innumerables los intentos de reprimir el crecimiento desmedido de las malezas acuáticas. En forma muy general se clasifican en tres tipos básicos, a saber: método mecánico, químico y biológico.

Uno de los más antiguos se conoce como el método mecánico, que consiste en la extracción de la planta para purificar el cuerpo de agua ya sea de manera manual, así como el uso de maquinaria especial.

Hasta la fecha, el combate de las malezas acuáticas por medios mecánicos es una práctica poco común por los altos costos de la mano de obra y maquinaria necesarias para realizar estos trabajos. En la actualidad se están realizando los experimentos para aumentar la rentabilidad de diferentes variantes del método mecánico (19).

Otro de los medios de combate de las malezas consiste en el uso de sustancias químicas, que constituyen la base de los métodos de combate químico. En México se han llevado a cabo experimentos con el uso de herbicidas para el combate del lirio acuático (19). Por ejemplo, el dirigido por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos en el Valle del Yaqui. En estos estudios se observó -

una alta efectividad que alcanzó un 99% (19) . Al igual que en el -- método mecánico, los costos son muy altos. Por ejemplo, para el -- caso anterior, el gasto por herbicidas fue alrededor de \$1'134,540.00 para 1,200 hectáreas (\$945/hectárea), no tomando en cuenta el costo del avión fumigador, el transporte del herbicida, el salario de empleados extras para el acarreo de éste, etc.

Además, se debe tomar en cuenta que el uso de herbicidas tiene un impacto negativo sobre todo el ecosistema, debido a la baja selectividad y efectos de acumulación.

El método más reciente, conocido como el biológico, consiste en el uso de organismos biológicos que consumen o destruyen las malezas. En México se han utilizado diferentes organismos de este tipo para las diversas malezas; particularmente para el lirio acuático, el escarabajo moteado (Neochhetina eichhorniae), la carpa de Mozambique, que puede consumir en un día el doble de su peso en lirio, hongos y otros organismos (8) .

La disposición de las malezas acuáticas no se debe enfocar como un problema más de contaminación, sino como una fuente de producción para su aprovechamiento. En la actualidad se están desarrollando una serie de investigaciones tendientes al aprovechamiento de las malezas . En México se está experimentando la utilización del lirio acuático como mejorador de suelos, así como en la producción de -

turbas para la elaboración de chapines y macetas de germinación de plantas (19).

## 1.2 JUSTIFICACION DEL ESTUDIO.

México es un país que cuenta con sistemas de riego, como son: ríos, canales, represas y otros. En los últimos años estos sistemas se han visto afectados por la presencia de malezas acuáticas, de las cuales el lirio acuático es la predominante (ver Tabla 1.1), las que ocasionan continuamente problemas de desperfecto por la acumulación de biomasa, taponamientos, pérdidas de agua por evapotranspiración, asolvamientos, etc., lo que trae como consecuencia grandes pérdidas económicas.

Por lo anterior, es necesario buscar la solución a este problema, que bien podría ser la erradicación o algún método de combate apropiado de esta maleza,

Para poder llevar a cabo una solución de esta naturaleza, es necesario contar con la información básica, que en la actualidad no se encuentra en la literatura, ya que, cuando se hace combate, puede no ser efectivo por desconocerse la tasa de crecimiento del lirio, la cual está regida por diversos factores.

Por tal motivo y considerando que es necesario conocer la magnitud del problema en infestación y así poder dar una solución rápida y -



efectiva a éste, el presente trabajo se enfoca a estudiar las características principales acerca del crecimiento y reproducción del lirio acuático.

### 1.3 OBJETIVO DEL ESTUDIO.

En virtud de lo anterior, el objetivo de este trabajo es establecer, en base a estudios empíricos, los factores más importantes en el crecimiento del lirio acuático así como un modelo preliminar de crecimiento del mismo.

### 1.4 ALCANCES DEL ESTUDIO.

Con el presente trabajo se pretende:

- . Contar con información básica , para poder predecir, de manera preliminar, el crecimiento y desarrollo del lirio acuático de acuerdo a los factores seleccionados.
- . Contar con la información suficiente para el desarrollo de nuevos trabajos de investigación conducentes a definir de manera más detallada, el comportamiento del lirio acuático en los cuerpos de agua infestados por esta maleza.
- . Establecer en forma preliminar, las condiciones que deban prevalecer para evitar el crecimiento desmedido del lirio acuático para poder predecir lo que sucederá en otros cuerpos de agua.

- . En base a la información obtenida y con otros estudios especiales, diseñar el método más adecuado para el combate o aprovechamiento de esta maleza.

#### 1.5 LIMITACIONES DEL ESTUDIO.

- . El trabajo está limitado exclusivamente a la información obtenida de la observación del crecimiento de plantas de lirio acuático, confinadas en un cerco experimental, durante un año y bajo las condiciones prevalecientes en la zona de estudio.
- . La selección de factores no se hace en base a experimentos controlados a nivel de laboratorio, sino a estudios empíricos, mediante un análisis del tipo estadístico de sensibilidad.

#### 1.6 DESARROLLO DEL ESTUDIO.

Para lograr el objetivo básico del trabajo, éste se subdivide en las siguientes actividades esenciales:

- . Descripción del sistema lirio acuático-medio ambiente. Esta sección se inicia con los aspectos generales de la planta, su clasificación y descripción, así como estudios del sistema. Luego se indican conceptos que serán manejados constantemente en el estudio, dándose una idea de cuáles podrán ser los factores ambientales más relevantes para someterlos posteriormente a medición para un sistema de este tipo. Posteriormente se indican al-

gunos aspectos metodológicos sobre sistemas y modelos.

- . Metodología experimental. Debido a que este estudio está basado en datos empíricos, en esta sección se describe la zona de campo seleccionada para ello, sus características, el sitio elegido para el muestreo, el programa de muestreo, el muestreo de cada factor ambiental que se seleccionó para su estudio, así como los métodos y aparatos con que se midieron estos factores.
- . Resultados experimentales. Esta sección tiene por objeto llevar a cabo una interpretación del comportamiento de los datos básicos obtenidos del laboratorio y en el campo.
- . Evaluación y discusión de resultados experimentales. Esta sección se inicia con un análisis del tipo estadístico de sensibilidad por computadora de los factores ambientales estudiados para cada estación del año, con la finalidad de seleccionar las variables que más influyen en el crecimiento del lirio, se explica el criterio de selección de unas variables y el rechazo de otras. Luego, en base al esquema del sistema lirio acuático-medio ambiente y gráficas que presentan el comportamiento de las variables seleccionadas, se comienza a hacer balances en los subsistemas hasta llegar a la obtención del modelo. A continuación se dan las ecuaciones necesarias para la resolución del modelo, así como una breve discusión de sus ventajas y desventajas. Posteriormente, se

da una pauta para su calibración y validación.

- Conclusiones y recomendaciones; en esta sección se discuten los resultados más relevantes obtenidos en el estudio, en base a lo anterior se plantean las recomendaciones.

## 2. DESCRIPCION DEL SISTEMA LIRIO ACUATICO-MEDIO AMBIENTE.

Este capítulo se inicia con los aspectos generales de la planta, su clasificación y descripción, así como estudios del sistema. Luego, se indican conceptos que serán manejados constantemente en el estudio, dándose una idea de cuáles podrán ser los factores ambientales más relevantes para someterlos posteriormente a medición en un sistema de este tipo. Posteriormente se indican algunos aspectos metodológicos sobre sistemas y modelos.

### 2.1 ASPECTOS GENERALES DEL LIRIO ACUATICO.

De acuerdo con lo reportado por la literatura, Bagnall L.O. (1), se tiene el conocimiento de la existencia de varias especies de lirio acuático, siendo éstas:

- . Eichhornia crassipes,
- . Eichhornia azurea,
- . Eichhornia paniculata,
- . Eichhornia paradoxa,
- . Eichhornia natans,
- . Eichhornia diversifolia.

Todas las especies mencionadas se reportan en diferentes áreas de Sud América a excepción de Eichhornia diversifolia, la cual es exclusivamente africana y Eichhornia crassipes que se encuentra distribuida en el mundo.

En México se conocen dos especies de lirio acuático (19): Eichhornia crassipes y Eichhornia azurea. La primera se reporta en muchas áreas del país (ver Figura 1.2) y la segunda únicamente en depósitos de clima cálido. Cabe aclarar que no existe una base sólida que permita establecer una diferencia entre las dos especies (19), por lo cual resulta un tanto arbitrario hablar de éstas. Para los objetivos de este estudio, se toma como especie única en México a Eichhornia crassipes.

## 2.2 CLASIFICACION Y DESCRIPCION DE LA PLANTA.

El lirio acuático, también conocido con los nombres de Jacinto de agua, Tamborcillo o Pato, se clasifica taxonómicamente de la siguiente manera:

Reino..... Vegetal.  
Subreino..... Fanerógamas  
Tipo..... Angiospermas  
Clase..... Monocotiledóneas  
Subclase..... Superováricas  
Serie..... Periantadas  
Familia..... Pontederiaceas  
Género..... Eichhornia  
Especie..... crassipes

Las plantas maduras de lirio acuático están constituidas por: hojas,

pecíolos, tallo y rizoma, estolones, raíz, inflorescencia, fruto, y a continuación se hará una breve descripción de cada una de estas partes.

Hojas. El follaje de Eichhornia crassipes exhibe algunas variaciones en cuanto a tamaño y forma, dependiendo del hábitat donde se desarrolle. Cuando se encuentra flotando en aguas poco profundas, pobres en oxígeno, o en bancos lodosos, las hojas son pequeñas pudiendo alcanzar una altura de 8 cm aproximadamente, con pseudo-láminas de 3 cm de ancho y 2 cm de largo. Sin embargo, cuando las plantas no se encuentran amontonadas y viven bajo condiciones favorables, las hojas pueden alcanzar una altura de 125 cm, con pseudo-láminas de aproximadamente 13 cm de ancho y 15 cm de largo (19).

La ramificación principal es simpodial, encontrándose las hojas arregladas a manera de roseta sobre la base de un tallo corto. Presentan un color verde brillante, son de forma ovalada y gruesas presentando numerosas estomas en el haz y envés, con lo cual se ve aumentada la transpiración por parte de la planta. Las hojas flotantes presentan una membrana igual en forma acintada, un subflotador, un flotador, un istmo y las hojas (19).

Pecíolo. Es una estructura que se encuentra llena de un tejido esponjoso y poroso. Presenta muchos espacios en cuyas cavidades mesofílicas, se encuentra en su mayor parte el aire, su tamaño varía de acuerdo con las condiciones dominantes del medio ambiente. Esta es

pecie de plantas tiene un desarrollo lento cuando no le llega una intensidad luminosa mayor de 5,380 lux, estando amontonadas y si la raíz no se encuentra plantada en agua de poca profundidad. Las hojas formadas a principio de la estación del año, cuando la luz no está restringida y el espacio no es muy escaso, pueden tener el pecíolo hinchado o dilatado; la ausencia de hinchamiento en el pecíolo está asociada con el amontonamiento de plantas, elevadas temperaturas y sombras. También se ha relacionado este hinchamiento con el hábitat de flotación libre, amplia luz solar y bajas temperaturas, sin embargo Bock (1967) omitió la asociación de las condiciones del pecíolo con la sombra (19).

Tallo y Rizoma. El tallo vegetativo está formado de un eje que presenta internodos cortos, los cuales producen en los numerosos nodos las raíces, hojas, retoños o botones e inflorescencia de la planta. Los nuevos retoños son llevados hasta la parte terminal de los estolones, los cuales son internodos extendidos. El rizoma es una prolongación del tallo por debajo del agua (19).

Estolones. Son tallos auxiliares que crecen a los lados de la planta, dando lugar sus puntas a una planta nueva cuyo origen es asexual.

Se ha comprobado que no todas las yemas o botones de la planta, tienen la potencialidad de formar estolones, aunque se desconocen los factores que regulan este hecho (19).



Rafz. El sistema radicular de Eichhornia crassipes, se encuentra bastante desarrollado, formado por racimos de raíces adventicias principales, junto con hileras de raíces laterales, siendo fibrosas, uniramificadas y cada una tiene una raíz conspicua superior. Presentan coloración púrpura cuando se encuentran expuestas y blanca cuando se encuentran en la obscuridad o están enraizadas en la tierra. En cuanto al tamaño de las raíces se tiene una variación pequeña en relación con el diámetro (9-90 cm), pero de gran longitud (19).

El sistema radicular representa del 15 al 20% de la biomasa total de la planta, dependiendo de la estación del año y condiciones de hábitat (19).

Inflorescencia. Es uno de los aspectos más importantes de la planta, consiste en un eje recto y desnudo llamado pedúnculo, coronado por dos brácteas que encierran en la axila al racimo de flores. La bráctea inferior posee una hoja, pero la superior, que se encuentra más adentro y es ligeramente más pequeña, no tiene hoja.

El número de flores que se presenta por inflorescencia es muy variado, dependiendo de la región donde se encuentre la planta. La flor individual consta de un hipantio, 3 sépalos, 3 pétalos y un pistilo tricarfelar.

El pistilo presenta un ovario superior, un estilo largo y un estigma capitado, el cual se encuentra situado entre dos grupos de anteras. El

ovario madura dentro de una cápsula , encontrándose relativamente -- aprisionado en la pared gruesa del hipantio (19).

Fruto y Semilla. El fruto es apocárpico y se encuentra en una cápsula indehisciente y en general es necesario un período de 16 a 23 días para que el fruto madure y se abra espontáneamente por presión de -- los tejidos internos, expulsando las semillas al exterior; las que al caer al agua se precipitan al fondo, pudiendo permanecer ahí por mucho tiempo sin que lleguen a germinar. Se ha observado que esto sucede principalmente en épocas de bajas temperaturas y precipitación pluvial, viéndose favorecida su germinación cuando se alcanzan temperaturas que van de 36 a 38°C. La maduración de las semillas se alcanza aproximadamente en 2 meses (19). La Figura 2.1 muestra el lirio acuático y sus partes.

### 2.3 METABOLISMO Y REPRODUCCION.

En cuanto a su reproducción, no se sabe gran cosa sobre posibles cambios genéticos en el curso de la rápida expansión geográfica de la especie, pero es seguro que existan. Es probable que algunos de estos cambios lleven a una mayor adaptación local .

La reproducción por propagación vegetativa representa una verdadera ventaja para estas especies expansivas, ya que al no haber interferencia de otras características genéticas, la planta que procede de una yema de la progenitora será exactamente igual a ésta.

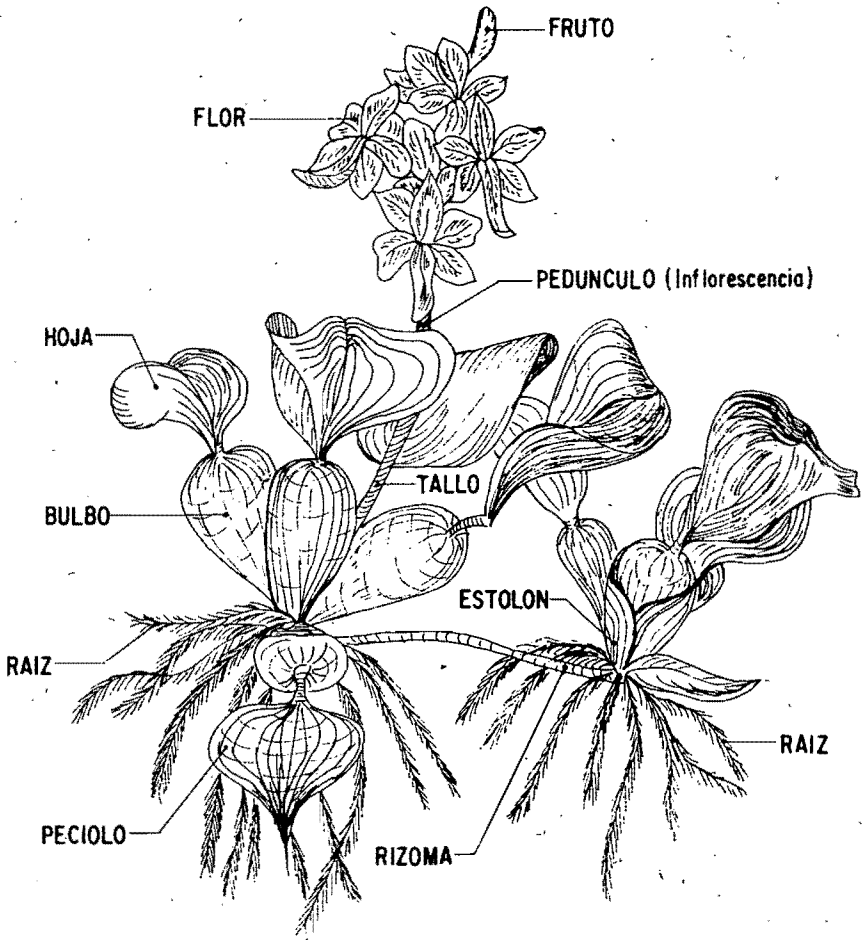


FIGURA 2.1 : LIRIO ACUATICO (*Eichhornia crassipes*)  
y sus partes  
( CASTILLO H., 1979 )

En general se habla (19) de dos tipos de reproducción: sexual y asexual.

Reproducción sexual. Como una adaptación más, la planta ha elevado sus flores solitarias con objeto de asegurar la reproducción. Se dice que son polinizadas por una abeja específica; también son hermafroditas y se cree que hay autofecundación, ya que las flores pueden alcanzar distintas alturas en el pedúnculo floral, lo cual sería incompatible con la fecundación cruzada. Su ciclo de vida de 65 a 70 días; la madurez de los estambres se da en los días luminosos y en los días nublados suele suprimirse (19).

El ciclo de floración se alarga con temperaturas bajas, las anteras no se desarrollan si se expone la planta a luz blanca antes de medianoche y al contrario, el proceso de desarrollo se acelera si la exposición se efectúa después de medianoche.

Después de la fecundación el pedúnculo floral se dobla, por lo que el fruto queda dirigido hacia el agua. En Eichhornia crassipes, al tercer día después de la maduración floral y por la tarde, las flores empiezan a marchitarse y el pedúnculo se dobla en la parte basal, a un ángulo de 45°, a la mañana siguiente el fruto se encuentra totalmente sumergido (19).

Reproducción asexual. La reproducción sexual, que permite una mayor variabilidad genética, es una adaptación a condiciones variables

en el medio, pero cuando tales condiciones son muy estables, como sucede en el medio acuático, la reproducción vegetativa o asexual -- suele llevarse a cabo, debido a que en estos casos las plantas pueden conservar una misma carga genética.

Por otra parte, al prosperar las hidrófitas, una gran parte de los tejidos vegetales demandará una mayor cantidad de nutrientes, restándoles para las estructuras florales. De esta forma, existe una marcada tendencia en las hidrófitas a cambiar la reproducción sexual -- por la asexual y las áreas, colonizadas de esta forma, se expanden rápidamente (19).

#### 2.4 ESTUDIOS DEL SISTEMA.

De acuerdo con CIECCA, SARH (7), las condiciones de temperatura para el crecimiento del lirio acuático, están resumidas en la Tabla 2.1.

CONCEPTO	TEMPERATURA (°C)
Crecimiento lento	<20
Crecimiento normal	22 a 35
Crecimiento óptimo	28 a 30
Crecimiento nulo	40
Muerte de la planta	>40

TABLA 2.1: Condiciones de temperatura para el crecimiento del lirio acuático.  
(CIECCA, 1978)

Cuando la planta es expuesta a temperaturas nocturnas de 10°C, se reduce notablemente la función fotosintética de los siguientes días cálidos, razón por la cual la planta decae sustancialmente durante el invierno en la altiplanicie mexicana CIECCA (7).

Según CIECCA (7), el lirio acuático tiene una tasa fotosintética y características celulares asociadas con las plantas fotorrespiradoras, no obstante que su rendimiento de materia seca es comparable a la de los productores de granos terrestres. Los altos índices foliares (de 6 a 8), así como la eficiente y densa geometría de la planta, parecen no estar en relación con el contenido de clorofila y nutrientes de las diferentes partes de la planta. La clorofila está presente en cantidades que van de 4 a 6 mg/g de la planta y la tasa fotosintética es de 7.8 a 16.1 mg/dm<sup>2</sup> por hora (7).

Respecto a los parámetros químicos del agua y de acuerdo con CIECCA (7), en estudios sobre el lirio acuático, las cifras de los principales son sumamente variables: en efecto, el pH, por ejemplo, varía entre 4 y 8, o sea que la planta prospera tanto en aguas francamente ácidas como alcalinas. El calcio varía de 10 a 15 mg/l, y así sucesivamente los siguientes componentes: magnesio de 10 a 13 mg/l; sodio, de 8 a 24 mg/l; potasio, de 8 a 10 mg/l; litio, de 0.2 a 0.5 mg/l; - fósforo, de 0.1 a 0.8 mg/l y boro de 1 a 2 mg/l.

Se ha encontrado que, en comparación con la alfalfa y el pasto forra

jero, el lirio es superior como nutriente. El nitrógeno como por ciento de materia seca, es hasta de 1.75; mientras que el calcio, fósforo y magnesio, tienen cifras de 3.06; 0.63 y 0.61 respectivamente.

La Tabla 2.2, muestra los nutrientes presentes en el lirio acuático (7).

	EN PORCIENTO DE MATERIA SECA				
	NITROGENO	FOSFORO	CALCIO	POTASIO	MAGNESIO
TODA LA PLANTA	1.75	0.63	3.06	3.07	0.61
LAS HOJAS	2.67	0.53	3.39	2.88	0.52
LOS TALLOS	1.02	0.50	2.36	5.04	0.56
LAS RAICES	2.01	0.75	3.46	1.72	0.68

TABLA 2.2: NUTRIENTES PRESENTES EN EL LIRIO ACUATICO.  
(CIECCA, 1978)

Mucho es lo que se ha dicho sobre el aprovechamiento del lirio acuático, en virtud de sus altos contenidos de nutrientes, sin embargo, no hay que olvidar que un gran porcentaje de la planta es agua, de tal manera que de un 100% de materia fresca, rinde únicamente el 4.8 % de materia seca. Por hectárea en un lugar invadido de lirio acuático, pueden obtenerse hasta 104 toneladas de materia fresca, de las cuales 99.008 toneladas son agua y el resto 4.992 toneladas son de materia seca (7).

Por otra parte, de un 100% de materia seca, las paredes celulares de la planta (que contienen celulosa, lignina y cenizas) representan el

67.5% o sea 3.37 Ton/ha, mientras que el contenido celular representa únicamente el 32.5%, del cual 5.7% es proteína, 20.4% son cenizas totales y 0.2% es fósforo, el restante 6.2% se refiere a sustancias no identificadas (7).

## 2.5 CONCEPTUALIZACION DEL SISTEMA.

El hombre, buscando mejorar la calidad de su vida, ha proyectado y construido grandes obras hidráulicas que han alterado y modificado la ecología de regiones enteras, con sus consecuentes ventajas y desventajas. Estas alteraciones dan origen a nuevos nichos ecológicos que permiten la predominancia de otra(s) especie(s), ya sea que éstas estuvieran desde un principio en la zona, pero sin predominar, o que llegarán del exterior, como es el caso del lirio acuático.

La rápida expansión de una o varias poblaciones vegetales sobre este tipo de obras, conduce a sistemas de adaptación de la planta que pueden ser algo diferentes a las propias de la especie; por tanto, lo que hace a una planta expansiva son sus propiedades genéticas, de las cuales resulta su adaptabilidad a ecosistemas iniciales o poco maduros y por ello, de modo especial, a áreas perturbadas por el hombre.

Al aumentar la población de una especie, debido a una serie de factores que propician esto, la selección se hace menos rigurosa y se orienta mas bien a incrementar la tasa de crecimiento, teniéndose como resultado un aumento en la biomasa, la cual agregada a los factores mismos que la producen, actúa en el sistema en forma de retroalimen-



tación, por lo que biomasa y factores reproducen biomasa. La selección natural eleva a un máximo la adaptación de las poblaciones naturales como un todo, incluso al precio de producir homocigóticos en cada generación Dobzhansky (1967), (11).

Para producirse y prosperar en una situación determinada, el lirio acuático ha de tener materiales esenciales que son necesarios para el desarrollo y reproducción. Estos requisitos básicos varían según la especie y el medio en que se encuentre.

No sólo la deficiencia de algo podría constituir un factor limitativo, como lo propuso Justus Liebig en 1840, sino también el exceso, caso de factores como sol, luz y agua. Así pues, el lirio acuático tiene un máximo y un mínimo ecológico, con un margen entre uno y otro que representa "límites de tolerancia".

La presencia y el éxito del lirio acuático depende de un conjunto de condiciones. Toda condición que se aproxima a los límites de tolerancia o los rebasa se designa como una condición limitativa o factor limitativo (22).

Para resumir, la atención primera y principal deberá dedicarse a los factores que son "funcionalmente significativos para el lirio acuático en algún momento de su ciclo vital". A menudo, un buen modo de averiguar cuáles factores son limitativos para determinadas malezas es el de estudiar su distribución y comportamiento en los bordes de -

sus ámbitos respectivos.

La luz, temperatura y agua son factores ambientales ecológicamente importantes en la tierra; la luz, temperatura y salinidad en el mar.- En el agua dulce otros factores, como el oxígeno, podrán revestir una importancia principal. En todos los medios la naturaleza química y las velocidades de los ciclos de los elementos nutritivos minerales constituyen condiciones principales. Todas estas condiciones físicas existentes podrán ser acaso no sólo factores limitativos en el sentido perjudicial, sino también factores regulares beneficiosos, en el sentido de que la comunidad de plantas de lirio alcanza, en tales condiciones, el grado máximo de homeostasia (equilibrio) posible (22).

Los factores ambientales que han sido considerados ser importantes y dignos de estudio como perjudiciales o beneficiosos a la proliferación del lirio acuático en cuerpos de agua infestados (22) son: climatológicos, del agua y del aire.

#### 2.5.1 FACTORES CLIMATOLOGICOS.

Los factores climatológicos que se consideran importantes en un eco sistema acuático, son los siguientes:

- . Temperatura
- . Radiación solar o luminosidad
- . Acción conjunta de la temperatura y humedad ( precipitación, evapo ración y evapotranspiración ).

. Corrientes y presión

2.5.1.1 TEMPERATURA.

La temperatura es universalmente importante y constituye a menudo un factor limitante. El ritmo de la temperatura, conjuntamente con la periodicidad de la luz, humedad y mareas, rige en gran parte las actividades estacionales y diarias de plantas y animales. La temperatura es frecuentemente la causa de la formación de zonas y la estratificación que se produce tanto en los medios terrestres como en los acuáticos.

La variabilidad de la temperatura es sumamente importante en los sistemas ecológicos. Una temperatura que oscile entre 10 y 20°C, con un promedio de 15°C no ejerce necesariamente sobre el lirio acuático el mismo efecto que una temperatura constante de 15°C.

El efecto estimulante de la temperatura variable puede aceptarse como un principio ecológico perfectamente definido, y aún uno sobre el que convendría insistir, toda vez que la tendencia ha sido la de efectuar la labor experimental en laboratorios en condiciones de temperatura constante.

Por el hecho de que el lirio acuático es sensible a los cambios de temperatura y debido a que ésta es tan fácil de medir, su importancia como factor limitante se ha sobreestimado con frecuencia. Hay que guardarse de suponer que la temperatura es limitante mientras -

otros factores podrán ser acaso más importantes (22).

## 2.5.1.2 RADIACION SOLAR O LUMINOSIDAD.

Según lo expresado por Pearse (1939) apropiadamente, las plantas acuáticas se encuentran entre las plantas de un dilema por lo que se refiere a la luz. En efecto, la exposición directa del protoplasma a la luz provoca la muerte y, sin embargo, la luz es la fuente última de energía, sin la cual la vida no podría existir. Por consiguiente, una gran parte de las características de estructura y de comportamiento del lirio acuático están afectadas por la solución de este problema.

En consecuencia, la luz es no sólo un factor vital, sino también un factor limitante en los niveles tanto máximo como mínimo. No hay ningún otro factor que revista mayor interés para los ecólogos.

En la relación de la intensidad de la luz y la fotosíntesis rige, tanto en las plantas terrestres como en las acuáticas, el mismo tipo de aumento lineal o nivel de saturación de luz, seguido en muchos casos de un descenso o intensidades muy altas. No se admite de modo tan general que la luz solar normal pueda ser limitante en plena intensidad como a baja intensidad.

Uno de los datos más seguros mediante los cuales las plantas regulan sus actividades temporales en las zonas templadas es el de la duración del día o fotoperíodo. En contraste con otros factores estacionales, la

duración del día es siempre la misma en una estación y localidad de terminada.

Se ha demostrado que el fotoperíodo es el regulador cronométrico o - el disparador que pone en marcha sucesiones fisiológicas que producen el desarrollo y **floreamiento** de muchas plantas (22).

### 2.5.1.3 ACCION CONJUNTA DE LA TEMPERATURA Y HUMEDAD.

La temperatura y la humedad son de una importancia general en los medios acuáticos y terrestres, operan en una reciprocidad tan estrecha que se suele convenir en que constituye el aspecto más importante del clima.

La acción recíproca entre la temperatura y la humedad depende, como en el caso de la mayoría de las acciones recíprocas de otros factores, de los valores tanto relativos como absolutos de cada factor. Así pues, la temperatura ejerce sobre el lirio acuático un efecto limitante más grave cuando las condiciones de humedad son extremas, esto es, o muy altas o muy bajas, que cuando éstas son moderadas. Y en forma análoga, la humedad juega un papel más crítico en el caso - de temperaturas extremas.

En cierto sentido, éste constituye otro aspecto del principio de interacción o acción recíproca (22).

La precipitación pluvial, la humedad y la fuerza de evaporación del aire y el suministro de agua de superficie son los principales factores que intervienen en el desarrollo del lirio acuático. En realidad la situación biótica no está regida solamente por la precipitación pluvial, sino por el equilibrio entre la precipitación y la evaporación-transpiración potencial, siendo esta última la pérdida de agua por evaporación del ecosistema.

Toda vez que se da por lo regular un ritmo diario en la naturaleza, en materia de humedad, así como diferencias verticales y horizontales, la humedad desempeña un importante papel juntamente con la temperatura y la luz, en la regulación de las actividades del lirio acuático y en la limitación de su distribución.

En las plantas acuáticas del 97 al 99% del agua que penetra en ellas proviene del medio donde están adaptadas y se pierde por la evaporación de las hojas, evaporación que se designa con el nombre de transpiración ( 22 ).

#### 2.5.1.4 CORRIENTES Y PRESION.

Los medios atmosféricos e hidrosféricos en los que viven plantas acuáticas no suelen permanecer completamente quietos por un período cualquiera de tiempo.

Las corrientes en el agua no sólo influyen mucho sobre la concentra

ción de gases y alimentos, sino que actúan directamente como factores limitativos. Así pues, las diferencias entre un río y una pequeña comunidad en un estanque podrán deberse, acaso en gran parte, a la gran diferencia en el factor de la corriente. Muchos animales y plantas están específicamente adaptadas, tanto morfológica como fisiológicamente para mantener su posición en la corriente, y se sabe que tienen unos límites de tolerancia muy estrictos con respecto a este factor específico.

El viento ejerce un factor limitativo sobre las actividades e inclusive sobre la distribución del lirio acuático.

El lirio acuático sufrirá acaso modificaciones de estructura por el viento, especialmente si otros factores son igualmente limitativos, como en el caso de las regiones similares a las alpinas.

Se ha observado que las plantas acuáticas y los insectos se extienden más rápidamente en la dirección de los vientos dominantes que en otras direcciones, hacia áreas que parecen brindar oportunidades para el establecimiento de las especies. En las regiones secas, el viento es un factor limitativo especialmente importante para el lirio acuático, puesto que aumentará la intensidad de la pérdida de agua por transpiración.

No se ha demostrado que la presión atmosférica fuera un importante factor limitativo directo para el lirio acuático, aunque algunos ani-

males parecen capaces de percibir diferencias y, por supuesto, la presión barométrica tiene mucho que ver con el tiempo y el clima, que son directamente limitativos para aquellos (22).

#### 2.5.2 FACTORES DEL AGUA.

Debido a que el agua es una necesidad fisiológica para todo protoplasma, principalmente desde el punto de vista ecológico, es un factor limitante en los medios terrestres y también en los acuáticos, allí donde su cantidad está sujeta a grandes fluctuaciones.

El punto de vista ecológico de considerar al agua como un elemento cíclico en el ecosistema conjunto es muy importante (22), por lo que se hace necesario analizarla.

La calidad del agua está determinada por factores naturales, por las actividades humanas, por el uso y el desarrollo de la tierra, y toma un valor relativo dependiente del fin a que se le vaya a destinar.

Calidad, y cantidad, estrechamente unidas, forman parte de un sistema total. Los factores para caracterizar al agua en medios acuáticos, se clasifican en los siguientes tres tipos más importantes: físicos, bacteriológicos y químicos.

##### 2.5.2.1 FACTORES FISICOS.

Los factores de caracterización física del agua, de manera general-



son: temperatura del agua, pH ( aunque también se clasifica como químico, es fisicoquímico), los sólidos presentes en todas sus formas, color, olor, sabor, turbiedad y conductividad.

#### 2.5.2.2 FACTORES BACTERIOLOGICOS.

En forma general los factores bacteriológicos más importantes para caracterizar el agua son: coliformes totales, coliformes fecales y estreptococos fecales.

#### 2.5.2.3 FACTORES QUIMICOS.

Entre los factores químicos más importantes se tienen: la presencia de grasas y aceites, arsénico, cloruros, acidez total, oxígeno disuelto, demanda biológica de oxígeno, demanda química de oxígeno, nitrógeno amoniacal, nitrógeno orgánico, nitratos, nitritos, fósforo total, ortofosfatos, detergentes, dureza en todas sus formas, alcalinidad, aluminio y sales biogénicas.

Las sales disueltas indispensables para la vida pueden designarse, apropiadamente, como sales biogénicas.

De hecho, la ley original del mínimo, de Liebig, se basaba en gran parte en la acción limitadora de materias primas vitales que son escasas y variables en el medio.

Las sales de nitrógeno y fósforo revisten la mayor importancia y el

ecólogo hará bien empezando sistemáticamente por su examen. Siguiendo muy de cerca las huellas del nitrógeno y el fósforo, merecen gran atención el potasio, el calcio, el azufre y el magnesio.

Los moluscos y los vertebrados necesitan calcio en cantidades especialmente grandes, y el magnesio es un constituyente necesario de la clorofila sin la cual ningún ecosistema podría funcionar. Los elementos y compuestos que se necesitan en cantidades relativamente grandes se designan a menudo como elementos macronutrientes o macroalimentos. Hutchinson (1957) describe el caso en relación con el fósforo como factor limitativo como sigue: "De todos los elementos presentes en organismos vivos, es probable que el fósforo sea el más importante ecológicamente, porque la razón de éste a los demás elementos en las plantas suele ser considerablemente mayor que la razón en las fuentes primarias de los elementos biológicos. De ahí que una deficiencia de fósforo limite más probablemente la productividad de cualquier región de la superficie de la tierra de lo que hace la deficiencia de cualquier otro material, excepto el agua" (22). Resumiendo, los macronutrientes más importantes son: fósforo, nitrógeno, potasio, calcio, azufre y magnesio.

En años recientes ha ido creciendo el interés por el estudio de los elementos y compuestos que son necesarios para el funcionamiento de los seres vivos, pero que sólo se requieren en cantidades extremadamente pequeñas, como componentes, a menudo, de enzimas vi

tales. Estos elementos suelen designarse como elementos huella o microalimentos (micronutrientes). Toda vez que las necesidades mínimas parecen ir acompañadas de una existencia igualmente mínima o inclusive menor de dichos elementos en el medio, resulta que los microalimentos poseen importancia como factores limitativos.

Eyster (1964) enumera diez microelementos nutritivos de los que se sabe a ciencia cierta que son indispensables para las plantas, y son los siguientes: fierro, manganeso, cobre, zinc, boro, silicio, molibdeno, cloro, vanadio y cobalto. En términos de función, estos pueden disponerse en tres grupos como sigue:

- . los que son necesarios para la fotosíntesis, esto es: Mn, Fe, Cl, Zn y V.
- . los que se necesitan para el metabolismo del nitrógeno: Mo, B, Co y Fe.
- . los que se necesitan para funciones metabólicas: Mn, B, Co, Cu y Si.

La mayoría de estos son esenciales también para los animales, y otros pocos, como el yodo, lo son para ciertos animales, como los vertebrados. Por supuesto, la línea divisoria entre macronutrientes y micronutrientes no es estricta ni la misma para todos los grupos: así, por ejemplo, el sodio y el cloro lo necesitarán en mayores can-

tidades los vertebrados que las plantas.

De hecho, el sodio se agrega a menudo a la lista anterior como micronutriente para las plantas. Muchos de los micronutrientes se-- parecen a las vitaminas por cuanto actúan como catalizadores. - Los metales en cantidades huella se combinan a menudo con compues-- tos orgánicos para formar "metaloactivadores"; el cobalto, por ejem-- plo, es un elemento constitutivo vital de la vitamina B<sub>12</sub>. Goldman (1965) documenta un caso en que el molibdeno es un factor limita-- tivo para el ecosistema entero, al encontrar que la adición de 100-- partes por mil millones de agua de un lago de montaña aumentaba - la intensidad de la fotosíntesis (22).

Encontró también que en este mismo lago la concentración de cobalto era lo bastante alta como para resultar inhibitoria para el fitoplancton. Lo mismo que el caso de los macronutrientes, el exceso podrá también ser limitativo (22).

### 2.5.3 FACTORES DEL AIRE.

Es conocido que la fotosíntesis puede ser aumentada en muchas plan-- tas mediante aumentos moderados de la concentración de CO<sub>2</sub>, en - cambio no es tan sabido que el reducir experimentalmente la concen-- tración de oxígeno puede aumentarla. Se especula que la inhibición debida al oxígeno es causada por una reacción entre un intermediario fotosintético altamente reducido y el oxígeno molecular, lo que au--

menta con la concentración de  $O_2$ .

En los medios acuáticos las cantidades de oxígeno, bióxido de carbono y otros gases disueltos en el agua quedan disponibles para -- las plantas en forma muy variable. El oxígeno es un factor limitante, especialmente en lagos y en aguas con una pesada carga de material orgánico. Pese al hecho de que el oxígeno es más soluble en el agua que el nitrógeno, la cantidad real de oxígeno que el agua -- puede contener en las condiciones más favorables es mucho menor que la que está constantemente presente en la atmósfera.

La temperatura y las sales disueltas afectan mucho la capacidad del agua de disolver oxígeno, la solubilidad de éste aumenta con temperaturas bajas, y disminuye, en cambio, con salinidades altas. La provisión de oxígeno en el agua tiene principalmente dos fuentes, a saber: por difusión atmosférica y por la fotosíntesis a través de las -- plantas acuáticas. El oxígeno se difunde en el agua muy lentamente, a menos que se vea ayudado por el viento y por movimientos de --- aquella; en tanto que la penetración de la luz es un factor de máxima importancia en la producción fotosintética de oxígeno. Por consiguiente, cabe esperar importantes variaciones diarias -- estacionales en la concentración de oxígeno de los medios acuáticos.

El bióxido de carbono, al igual que el oxígeno, puede estar presente en el agua en cantidades muy variables, pero su comportamiento en

el agua es más bien distinto y su ecología no se conoce. Resulta difícil, por consiguiente, pronunciarse de modo general en cuanto a su papel como factor limitante.

Por otra parte, a diferencia del oxígeno, el bióxido de carbono entra en combinación química con el agua para formar  $H_2CO_3$ , el cual reacciona a su vez con las piedras calizas disponibles para formar carbonatos y bicarbonatos. Estos compuestos no sólo proporcionan una fuente de elementos nutritivos, sino que actúan asimismo como amortiguadores ayudando a mantener la concentración de iones hidrógeno en las cercanías de la neutralidad en los medios acuáticos.

Los aumentos moderados de  $CO_2$  en el agua parecen acelerar la fotosíntesis y los procesos de desarrollo de muchas plantas.

La concentración de los iones hidrógeno, o pH, se relaciona íntimamente con el complejo bióxido de carbono, y, toda vez que es fácil de medir, ha sido muy estudiado en los medios acuáticos normales. Antiguamente se consideró que el pH era muy importante en la regulación de la respiración y de los sistemas de las enzimas en las plantas, siendo críticas cantidades muy exiguas del mismo. A menos que los valores sean extremos las comunidades compensan las diferencias mediante diversos mecanismos y muestran una amplia tolerancia para el margen que se presenta normalmente.

Sin embargo, cuando la alcalinidad total es constante, el cambio de

pH es proporcional al cambio de  $\text{CO}_2$  y constituye, por consiguiente, un indicador útil de la intensidad o intensidades del metabolismo en la comunidad total (fotosíntesis y respiración). Las tierras y las -- aguas de pH bajo (ácidas) son con frecuencia deficientes en elementos nutritivos y bajas en productividad (22).

Al llevarse a cabo un estudio como el presente, además de los factores mencionados en párrafos anteriores, existen factores propios del objeto en estudio, por medio de los cuales se estudian y cuantifican los demás factores que son importantes en el crecimiento del lirio acuático: como es la biomasa --- (peso) con respecto al tiempo.

Al final del sistema lo que se tiene es la producción de biomasa y para determinar los factores más importantes en el crecimiento del lirio acuático, no -- todos los factores citados anteriormente son igualmente importantes; además, en un ecosistema no todo se puede medir. Por lo tanto, en base al anterior -- estudio conceptual y al conocimiento propio, de manera preliminar se plantean los factores más importantes en el crecimiento del lirio acuático:

1). Factores climatológicos.

- . Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ).
- . Radiación solar o luminosidad (h/mes)
- . Evaporación (mm  $\text{H}_2\text{O}$ )
- . Precipitación (mm  $\text{H}_2\text{O}$ )

## 2. Factores del agua.

### . Factores físicos.

- . Temperatura del agua (°C)
- . Los sólidos presentes en todas sus formas (mg/l)
- . Color (unidades platino-cobalto (Pt-Co) )
- . Turbiedad (p.p.m. SiO<sub>2</sub> o U.J.)
- . Conductividad (micromhos/cm)

### . Factores bacteriológicos.

- . Coliformes totales (NMP/100 ml)
- . Coliformes fecales (NMP/100 ml)
- . Estreptococos fecales (NMP/100 ml)

### . Factores químicos.

- . Grasas y aceites (mg/l)
- . Arsénico (mg/l)
- . Cloruros (mg/l)
- . Acidez total (mg CaCO<sub>3</sub>/l)
- . O.D. (mg/l)
- . D.B.O. (mg/l)
- . D.Q.O. (mg/l)
- . pH (adimensional)
- . Nitratos NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg/l)
- . Nitritos NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (mg/l)
- . Detergentes (S.A.A.M. mg/l)



- . Dureza total (mg  $\text{CaCO}_3$ /l)
- . Dureza en  $\text{Ca}^{++}$  (mg  $\text{CaCO}_3$ /l)
- . Dureza en  $\text{Mg}^{++}$  (mg  $\text{CaCO}_3$ /l)
- . Alcalinidad total (mg/l)
- . Aluminio (mg/l)
- . Sales biogénicas
  - . Macronutrientes.
    - . Fósforo total  $\text{PO}_4^{\equiv}$  (mg/l)
    - . Ortofosfatos  $\text{PO}_4^{\equiv}$  (mg/l)
    - . Potasio (mg/l)
    - . Calcio (mg/l)
    - . Magnesio (mg/l)
    - . Nitrógeno amoniacal (mg/l)
    - . Nitrógeno orgánico (mg/l)
    - . Azufre en forma de  $\text{SO}_4^{\equiv}$  (mg/l)
  - . Micronutrientes.
    - . Sodio (mg/l)
    - . Hierro (mg/l)
    - . Manganeso (mg/l)
    - . Cobre (mg/l)
    - . Zinc (mg/l)
    - . Boro (mg/l)
    - . Molibdeno (mg/l)
    - . Cobalto (mg/l)

El comportamiento de un cuerpo de agua que recibe descargas de materiales contaminantes tiene dos esquemas generales: uno en el que el total de la masa líquida cambia sus condiciones uniformemente, correspondiendo a lo que se llama "flujo completamente mezclado" y otro en el que los cambios se llevan a cabo en forma gradual, avanzando en una dirección determinada y se le conoce como "flujo en pistón" (17).

El ejemplo típico del primer esquema se presenta en los lagos y las bahías, en donde el viento ejerce una acción dispersiva de la carga contaminante, logrando que se distribuya uniformemente y es el caso de la zona de estudio seleccionada en este trabajo.

Del segundo esquema se tienen como ejemplo las corrientes de agua en donde se establece un perfil definido de contaminación y purificación (17).

El efecto inicial de la contaminación tiende a degradar la calidad física -- del agua. Conforme la descomposición se activa se produce biológicamente un cambio hacia la degradación química, simultáneamente se hace evidente la degradación biológica en términos de número, variedad y organización de los seres vivientes que persisten o hacen su aparición.

Considerado como un ecosistema, un cuerpo de agua consta de dos grandes grupos de componentes, a saber (17): sustancias abióticas y organismos vivos.

Substancias abióticas. Son los componentes no vivos de la masa de agua. -

Esto comprende al agua, dióxido de carbono, oxígeno disuelto, sales inorgánicas, algunos compuestos orgánicos y detritus.

Organismos vivos. La parte viva de la masa de agua se subdivide de acuerdo con las funciones de los organismos que hacen que el ecosistema funcione como un conjunto estable. Estos se dividen en: organismos productores, organismos consumidores y organismos desintegradores o de la putrefacción.

a. Organismos productores.

Este grupo comprende a los organismos fotosintéticos como son las plantas verdes, en un ecosistema acuático puede haber dos tipos: 1) las plantas más grandes que crecen a lo largo de la orilla o que flotan en aguas poco profundas (por ejemplo lirio), y 2) las plantas microscópicas flotantes que son, en su mayoría, algas y están distribuidas en el agua hasta las profundidades que alcanza la luz solar. Estas minúsculas plantas, conocidas colectivamente con el nombre de fitoplancton, casi nunca son visibles a menos que existan en grandes cantidades, comunicando en este caso un tinte verdoso al agua. Generalmente, son mucho más importantes como productoras de alimento para el ecosistema que las plantas visibles.

b. Organismos consumidores.

Este grupo está formado de organismos heterótrofos y en su mayor parte animales (insectos, larvas de insectos, crustáceos, peces y quizá alguna almeja de río), que se alimentan de otros organismos o de detritus orgánicos, el grupo incluye a los herbívoros (consumidores primarios) y a

los carnívoros (consumidores secundarios o terciarios).

c. Organismos desintegradores o de la putrefacción.

Este grupo consta de organismos saprófitos, principalmente hongos y bacterias que degradan los compuestos orgánicos del protoplasma muerto -- produciendo sustancias inorgánicas que pueden usar las plantas verdes.

Cualquier ecosistema, por grande y complejo que sea, puede dividirse en estas mismas partes principales, tal es el caso del sistema lirio acuático-medio ambiente.

En la Figura 2.2, se muestra un diagrama general del sistema lirio acuático-medio ambiente, donde se incluyen solamente los subsistemas que se supone estarán relacionados más directamente con el crecimiento del lirio acuático.

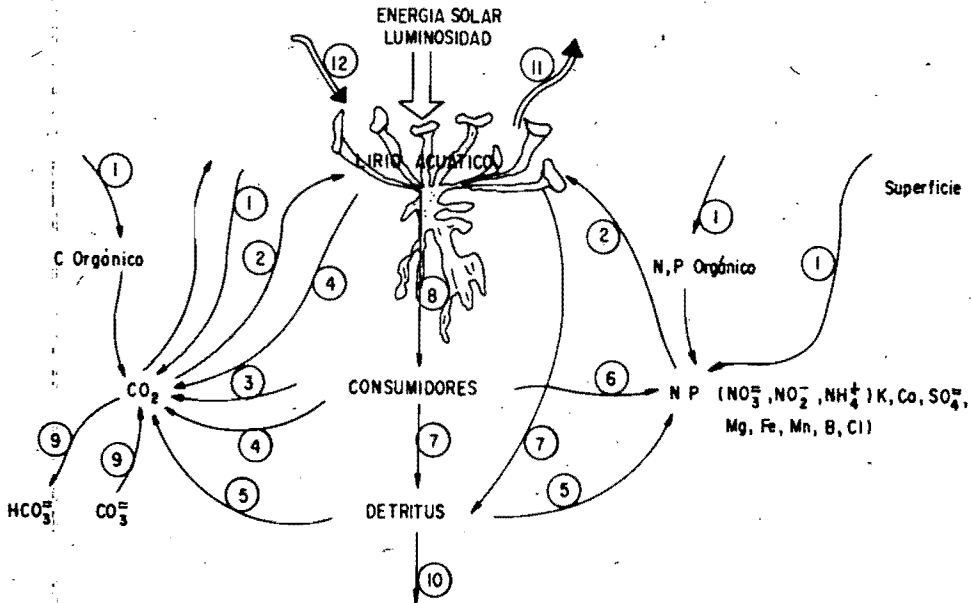
## 2.6 ASPECTOS METODOLOGICOS SOBRE SISTEMAS Y MODELOS.

En esta sección se indican algunos conceptos sobre sistemas y modelos, que serán manejados constantemente en el estudio.

### 2.6.1 SISTEMAS.

Se ha tratado de definir a los sistemas de muy diversas maneras, entre ellas se tiene por ejemplo:

"Un sistema es cualquier entidad conceptual o física que consiste -



- ① Entradas externas (Nutrientes, materia orgánica, escurrimientos y otros)
- ② Fotosíntesis
- ③ Respiración primaria
- ④ Respiración endógena
- ⑤ Descomposición biológica
- ⑥ Excreción
- ⑦ Muerte
- ⑧ Alimentación (crecimiento consumidores)
- ⑨ Equilibrio químico
- ⑩ Sedimentación
- ⑪ Evaporación
- ⑫ Precipitación

Fig. 2.2 SISTEMA LIRIO ACUATICO - MEDIO AMBIENTE  
( CASTILLO H., 1979 )

de partes interdependientes" (R. L. Ackoff).

"Un sistema es un conjunto de reglas o principios sobre una materia, enlazados entre sí, que contribuye a determinado objeto".

Todos los sistemas presentan ciertas características, las cuales según

C. Churchman (28) son:

a. Objetivos del sistema completo y medidas de su actuación.

Se entiende como tales a las metas o puntos hacia los cuales tien de un sistema y los medios por los cuales se llega a ellas.

b. Medio ambiente del sistema.

Lo ~~constituye~~ todo lo que está fuera del sistema, pero debido a que son restricciones fijas, se encuentran fuera de su control y determinan cómo opera éste.

c. Recursos del sistema.

Son los medios de que dispone el sistema para ejecutar las actividades necesarias para llegar a la meta. Por estar dentro del sis tema y del medio ambiente éste puede cambiarlos o modificarlos para su propio provecho.

d. Componentes del sistema.

Se entienden como tales las actividades que el sistema debe llevar a cabo para realizar sus objetivos.

e. Administración del sistema.

Dentro de este punto se incluyen dos funciones básicas que son:

- Planeación del sistema o establecimiento de metas de los componentes y asignación de recursos, y
- Control del sistema, lo cual involucra la ejecución de los planes y diseñar los cambios necesarios.

Estas funciones están basadas en el flujo de información o retroalimentación para poder llevarse a cabo en forma adecuada.

## 2.6.2 MODELOS.

Se entiende por modelo una estructura de símbolos y reglas operativas que proporciona un conjunto de puntos importantes en un proceso o sistema existente y que es indispensable para poder entender procesos más complejos; es decir, son conceptos o ideas sobre la estructura de un sistema, o la representación cuantitativa del modo en que el sistema relaciona sus entradas y salidas. Son la base de la toma de decisiones. En síntesis, puede considerarse que un modelo es la representación cuantitativa o matemática de un fenómeno. A un fenómeno particular pueden corresponder varios modelos, y el mismo modelo puede ser aplicado para representar diversos fenómenos; por ejemplo, la descomposición anaeróbica de la materia orgánica puede ser descrita por un modelo logístico o por un modelo autocatalítico, y el modelo logístico puede ser usado, además, para-

describir el crecimiento de diversos tipos de población (13 y 17).

Los parámetros de un modelo son las constantes envueltas en la relación matemática que describe a un fenómeno en particular. Las variables del modelo representan las distintas entidades del fenómeno y el modelo al fenómeno en total (17).

El uso de los modelos es un paso clave en el progreso del conocimiento, es necesario hacer modelos que permitan predicciones correctas, pero también es necesario que los modelos sobrevivan a pruebas exactas y trabajen para que no sean un simple pasatiempo matemático.

Los modelos pueden ser de diversos tipos (13), por ejemplo:

- Físicos
- Análogos
- Simbólicos o matemáticos

En los modelos físicos las propiedades relevantes del fenómeno real se representan de acuerdo con las mismas propiedades, normalmente con un cambio de escala, es decir se ven como lo que representan, pero difieren en tamaño, son imágenes; por ejemplo: fotografías, dibujos, mapas o reproducciones de barcos, aeroplanos, etc. Estos modelos son específicos, concretos y difíciles de manejar para fines experimentales.



Los modelos análogos usan un conjunto de propiedades para representar a otros, por ejemplo: las líneas o curvas de nivel de un mapa son analogías para representar elevaciones. Son menos específicos, menos concretos, pero más sencillos de manejar que los físicos.

Los modelos simbólicos utilizan letras, números y otros tipos de símbolos para representar las variables y sus relaciones, por lo que son el tipo de modelo más general y abstracto. Normalmente son los más sencillos de manejar experimentalmente, toman la forma de relaciones matemáticas que reflejan la estructura de lo que representan. Este trabajo, como aspecto adicional, trata de la obtención de un modelo de crecimiento de este tipo para el lirio acuático, basado en los factores que se seleccionan de los estudios empíricos llevados a cabo.

El uso de los modelos matemáticos es cada día mayor. Sin embargo, es necesario durante su elaboración cumplir con los principios básicos de calibración y validación, es decir, debe garantizarse la semejanza entre el prototipo y el modelo, lo cual se puede hacer observando que la correlación entre datos obtenidos en el campo y los que se obtienen del modelo sea la adecuada para el tipo de problema que se estudia.

El empleo de modelos presenta ciertas ventajas y desventajas en función de las cuales deben fijarse los límites de su utilización.

Ventajas:

- a. Proporcionar un marco de referencia para poder visualizar y sugerir posibles cursos alternativos de acción.
- b. Indicar el tipo de experimentos preliminares necesarios para determinar las características importantes en la toma de decisiones particulares en el problema considerado.
- c. Proporcionar el medio más económico y seguro de realizar predicciones.

Desventajas:

- a. Puede requerir de hipótesis simplificadoras aproximadas que, además de restar generalidad a la solución, lleguen a falsear a tal grado los resultados, que se presente el caso de que no tengan semejanza alguna con el comportamiento real del fenómeno; he aquí la importancia de la calibración y la validación.
- b. No existe ninguna garantía de que la inversión de tiempo y esfuerzo para construirlos, reditúe en predicciones satisfactorias.

Debe reiterarse que un modelo matemático es solamente una representación de lo que ocurre en la realidad y no pensar en que es el mundo real, que se encuentra sujeto a cambios y nunca permanece estático, por lo que debe adaptarse o modificarse junto con ellos, para poder lograr una mejor identificación con el comportamiento del problema que se estudia (13 y 17).

### 3. METODOLOGIA EXPERIMENTAL.

Debido a que este estudio está basado en datos empíricos, en esta sección se describe la zona de campo seleccionada para ello, sus características, el sitio elegido para el muestreo, el programa de muestreo, el muestreo de cada factor ambiental que se seleccionó para su estudio, así como los métodos y aparatos con que se midieron estos factores.

#### 3.1 SELECCION DE LA ZONA DE ESTUDIO DE CAMPO.

Se construyó la presa Endhó con el objeto de mejorar el aprovechamiento para riego, de las aguas del río Tula. La presa se encuentra localizada sobre el mismo río Tula, a unos 11 kilómetros de la ciudad de Tula, en el municipio del mismo nombre, en el estado de Hidalgo. Se sitúa geográficamente entre los paralelos  $20^{\circ} 05'$  y  $20^{\circ} 10'$  latitud norte y los meridianos  $99^{\circ} 20'$  y  $99^{\circ} 23'$  de longitud oeste. Esta presa complementa a las presas Taxhimay y Requena, cubriendo así el sistema de riego 03.

Más tarde la presa Endhó fue utilizada como vaso receptor de las aguas negras de la zona metropolitana de la ciudad de México, teniendo así dos ventajas finales: a) la de resolver el problema de desahogo de dichas aguas, y b) la de aumentar el volumen de agua para riego del Valle del Mezquital.

La presa Endhó consta de una cortina de 60 m de altura, con un vo

lumen de 1'503,200 m<sup>3</sup> y una capacidad de cortina de 18,200 m<sup>3</sup>. El área del embalse es de 1,200 ha (la zona invadida por el lirio acuático comprende el 100% de la superficie total de la presa), el escurrimiento medio anual es de 466,696 m<sup>3</sup>. A esta presa se le extraen anualmente 326,138 m<sup>3</sup>, los cuales son utilizados para riego en el distrito 03. La presa tiene una deficiencia con respecto a la demanda de 1.35% (19).

A raíz de la introducción de aguas negras, el ecosistema de la presa Endhó fue perturbado. Comenzando una fuerte invasión del lirio y -- consecuentemente la disminución progresiva de la diversidad de especies, por las condiciones que en ella prevalecen, debido al exceso de descargas contaminantes.

Por lo anteriormente expuesto y por la facilidad que representa el -- transporte de la ciudad de México a la presa Endhó, así como por su cercanía, como también por presentar dicho cuerpo de agua las condiciones más críticas en cuanto a infestación por lirio acuático comparado con otros cuerpos de agua, además de la presencia de aguas negras, se eligió este lugar para la zona de estudio (ver Figura 3.1).

### 3.1.1 CARACTERISTICAS CLIMATOLOGICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO.

Según CIECCA, SARH (19), por las condiciones climáticas imperantes en la zona de estudio, ésta se clasifica de acuerdo a Thornthwait como



FIG. 3.1: INVASION DE LA PRESA ENDHO POR LIRIO  
ACUATICO.  
(CASTILLO H., 1978)

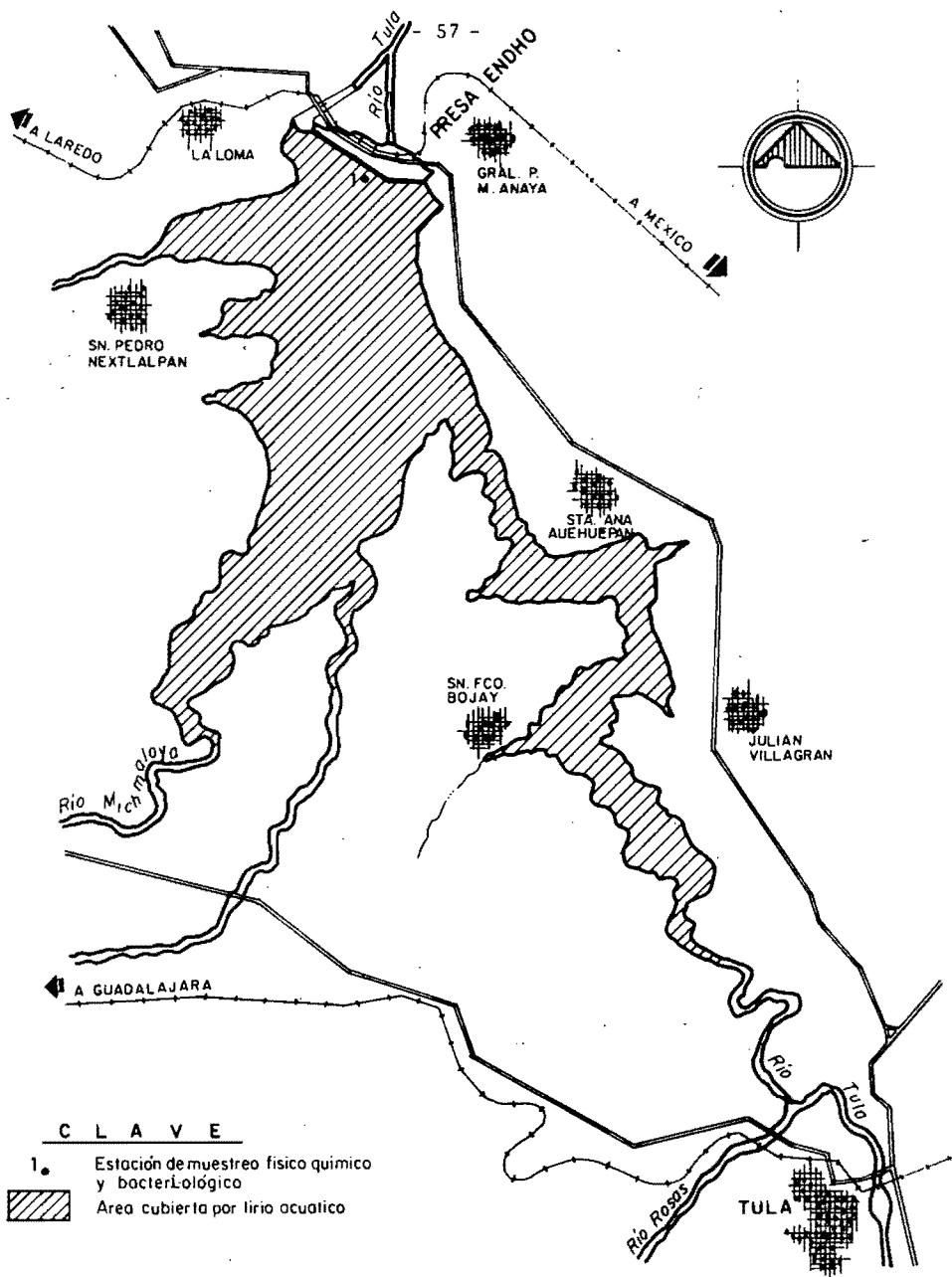
de clima subhúmedo, con una humedad deficiente en todas las estaciones y una precipitación media anual de 478 mm H<sub>2</sub>O, observándose una evaporación de 1,823.8 mm H<sub>2</sub>O. En el Apéndice se presenta la Tabla que muestra los valores climatológicos obtenidos durante el período de estudio.

### 3.1.2 SITIO Y PROGRAMA DE MUESTREO.

De acuerdo al estudio realizado por CIECCA, SARH (19), sobre el crecimiento del lirio acuático en la presa Endhó en 1976, se pudo observar que los datos obtenidos para diferentes sitios de muestreo no presentaban una variación significativa.

Por lo anterior y después de haber efectuado un reconocimiento terrestre y lacustre en la zona de estudio, con el objeto de determinar las características del embalse, se decidió colocar una sola estación de muestreo. Esta fue instalada en la margen derecha de la cortina de la presa, ya que de esta manera se tendría facilidad de acceso al cerco y a las plantas confinadas en él, para dar el mantenimiento necesario y tener facilidad para el muestreo de plantas y calidad de agua (ver Figura 3.2).

Los muestreos fueron programados cada siete días, a partir de octubre de 1977 hasta septiembre de 1978, con la finalidad de tener un registro anual que permitiera contar con datos suficientes para el ob



**FIGURA 3.2**  
**LOCALIZACION DE LA ESTACION DE MUESTREO EN LA PRESA ENDHO, HGO.**  
**( CASTILLO H., 1979 )**

jetivo de este estudio.

### 3.2 MATERIALES Y METODO EXPERIMENTAL.

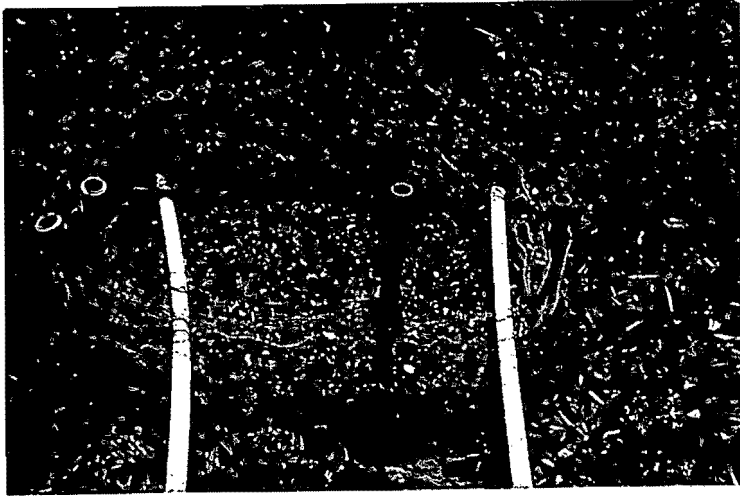
En esta sección se describe el material y equipo de muestreo, el muestreo de cada factor ambiental, así como los métodos y aparatos con que se midieron éstos factores.

#### 3.2.1 MATERIAL Y EQUIPO DE MUESTREO.

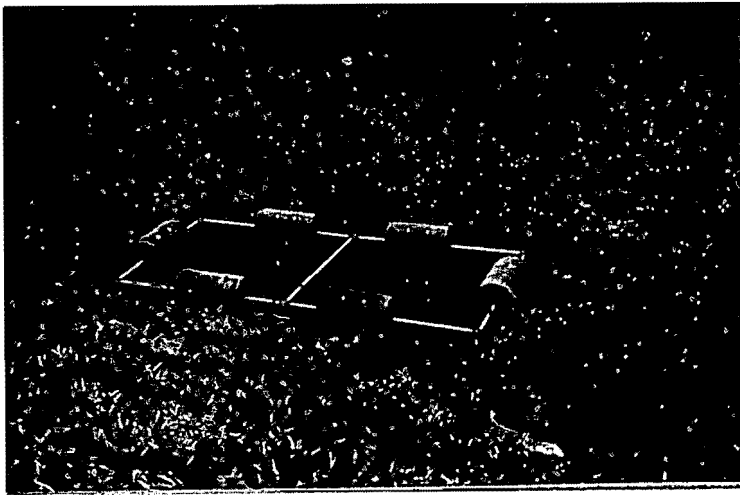
El estudio se inició utilizando un cerco circular de aproximadamente 2 m de diámetro (Figura 3.3a). Su estructura consistió de 6 tubos verticales de 1.50 m de longitud de cloruro de polivinilo (PVC), que sostienen la malla de acero para confinar las plantas.

Conforme se fue avanzando en el estudio, dicho cerco resultó insuficiente para el número de plantas que se fueron generando, ya que un confinamiento reducido de las plantas ocasiona alteraciones en el comportamiento en cuanto a la velocidad de crecimiento de la planta. Por lo que se construyó un cerco flótante de 2 m de ancho por 5 m de largo, utilizando para ello aproximadamente 22 m de tubo galvanizado de 1 1/2 pulgadas de diámetro, 20 m de alambre para gallinero, 6 - tambos de 200 l cada uno, dispuestos uno en cada ancho del cerco y dos en cada largo del mismo y soleras de metal para darle rigidez al alambre de gallinero y evitar que las plantas en estudio se escaparan. La Figura 3.3b, muestra este cerco instalado en el sitio de muestreo.





(a)



(b)

FIG. 3.3: (a) - PRIMER CERCO INSTALADO PARA EL ESTUDIO DEL LIRIO ACUATICO.

(b) - INSTALACION DEL SEGUNDO CERCO PARA EL ESTUDIO DEL LIRIO ACUATICO.  
(CASTILLO H., 1978)

Otros materiales que se emplearon en el muestreo de campo fueron los siguientes:

- . Balanza de reloj Detecto, con precisión  $\pm$  10 gramos, utilizada para determinar la biomasa (peso en gramos) de las plantas.
- . Termómetro de cristal, Celsius de 10-200° C, con una precisión de 1°C, para medir la temperatura del aire y del agua.

### 3.2.2 MUESTREO.

Al inicio del presente estudio, basándose en el antecedente del estudio del lirio acuático realizado por CIECCA en 1976 (19), se estimó conveniente llevarlo a cabo durante las cuatro estaciones del año, desde el 23 de septiembre de 1977 al 22 de septiembre de 1978.

Al inicio de cada estación se introduce una planta, la cual se somete a ciertas mediciones hasta el final de la estación. Cabe aclarar que si al final de la estación en estudio no se alcanza observar el valor de saturación, se sigue con la siguiente estación con planta nueva.

La planta que se introduce en el cerco al inicio de cada estación no es necesario que tenga igual peso a la introducida al inicio de otra estación. Sin embargo, para el análisis estadístico de factores, sí es conveniente por facilidad en el manejo de datos.

Se hizo necesaria la elaboración de formas de registro para el mues-

treo de la planta, en la cual aparecen las características físicas de la planta, así como la identificación y condiciones que prevalecieron en el sitio de muestreo (Tabla 3.1).

### 3.2.2.1 MUESTREO DE LAS PLANTAS.

De las características propias de las plantas, las más importantes son: a) peso húmedo de la planta en gramos y b) número de plantas.

Sin embargo, las plantas en estudio fueron sometidas a las siguientes determinaciones, previo etiquetado, con la finalidad de que al concluir el estudio se tuvieran más datos para comparar el comportamiento del lirio acuático con otras malezas en diversos cuerpos de agua, éstas fueron:

- . Diámetro mayor (cm),
- . Diámetro menor (cm),
- . Longitud parte expuesta (cm),
- . Longitud de raíz (cm),
- . Longitud total (cm),
- . Número de hojas,
- . Estolones desprendidos de cada planta.

Peso. El peso de la planta, en gramos, se obtuvo dejando escurrir a la planta por un lapso de 5 minutos para posteriormente, -----

TABLA 3.1 -- REGISTRO DE CAMPO PARA EL MUESTREO DEL LIRIO ACUATICO

SARH	SUBSECRETARIA DE PLANEACION DIRECCION GENERAL DE PROTECCION Y ORDENACION ECOLOGICA SUBDIRECCION DE AREA DE INVESTIGACION Y ENTRENAMIENTO DEPARTAMENTO DE CONTROL Y APROVECHAMIENTO DE MALEZAS ACUATICAS																			
LOCALIDAD: _____	PERIODO: _____	TEMPERATURA AMBIENTE: _____ °C																		
FECHA DE MUESTREO: _____	DE: _____	TEMPERATURA AGUA: _____ °C																		
MUESTREO NUM _____	A: _____	NUBOSIDAD: _____																		
HORA: _____	SEMANA DEL PERIODO: _____	MUESTREADOR: _____																		
CERCO: _____	AÑO _____																			
PLANTA    NUMERO																				
Diámetro mayor    (cm)																				
Diámetro menor    (cm)																				
Longitud parte expuesta    (cm)																				
Longitud de raíz    (cm)																				
Longitud total    (cm)																				
Num de hojas																				
Estolones desprendidos																				
Peso    (g)																				
OBSERVACIONES: _____																				
_____																				
_____																				
_____																				

pesarla en una balanza Detecto de 0-10 Kg, con precisión de  $\pm$  10 gramos.

Número de plantas. En cada muestreo se determinaba el número de plantas, para lo cual se empleó el método de recuento numérico acumulado, de todas las plantas etiquetadas y las que -- aparecían nuevamente.

Medición de diámetros. Esta medida se obtuvo con el método de medición por medio de una cinta métrica de 0-200 cm y con -- precisión de  $\pm$  0.1 cm, de tal forma que los extremos más separados entre dos hojas correspondían al diámetro mayor y los más cercanos al menor; en caso de tener una planta únicamente dos hojas, la distancia entre éstas corresponde al diámetro mayor y el ancho de la hoja corresponderá al diámetro menor. Esta medición se realizó con el objeto de conocer el área foliar ex-- puesta.

Longitud de la parte expuesta. Se obtuvo con el mismo método -- de medición anterior y el mismo instrumento de medida; corresponde a la distancia vertical que comprende la parte verde de la planta; se tomó del extremo más desarrollado de la planta -- hasta el inicio de la raíz.

Longitud de la raíz. Se obtuvo con el mismo método e instru-- mento anteriormente citado; es la distancia vertical que corres

ponde a la parte sumergida de la planta; se tomó del extremo inferior de la parte verde de la planta hasta el extremo de la raíz más lejana.

Longitud total. Corresponde a la suma de las longitudes de la parte expuesta y de la raíz. Se obtuvo por el mismo método e instrumento de medición de los anteriores.

Número de hojas. Se obtuvo por el método de recuento numérico para cada planta etiquetada. Cuando en una planta se presentó una o varias hojas dañadas debido al exceso de descargas contaminantes en la presa, no se tomaron en cuenta.

Estolones desprendidos. Se usó el criterio de que en el momento en que una planta genera un hijo, lo cual se observa fácilmente pues éste presenta una raíz muy pequeña, de inmediato se etiquetó como proveniente de esa planta madre.

La figura 6.2, ilustra los criterios seguidos para la medición de las características propias de las plantas.

Etiquetado de plantas. A medida que iban apareciendo nuevas plantas, éstas se etiquetaban con la indicación por nomenclatura de donde provenían. Por ejemplo, la primera planta se llamó A, a su primera hija  $A_1$ , a una hija de  $A_1$ , se le llamó  $A_1a$ , a una hija de  $A_1a$ , se le llamó  $A_1a_1$ ; a otra hija de la planta A

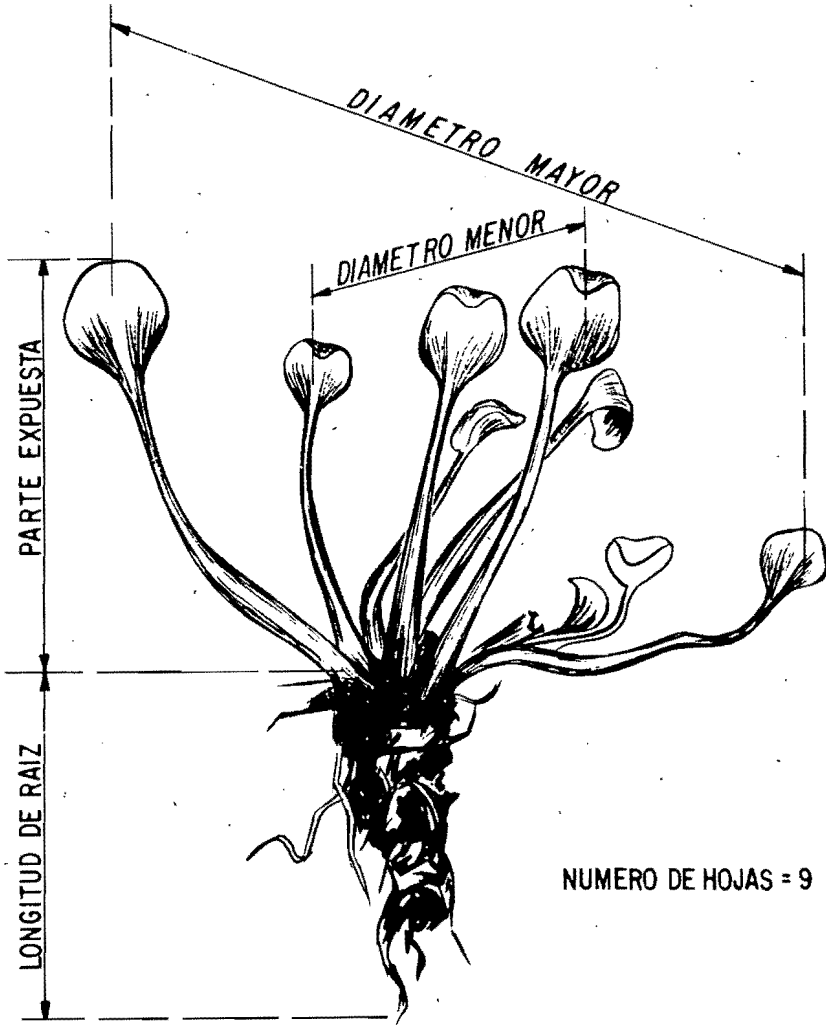


FIGURA 3.4 MEDICION DE LA PLANTA  
( CASTILLO H., 1979 )

se le llamó  $A_2$  y a una hija de ésta,  $A_{2a}$ , y así sucesivamente. La etiqueta más conveniente, después de hacer muchas pruebas, fue la elaborada con papel estaño y se utilizó hilo plástico para adherirla a la planta. Una vez etiquetadas las plantas que iban apareciendo, eran sometidas a las mediciones anteriormente mencionadas. El hecho de ir etiquetando cada planta nueva, se debió a que se quiso determinar el crecimiento del lirio en función del número de individuos y así tener un registro de éstos y su orden de aparición. La Figura 3.5, ilustra el etiquetado de la planta.

### 3.2.2.2 FACTORES CLIMATOLÓGICOS DEL SISTEMA.

Los factores climatológicos que se consideraron más importantes fueron:

- La temperatura del aire. Se determinó con un termómetro de -----  
0-200 °C, Celsius, con una precisión de 1°C, manteniendo dicho termómetro en posición vertical, durante 5 minutos en la zona de estudio.
- La luminosidad en h/mes se obtuvo del Atlas del Agua de la República Mexicana para Ixmiquilpan-Hidalgo, basándose en los datos existentes hasta 1974, se proyectaron para el período de estudio y posteriormente se obtuvo la luminosidad media para cada estación del año.



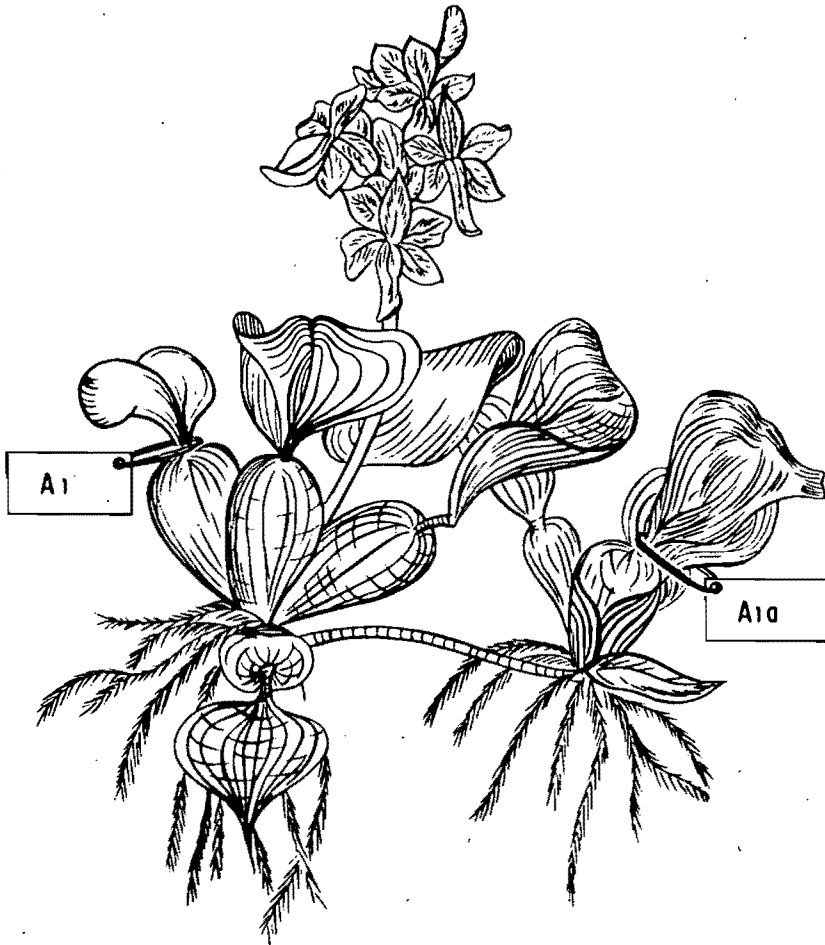


FIGURA 35 FORMA DE ETIQUETAR LA PLANTA  
( CASTILLO H., 1979 ).

- Evaporación. Estos valores se obtuvieron de la estación Meteorológica que tiene la SARH en la presa Endhó, para el período de estudio. Luego se obtuvo la evaporación media estacional en mm H<sub>2</sub>O. Se emplea para su determinación un evaporímetro.
- Precipitación. Estos datos se obtuvieron de la estación Meteorológica que tiene la SARH en la presa Endhó, para el período de estudio. Luego se obtuvo la precipitación media estacional en (mm H<sub>2</sub>O). Se mide utilizando un pluviómetro.

### 3.2.2.3 MEDICION DEL FACTOR AMBIENTAL AGUA.

Al inicio del presente estudio se determinó un muestreo semanal, para la caracterización del agua en el sistema; pero conforme se fue desarrollando el estudio se observó que algunas características permanecían constantes, por lo cual se decidió efectuar los muestreos cada 15 días.

Las muestras de agua se analizaron para determinar tres tipos de características de calidad: físicos, bacteriológicos y químicos.

Las muestras fueron preservadas y enviadas al laboratorio de ----- CIECCA con su correspondiente Registro de Campo. La Tabla -- 3.2 muestra el Registro de Campo utilizado para la identificación de las muestras tomadas.

SARH

**SUBSECRETARIA DE PLANEACION**  
DIRECCION GENERAL DE PROTECCION Y ORDENACION ECOLOGICA  
SUBDIRECCION DE INVESTIGACION Y ENTRENAMIENTO  
DEPARTAMENTO DE CONTROL Y APROVECHAMIENTO DE MALEZAS ACUATICAS

**TABLA 3.2 REGISTRO DE CAMPO EMPLEADO EN EL ESTUDIO**

ESTUDIO : \_\_\_\_\_ CUERPO RECEPTOR : \_\_\_\_\_ MUESTREADORES : \_\_\_\_\_

FECHA DE MUESTREO : \_\_\_\_\_ FECHA DE ENTREGA PARA ANALISIS : \_\_\_\_\_

NUM.	ESTACION DE MUESTREO DESCRIPCION	HORA	GASTO	TEMP. °C		pH	O. D.		NUM. DE BOTELLA ANALISIS FISICO QUIMICOS	PROFUNDIDAD MUESTRA ANALISIS FISICOQUIMICOS ( m )	NUM. DE BOTELLA ANALISIS ACEITES Y GRASAS	NUM. DE BOTELLA ANALISIS BACTERIOLOGICOS	CIELO	OLOR		BURBUJAS		COLOH DEL AGUA
				AMB.	AGUA		DE BOTELLA	mg/l						SI	NO	SI	NO	

OBSERVACIONES Y PARAMETROS A DETERMINAR: \_\_\_\_\_

ENTREGO : \_\_\_\_\_ RECIBIO : \_\_\_\_\_

- 69 -

Las muestras en el laboratorio fueron procesadas para determinar los parámetros que aparecen en las Tablas 3.3, 3.4 y 3.5. Los métodos analíticos utilizados son los recomendados por los Métodos Estándar para el Análisis de Aguas y Aguas de Desecho, 14a. Edición, 1975 (26).

FACTORES FISICOS	METODO	APARATO	PRECISION
Temperatura del agua ° C	-----	Termómetro, Celsius (0-200 ° C)	1 ° C
Sólidos Sedimentables ml/l	-----	Conos Imhoff	.1 ml/l
Otros tipos de Sólidos mg/l	Gravimétrico	Balanza Sartorius	1g-0.1mg
Color Pt-Có	Hellige	Comparador Hellige	0-50 Pt-Co
Turbiedad U.J.	Turbilimétrico	Jackson	-----
Conductividad	-----	Conductímetro	0.2-25 microhoms/cm

TABLA 3.3: FACTORES FISICOS  
(CASTILLO H., 1978)

FACTORES BACTERIOLOGICOS	TECNICA	MEDIO
Coliformes totales	NMP/100 ml Tubos múltiples.	Caldo lactosado y bilis verde brillante .
Coliformes fecales	NMP/100 ml Tubos múltiples.	Caldo lactosado y E.C.
Estreptococos fecales	NMP/100 ml Tubos múltiples.	azida glucosa y azida violeta de etilo.

TABLA 3.4: FACTORES BACTERIOLOGICOS  
(CASTILLO H. 1978).

FACTORES QUIMICOS	METODO	APARATO	PRECISION
Grasas y aceites mg/l	Extracción Soxhlet	Balanza	1g-0.1mg
Arsénico mg/l	Colorimétrico	Spectronic 20	340-600 mμ
Cloruros mg/l	Argentométrico	Bureta	0.1 ml
Acidez total mg CaCO <sub>3</sub> /l	Volumétrico	Bureta	0.1 ml
O.D. mg/l	Yodométrico	Bureta	0.1 ml
D <sub>2</sub> B <sub>2</sub> O <sub>4</sub> mg/l	yodométrico	Bureta	0.1 ml
D <sub>2</sub> Q <sub>2</sub> O <sub>4</sub> mg/l	Volumétrico	Bureta	0.1 ml
pH	Potenciométrico	Potenciómetro	0.1-0.2
Nitratos mg/l	Colorimétrico	Spectronic 20	340-600 mμ
Nitritos mg/l	Colorimétrico	Spectronic 20	340-600 mμ
Detergentes S.A.A.M. mg/l	Colorimétrico	Spectronic 20	340-600 mμ
Dureza total mg CaCO <sub>3</sub> /l	Volumétrico	Bureta	0.1 ml
Dureza de Ca <sup>++</sup> mg CaCO <sub>3</sub> /l	Volumétrico	Bureta	0.1 ml
Dureza de Mg <sup>++</sup> mg CaCO <sub>3</sub> /l	Volumétrico	Bureta	0.1 ml
Alcalinidad total mg/l	Volumétrico	Bureta	0.1 ml
Fenoles mg/l	Colorimétrico	Spectronic 20	340-600 mμ
Aluminio mg/l	Espectrofotométrico	Espectrofotómetro	0.9 μg/ml
Plomo mg/l	Espectrofotométrico	Espectrofotómetro	0.5 μg/ml
Mercurio mg/l	Espectrofotométrico	Espectrofotómetro	10 μg/ml

Continuación.

FACTORES QUIMICOS	METODO	APARATO	PRECISION
Fósforo total mg/l	Colorimétrico	Spectronic 20	340-600 mμ
Ortofosfatos mg/l	Colorimétrico	Spectronic 20	340-600 mμ
Potasio mg/l	Espectrofotométrico	Espectrofotómetro	0.02 μg/ml
Calcio mg/l	Espectrofotométrico	Espectrofotómetro	0.07 μg/ml
Magnesio mg/l	Espectrofotométrico	Espectrofotómetro	0.007 μg/ml
Nitrógeno amoniacal mg/l	Volumétrico	Bureta	0.1 ml
Nitrógeno orgánico mg/l	Volumétrico	Bureta	0.1 ml
Sulfatos mg/l	Turbidimétrico	Spectronic 20	340-600 mμ
Sodio mg/l	Espectrofotométrico	Espectrofotómetro	0.015 μg/ml
Fierro mg/l	Espectrofotométrico	Espectrofotómetro	0.1 μg/ml
Manganeso mg/l	Espectrofotométrico	Espectrofotómetro	0.05 μg/ml
Cobre mg/l	Espectrofotométrico	Espectrofotómetro	0.10 μg/ml
Zinc mg/l	Espectrofotométrico	Espectrofotómetro	0.015 μg/ml
Cobalto mg/l	Espectrofotométrico	Espectrofotómetro	0.15 μg/ml
Boro mg/l	Potenciométrico	Potenciómetro	0.1-0.2
Molibdeno mg/l	Espectrofotométrico	Espectrofotómetro	0.6 μg/ml

TABLA 3.5: FACTORES QUIMICOS  
(CASTILLO H., 1978)

La determinación de todos estos parámetros sirve para conocer la situación de la presa en cuanto a los factores ambientales, para posteriormente emplear los que tienen más importancia en la generación, desarrollo y muerte del lirio acuático.

Los datos obtenidos experimentalmente de todos estos parámetros, se presentan en el Apéndice.

Con el objeto de tener una idea acerca de la composición del lirio acuático, se efectuó un muestreo de una planta de lirio, la cual fue almacenada en un recipiente de plástico con agua del medio y enviada al laboratorio del CIECCA para su análisis. Los resultados se muestran en el Apéndice.

#### 4. RESULTADOS EXPERIMENTALES.

El presente capítulo se enfoca a realizar una interpretación del comportamiento de los parámetros sometidos a medición en la zona de estudio.

##### 4.1 FACTORES FÍSICOS.

Los sólidos en todas sus formas (ml/l y mg/l); color (Pt-Co); turbiedad (ppm SiO<sub>2</sub> o U.J.) y conductividad (microhmios/cm), presentan una variación mínima entre las diferentes estaciones y respecto al ciclo anual total, por lo que se considera un comportamiento prácticamente constante a través de las cuatro estaciones para efectos de este estudio (ver Apéndice). En tanto que la temperatura del agua en el otoño, varió entre 12 y 22°C, con media de 17.30°C; para el invierno varió entre 14 y 21.5°C, con media de 15.68°C; para la primavera varió entre 18 y 26.5°C, con media de 21.05°C; para el verano varió entre 14 y 25.5°C, con media de 21.38°C y para el ciclo anual total, varió entre 12 y 26.5°C, con media de 18.94°C. Observándose que hay una variación significativa en las cuatro estaciones del año y -- que la mayor variación se presentó en el verano.

##### 4.2 FACTORES BACTERIOLÓGICOS.

Los coliformes fecales, totales y estreptococos fecales (NMP/100 ml), presentan una variación insignificante entre las diferentes estaciones y respecto al ciclo anual total, por lo que se considera un comporta-



miento prácticamente constante a través de las cuatro estaciones para efectos de este estudio (ver Apéndice).

#### 4.3 FACTORES CLIMATOLÓGICOS.

La temperatura del ambiente en el otoño varió entre 17 y 25°C, con media de 20.05°C; para el invierno varió entre 13 y 28°C, con media de 20.9 °C; para la primavera, varió entre 24 y 30 °C, con media de 25.73°C; para el verano varió entre 16 y 32°C, con media de 24.75°C y para el ciclo anual total, varió entre 13 y 32°C, con media de ---- 22.96°C. Observándose que hay una variación significativa en las cuatro estaciones del año y la mayor variación se presentó en la primavera. En tanto que, para la luminosidad en el otoño su media es de 118.5 h/mes; para la precipitación 17.88 mm H<sub>2</sub>O y para la evaporación 128.4 mm H<sub>2</sub>O. En el invierno, la luminosidad tiene una media de 197 h/mes; para la precipitación 0.75 mm H<sub>2</sub>O y para la evaporación 6.7 mm H<sub>2</sub>O. En el verano, la luminosidad tiene una media de 172.25 h/mes; la precipitación de 7.15 mm H<sub>2</sub>O y la evaporación de 44.6 mm H<sub>2</sub>O. Para el ciclo anual total, la luminosidad tiene una media de 186.94 h/mes; la precipitación de 6.66 mm H<sub>2</sub>O y la evaporación de 50.72 mm H<sub>2</sub>O. Observándose una variación significativa de estos factores a través de las cuatro estaciones, siendo mayor la variación para la evaporación y precipitación en el otoño y para la luminosidad en la primavera. La acción de la precipitación, evaporación y evapotranspiración se considera representada en la medición

de otros factores, como es el caso de los nutrientes.

#### 4.4 FACTORES QUIMICOS.

El pH; grasas y aceites (mg/l); arsénico (mg/l); boro (mg/l); cloruros (mg/l); acidez total (mg/l); oxígeno disuelto (mg/l); detergentes ---- (S.A.A.M. mg/l); al calinidad total (mg/l); a aluminio (mg/l); sodio --- (mg/l); mercurio (mg/l); molibdeno (mg/l); manganeso (mg/l); cobre -- (mg/l); zinc (mg/l); cobalto (mg/l) y plomo (mg/l), presentan una variación mínima entre las diferentes estaciones y respecto al ciclo --- anual total, por lo que se considera un comportamiento prácticamente constante a través de las cuatro estaciones para efectos de este estudio (ver Apéndice).

En tanto que la DBO, DQO y la dureza en todas sus formas, si presentan variación un tanto significativa, lo cual se justifica por las descargas domésticas, agrícolas e industriales que existen en la presa Endhó, pero esta variación se considera representada en la medición de los otros factores, como es el caso de los nutrientes.

El nitrógeno amoniacal varió para el otoño entre 1.3 y 5.54 mg/l, con media de 3.70 mg/l; el orgánico varió entre 0.55 y 6.39 mg/l, con media de 3.25 mg/l; los nitritos variaron entre 0.009 y 0.038 mg/l, con media de 0.013 mg/l y los nitratos variaron entre 0.090 y 0.170 mg/l, con media de 0.130 mg/l. En el verano, el nitrógeno amoniacal varió entre 0.050 y 6.83 mg/l, con media de 2.76 mg/l; el orgá-

nico varió entre 0.33 y 6 mg/l, con media de 2.12 mg/l; los nitritos variaron entre 0.009 y 0.150 mg/l, con media de 0.051 mg/l y los nitratos variaron entre 0.010 y 0.6 mg/l, con media de 0.173 mg/l. En la primavera, el nitrógeno amoniacal varió entre 3.11 y 12.44 mg/l, con media de 7.24 mg/l; el orgánico varió entre 3.090 y 12.92 mg/l, con media de 8.58 mg/l; los nitritos variaron entre 0.002 y 0.490 mg/l, con media de 0.155 mg/l y los nitratos variaron entre 0.060 y 0.560 mg/l, con media de 0.239 mg/l. En el verano, el nitrógeno amoniacal, varió entre 2.25 y 12.44 mg/l, con media de 6.72 mg/l; el orgánico varió entre 0.050 y 15.93 mg/l, con media de 5.85 mg/l; los nitritos variaron entre 0.0150 y 0.650 mg/l, con media de 0.34 mg/l y los nitratos variaron entre 0.02 y 1.86 mg/l, con media de 0.390 mg/l. Para el ciclo anual total, el nitrógeno amoniacal varió entre 0.05 y 12.44 mg/l, con media de 5.173 mg/l; para el orgánico varió entre 0.05 y 15.93 mg/l, con media de 5.01 mg/l; los nitritos variaron entre 0.002 y 0.65 mg/l, con media de 0.148 mg/l y los nitratos variaron entre 0.010 y 1.86 mg/l, con media de 0.24 mg/l. Por tanto, se observa que el nitrógeno en todas sus formas presenta variación significativa en todas las estaciones del año, siendo mayor su variación en la primavera.

Los sulfatos en el otoño variaron entre 40 y 150 mg/l, con media de 103.1 mg/l; en el invierno variaron entre 18 y 123 mg/l, con media de 92.27 mg/l; en la primavera variaron entre 64 y 560 mg/l, con me-

dia de 234.73 mg/l; en el verano variaron entre 60 y 626 mg/l, con media de 230.58 mg/l y para el ciclo anual total, variaron entre 18 y 626 mg/l, con media de 168.08 mg/l. Observándose una variación significativa en todas las estaciones del año, siendo mayor su variación en la primavera.

El fósforo total en el otoño varió entre 1.65 y 4 mg/l, con media de 2.52 mg/l y los ortofosfatos variaron entre 1 y 2.3 mg/l, con media de 1.68 mg/l. En el invierno el fósforo total varió entre 1.18 y 3.70 mg/l, con media de 2.30 mg/l y los ortofosfatos variaron entre 1.25 y 3.50 mg/l, con media de 1.93 mg/l. En la primavera el fósforo total varió entre 1.01 y 4.80 mg/l, con media de 2.79 mg/l y los ortofosfatos variaron entre 0.5 y 9.5 mg/l, con media de 2.33 mg/l. En el verano el fósforo total varió entre 0.01 y 7.40 mg/l, con media de 3.45 mg/l y los ortofosfatos variaron entre 0.01 y 3.5 mg/l, con media de 2.40 mg/l. Para el ciclo anual total, el fósforo total varió entre 0.01 y 7.40 mg/l, con media de 2.79 mg/l y los ortofosfatos variaron entre 0.01 y 9.50 mg/l, con media de 2.099 mg/l. Observándose para ambos una variación significativa en todas las estaciones del año, siendo mayor la variación en el verano para los dos.

En el otoño, el fierro varió entre 0.1 y 1.0 mg/l, con media de 0.267 mg/l; el potasio varió entre 6.5 y 20 mg/l, con media de 16.41 mg/l; el magnesio varió entre 17 y 19.30 mg/l, con media de 17.62 mg/l y el calcio varió entre 43.30 y 60.0 mg/l, con media de 48.68 mg/l.

En el invierno, el fierro varió entre 0.1 y 0.5 mg/l, con media de --

0.24 mg/l; el potasio varió entre 15.5 y 20.5 mg/l, con media de 18.373 mg/l; el magnesio varió entre 17.0 y 21.0 mg/l, con media de 18.836 mg/l y el calcio varió entre 42 y 53 mg/l, con media de 47.845 mg/l. En la prima vera, el fierro varió entre 0.15 y 1.69 mg/l, con media de 0.643 mg/l; el potasio varió entre 18.30 y 25.00 mg/l, con media de 21.182 mg/l; el magnesio varió entre 15.10 y 24.0 mg/l, con media de 18.918 mg/l y el calcio varió entre 43.5 y 63.0 mg/l, con media de 54.727 mg/l. En el verano, el fierro varió entre 0.1 y 3.8 mg/l, con media de 0.787 mg/l; el potasio varió entre 9.4 y 28 mg/l, con media de 19.025 mg/l; el magnesio varió entre 0.5 y 21 mg/l, con media de 15.692 mg/l y el calcio varió entre 24 y 54 mg/l, con media de 43.192 mg/l. Para el ciclo anual total, el fierro varió entre 0.1 y 3.8 mg/l, con media de 0.496 mg/l; el potasio varió entre 6.5 y 28 mg/l, con media de 18.807 mg/l; el magnesio varió entre 0.5 y 24 mg/l, con media de 17.723 mg/l y el calcio varió entre 24 y 63 mg/l, con media de 48.486 mg/l. Observándose una variación significativa en todas las estaciones del año, siendo mayor la variación en la primavera para el potasio, magnesio y calcio y en el verano para el fierro.

Para el otoño, se inició el estudio con 1,225 g, para la primavera con 1,100 g, para el verano con 500 g y para el invierno con 600 g. El peso inicial de la planta es un parámetro a través del cual se estudian los demás factores. Por la facilidad para el manejo de valores



DEPTO.

en el análisis estadístico es preferible que sea igual para las diferentes estaciones.

Para la estación del otoño, para una sola planta, varió el número de plantas entre 1 y 22, con media de 10; para el invierno varió entre 22 y 162, con media de 84; para la primavera varió entre 7 y 600, con media de 234; para el verano varió entre 9 y 2,756, con media de 687.75. De lo que se deduce que se observa un crecimiento del lirio más intenso en el verano, lo cual se debe a un efecto más notorio de los factores que influyen sobre el crecimiento de esta planta, sobre todo de los nutrientes: nitrógeno, fierro, magnesio, calcio, potasio, fósforo y azufre que presentan gran variación y de factores climatológicos como temperatura y luminosidad.

Para el ciclo anual total, presenta una variación entre 1 y 2,756 plantas, con una media de 269.545 plantas.

Para el otoño, la biomasa (diferencia de peso) de la planta varió entre 0 y 250 g, con media de 152.5 g; para el invierno varió entre 0 y 1,800 g, con media de 384.091 g; para la primavera varió entre 0 y 5,400 g, con media de 1,490.909 g; para el verano varió entre 0 y 36,150 g, con media de 9,577 g. Observándose un mayor crecimiento en el verano, lo cual se debe a que en esta estación, los factores que benefician el crecimiento de la planta, tuvieron mayor efecto.

Para el ciclo anual total, presenta una variación entre 0 y 36,150 g

con media de 3,115.34 g.

Los datos básicos sobre los cuales se ha llevado a cabo la interpretación anterior, se muestran en el Apéndice.

Por tanto, se deduce de manera preliminar que los factores que influyen en el crecimiento del lirio acuático son de dos tipos:

- . Climatológicos, como temperatura, luminosidad, precipitación y evaporación.
- . Nutrientes, como: nitrógeno, fósforo, magnesio, calcio, potasio y azufre.

La mayor variación de estos factores se presentó en las estaciones de primavera y verano, ocasionando un crecimiento más intenso del lirio acuático en esas épocas, en tanto que en el invierno y en el otoño el crecimiento es más lento, lo que se justifica por la menor variación de estos factores. Estos comportamientos se presentan en forma gráfica en el capítulo 5, en las Figuras 5.1 a 5.8.

## 5 EVALUACION Y DISCUSION DE RESULTADOS.

Este capítulo se inicia con un análisis de sensibilidad por computadora de los factores ambientales estudiados para cada estación del año, con la finalidad de seleccionar las variables que más influyen en el crecimiento del lirio, se explica el criterio de selección de unas variables y el rechazo de otras. Luego, en base al esquema del sistema-lirio acuático - medio ambiente y gráficas que presentan el comportamiento de las variables seleccionadas se comienza a hacer balances en los subsistemas hasta llegar a la obtención de un modelo de crecimiento del lirio acuático. Posteriormente, se hace una breve discusión de las ventajas y desventajas que presenta el modelo, así como una pauta para su calibración y validación.

### 5.1 ANALISIS DE FACTORES Y SELECCION.

Para llevar a cabo la selección de los factores, se investigó la existencia de algún programa de computadora del Centro de Servicios de Cómputo de la U.N.A.M. y se encontró, en el paquete de Matemáticas y Estadística del Sistema IMSL, el programa (PT 80) SPSS6 ON IIMAS, distribuido para la Burroughs B6700 por el "Social Science Data Service" University of California, Davis. El cual hace un análisis estadístico completo de cada factor: media, moda, kurtosis, mínimo, error estándar, desviación estándar, sesgo, máximo, mediana, variancia y rango. El listado general de este pro-



grama con todos los datos y resultados, se encuentra en el Departamento de Control y Aprovechamiento de Malezas Acuáticas del ---- CIECCA, SARH.

Para efectos de este estudio, se analizó estadísticamente cada uno de los factores para el ciclo anual que comprende un total de 44 muestreos y para cada una de las estaciones, siendo el estadístico más importante, la media y la desviación estándar. Estos datos se presentan en la Tabla 5.1 .

Seguidamente se presenta una breve discusión en base a la Tabla 5.1, acerca de la selección de los factores y en base a los datos presentados en el Apéndice.

Número de plantas. Es una variable propia del sistema; al observar la Tabla 5.1, se nota una variación grande de la media para cada estación y con respecto a la media del ciclo anual, además de acuerdo a la literatura (22), es importante desde el punto de vista ecológico puesto que por medio de ésta se estudian los demás factores, por lo tanto se selecciona como variable importante en el estudio.

Biomasa de la planta (g). Es otra variable propia del sistema, observando la Tabla 5.1, se nota una gran variación entre la media de las diferentes estaciones y con respecto a la media del ciclo anual total, además, fisiológicamente (22) es importante, puesto que también por medio de ella se estudian los demás factores, por lo que se selecciona para el estudio de los demás factores.

Temperatura del agua y del ambiente (°C). La primera es un factor físico del agua y la segunda es un factor climatológico, ambas de gran importancia ecológica (22) por su relación con otros factores y observando la Tabla 5.1, se nota variación entre las medias de cada estación y con respecto a la media del ciclo anual total, por lo tanto ambas se seleccionan como importantes en el crecimiento del lirio acuático.

pH. Es un factor físico-químico, tiene importancia ecológica por su relación con el  $\text{CO}_2$ , pero observando la Tabla 5.1, no presenta gran variación de la media entre estaciones y con respecto a la media del ciclo anual total, por lo tanto se elimina como factor importante en el crecimiento del lirio acuático, ya que se puede observar que no varió mucho en las Tablas presentadas en el Apéndice de este estudio.

Grasas y aceites (mg/l). Es un factor físico del agua, a pesar de presentar variación de la media, según la Tabla 5.1 para dos estaciones y para las otras dos no, lo cual se debe a datos de gran magnitud por descargas especiales en esos días (ver Tablas en Apéndice); no presentan estas medidas gran variación con respecto a la media del ciclo anual total, por lo tanto se elimina como factor importante en el crecimiento del lirio acuático.

Sólidos en todas sus formas (ml/l y mg/l). Son factores físicos del

agua, desde el punto de vista fisiológico no tienen importancia directa sobre el crecimiento de la planta, además, observando la Tabla 5.1, se puede ver que para los diferentes tipos de sólidos no se presenta una variación significativa entre el estadístico -- media de las estaciones y respecto a la media del ciclo anual total, por lo tanto se eliminan todos los sólidos en todas sus formas como factores importantes en el crecimiento del lirio acuático.

Sulfatos (mg/l). Desde el punto de vista fisiológico (22), este factor químico, clasificado como macronutriente por su contenido de azufre (S) es de gran importancia; observando la Tabla 5.1, se nota variación del estadístico media entre las diferentes estaciones y también respecto a la media del ciclo anual total, por lo tanto se selecciona como factor importante en el crecimiento del lirio acuático.

Fenoles (mg/l). Este factor químico del agua, desde el punto de vista fisiológico (22), no tiene importancia en el crecimiento de la planta, además, observando la Tabla 5.1, el estadístico media entre las diferentes estaciones no varía significativamente, ni con respecto a la media del ciclo anual total, por lo tanto se elimina como factor importante en el crecimiento del lirio acuático.

Color (Pt-Co). Es un factor físico del agua, de muy poca importancia fisiológica (22) para el crecimiento de la planta, además, observando

la Tabla 5.1, el estadístico media entre estaciones no presenta variación significativa, ni tampoco la media del ciclo anual total, por lo tanto se elimina como factor importante en el crecimiento del lirio acuático.

Arsénico (mg/l). Factor químico del agua, que desde el punto de vista fisiológico (22) no tiene importancia en el crecimiento de la planta, además, observando la Tabla 5.1, se nota que el estadístico media no presenta gran variación entre estaciones y hay una estación donde no hay dato, además, aunque sí presentan valores comparados con el estadístico media del ciclo anual total no se observa una variación significativa, por lo tanto se elimina como factor importante en el crecimiento del lirio acuático.

Boro (mg/l). Es un factor químico, micronutriente, de relativa importancia fisiológica (22) para el crecimiento de la planta; observando la Tabla 5.1, se nota una variación significativa del estadístico media entre las diferentes estaciones y con respecto a la media del ciclo anual total. Para la zona de estudio varió entre 0.1 y 0.93, lo que indica que esa agua está entre buena y excelente para riego. Aunque el lirio acuático es sensible a ese nivel, no presenta toxicidad, ya que lo que puede absorber es de 1 a 2 mg/l, (Uso Agrícola de las Aguas Negras, Pub. 9, 1970, Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México, SARH). Por lo tanto, se elimina como factor importante en el crecimiento del lirio acuático.

Cloruros (mg/l). Es un factor químico, micronutriente, de relativa importancia fisiológica (22) para el crecimiento, como cloro, a pesar de observarse en la Tabla 5.1 que existe una variación del estadístico media entre las diferentes estaciones y con respecto al mismo estadístico del ciclo anual total, no contribuye tanto al crecimiento de plantas como al de vertebrados, por lo tanto se elimina como factor importante en el crecimiento del lirio acuático.

Acidez total (mg/l). Es un factor químico del agua, que desde el punto de vista fisiológico (22), no tiene gran importancia para el crecimiento de la planta, además, observando la Tabla 5.1, se nota que no hay una variación significativa del estadístico media entre las diferentes estaciones y con respecto a la media del ciclo total, por tanto se elimina como factor importante en el crecimiento del lirio acuático.

O.D. (mg/l). Es un factor químico del agua, desde el punto de vista ecológico (22) tiene importancia indirecta sobre el crecimiento de la planta, siempre y cuando existan en el sistema consumidores (Fig. 2.2); en este caso observando la Tabla 5.1 se nota que no hay variación en el estadístico media entre las diferentes estaciones y respecto a la media del ciclo anual total, por lo tanto se elimina como factor importante en el crecimiento del lirio acuático.

D.B.O. (mg/l). Es un factor bioquímico del agua, desde el punto de vista ecológico (22) tiene importancia indirecta en el crecimiento de la planta, por su relación con la materia orgánica y contenido de nu-

trientes, además observando la Tabla 5.1, se nota una variación significativa del estadístico media entre las diferentes estaciones y con respecto a la media del ciclo anual total. Sin embargo, ya está considerada implícitamente en los demás factores medidos, - por lo tanto se elimina como factor directo en el crecimiento del li rio acuático.

D.Q.O. (mg/l). Es un factor químico del agua, desde el punto de vista ecológico (22), tiene importancia indirecta en el crecimiento de la planta, por su relación con el contenido de sustancias orgánicas e inorgánicas; además, observando la Tabla 5.1, se nota - que sí hay variación significativa del estadístico media entre las diferentes estaciones y respecto al estadístico media del ciclo - anual total, por lo tanto es un factor importante, pero ya está con siderado implícitamente en los demás factores medidos. Por lo - tanto, se elimina como factor importante directo en el crecimiento del lirio acuático.

Nitrógeno amoniacal, orgánico; nitratos y nitritos (mg/l). Factores químicos del agua, clasificados en general como macronutrientes por su contribución a la formación del ciclo del nitrógeno; desde el punto de vista fisiológico tienen una importancia sustancial en el crecimiento de la planta (22), además observando la Tabla 5.1, estos 4 factores presentan una variación significativa del estadístico media entre las diferentes estaciones y con respecto al estadísti

co media del ciclo anual total, por lo tanto se seleccionan como factores importantes directos al nitrógeno en el crecimiento del lirio acuático.

Fósforo total y ortofosfatos (mg/l). Factores químicos, clasificados como macronutrientes; desde el punto de vista fisiológico (22) tienen una importancia en el crecimiento de la planta, además observando la Tabla 5.1, se nota que sí presentan una variación significativa en el estadístico media para las diferentes estaciones y con respecto al estadístico media del ciclo anual total, por lo tanto se selecciona al fósforo como factor de sustancial importancia en el crecimiento del lirio acuático.

Detergentes (S.A.A.M. mg/l). Es un factor químico del agua, que desde el punto de vista fisiológico (22), no tiene gran importancia para el crecimiento de la planta, quizá un tanto indirecta, pero insignificante, además, observando la Tabla 5.1, se nota que no hay variación significativa entre el estadístico media para las diferentes estaciones y lo mismo respecto al estadístico media del ciclo anual total, por lo tanto se elimina como factor importante el crecimiento de lirio acuático.

Turbiedad (ppm SiO<sub>2</sub> o U. J.). Es un factor físico del agua, que desde el punto de vista fisiológico (22) no tiene importancia para el crecimiento de la planta; además observando la Tabla 5.1,

se nota que en general no hay variación significativa entre el estadístico media para las diferentes estaciones y lo mismo respecto al mismo estadístico del ciclo anual total, por lo tanto se elimina como factor importante en el crecimiento del lirio acuático.

Dureza total, Dureza en  $\text{Ca}^{++}$  y Dureza en  $\text{Mg}^{++}$  (mg  $\text{CaCO}_3$ /l).

Son factores químicos del agua, que desde el punto de vista fisiológico (22) no tienen importancia directa en el crecimiento de la planta, su importancia es relativa e indirecta para los iones  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$ , el primero macronutriente y el segundo micronutriente, de gran importancia en el desarrollo de la planta, pero en este estudio ya fueron considerados en la medición de otros factores. Desde otro punto de vista, observando la Tabla 5.1, estos factores de dureza, no presentan una variación significativa del estadístico media entre las diferentes estaciones y lo mismo respecto al estadístico media del ciclo anual total, por lo tanto se eliminan como factores directos importantes en el crecimiento del lirio acuático.

Alcalinidad total (mg/l). Factor químico del agua, desde el punto de vista fisiológico (22) no tiene importancia directa en el crecimiento de la planta, además, observando la Tabla 5.1, se nota que no hay variación significativa del estadístico media entre las diferentes estaciones y respecto al mismo estadístico del ciclo anual total, por tanto se elimina como factor de importancia en el



crecimiento del lirio acuático.

Conductividad (microhmios/cm). Factor fisicoquímico del agua, que desde el punto de vista fisiológico (22) no tiene importancia en el crecimiento de la planta, además observando la Tabla 5.1, se nota que no hay variación del estadístico media entre las diferentes estaciones y respecto al mismo estadístico del ciclo anual total, por lo tanto se elimina como factor de importancia en el crecimiento del lirio acuático.

Coliformes fecales, totales y Estreptococos fecales (NMP/100 ml).

Son factores bacteriológicos del agua, desde el punto de vista fisiológico (22) no tienen importancia en el crecimiento de la planta, además observando la Tabla 5.1, se nota que no hay variación significativa del estadístico media entre las diferentes estaciones y respecto al mismo estadístico del ciclo anual total, por lo tanto, se eliminan como factores de importancia en el crecimiento del lirio acuático.

Aluminio (mg/l). Es un factor químico del agua, desde el punto de vista fisiológico (22), no tiene importancia en el crecimiento de la planta, además observando la Tabla 5.1, se nota que no hay variación significativa del estadístico media entre las diferentes estaciones y respecto al mismo estadístico del ciclo anual total, por lo tanto, se elimina como factor de importancia en el crecimiento -

del lirio acuático.

Fierro (mg/l). Es un factor químico del agua, clasificado como ma cronutriente, que tiene una importancia fisiológica relevante (22) en el crecimiento de la planta, además, observando la Tabla 5.1, se nota que hay variación significativa del estadístico media entre las diferentes estaciones y respecto al mismo estadístico del ciclo anual total, por lo tanto se selecciona como factor importan te en el crecimiento del lirio acuático.

Potasio (mg/l). Es un factor químico del agua, clasificado como macronutriente, desde el punto de vista fisiológico (22), tiene una importancia relevante en el crecimiento de la planta, además observando la Tabla 5.1, se nota que sí hay variación significativa del estadístico media entre las diferentes estaciones y respecto al mismo estadístico del ciclo anual total, por lo tan to se selecciona como factor importante en el crecimiento del lirio acuático.

Sodio (mg/l). Es un factor químico del agua, clasificado como micronutriente, que desde el punto de vista fisiológico (22), con tribuye más al desarrollo de vertebrados que de plantas, además, observando la Tabla 5.1, se nota que no hay variación signifi ca tiva del estadístico media entre las diferentes estaciones y respecto al mismo estadístico del ciclo anual total, por lo tanto se

elimina como factor importante en el crecimiento del lirio acuático.

Magnesio (mg/l). Es un factor químico del agua, clasificado como macronutriente, desde el punto de vista fisiológico tiene una importancia sustancial para el crecimiento de la planta (22), además, observando la Tabla 5.1, se nota que hay variación significativa del estadístico media entre las diferentes estaciones y respecto al mismo estadístico del ciclo anual total, por lo tanto se selecciona como factor importante en el crecimiento del lirio acuático.

Calcio (mg/l). Es un factor químico del agua, clasificado como micronutriente, desde el punto de vista fisiológico (22), tiene una importancia relativa para el crecimiento de la planta, además, observando la Tabla 5.1, se nota cierta variación del estadístico media entre las diferentes estaciones y respecto al mismo estadístico del ciclo anual total, por lo tanto se selecciona como factor importante en el crecimiento del lirio acuático.

Mercurio (mg/l). Es un factor químico del agua, desde el punto de vista fisiológico (22), no tiene importancia en el crecimiento de la planta, además, observando la Tabla 5.1, se nota que no hay variación significativa del estadístico media entre las diferentes estaciones y respecto al mismo estadístico del ciclo anual total,

por lo tanto, se elimina como factor importante en el crecimiento del lirio acuático.

Molibdeno, Manganeso, Cobre, Zinc y Cobalto (mg/l). Estos son factores químicos del agua, clasificados como micronutrientes: - desde el punto de vista fisiológico (22) tienen una importancia relativa en el crecimiento de la planta, aunque el cobalto es un elemento vital constitutivo de la vitamina B<sub>12</sub> y a veces se combina para formar metaloactivadores. Desde otro punto de vista, - observando la Tabla 5.1, se nota que no hay variación significativa de estos factores en el estadístico media entre las diferentes estaciones y respecto al mismo estadístico del ciclo anual total, por lo tanto se eliminan como factores importantes en el crecimiento del lirio acuático.

Plomo (mg/l). Es un factor químico del agua, desde el punto de vista fisiológico (22) no tiene importancia en el crecimiento de la planta, además, observando la Tabla 5.1, se nota que no hay variación significativa del estadístico media entre las diferentes estaciones y respecto al mismo estadístico del ciclo anual total, por lo tanto se elimina como factor importante en el crecimiento del lirio acuático.

Precipitación, Evaporación (mm H<sub>2</sub>O) y luminosidad (h/mes). Son factores climatológicos, desde el punto de vista fisiológico (22),

tienen una importancia sustancial y relevante en el crecimiento -- de la planta, además, observando la Tabla 5.1, se nota que los tres factores presentan una variación significativa del estadístico media para las diferentes estaciones y respecto al mismo estadístico del ciclo anual total, por lo tanto se seleccionan como factores importantes en el crecimiento del lirio acuático, haciéndose la aclaración que tanto la precipitación como la evaporación y la evapotranspiración, ya están considerados implícitamente en la medición de otros factores seleccionados, como es el caso de los nutrientes.

Peso constante inicial (g). Es un factor propio del sistema, desde el punto de vista ecológico (22) es muy importante, puesto que un estudio de esta naturaleza de ahí se inicia para llevar a cabo la observación de todos los factores sometidos a estudio, además, observando la Tabla 5.1, se nota que hay variación del estadístico media entre las diferentes estaciones y respecto al mismo estadístico del ciclo anual total, aunque por facilidad en el análisis estadístico se ha recomendado que el peso inicial del lirio para cada estación sea igual. Por lo tanto, se selecciona como factor a través del cual se observan los demás factores en estudio.

En resumen, luego de este análisis, los factores seleccionados como importantes en el crecimiento del lirio acuático son los si-

guientes:

Factores propios del sistema.

- Biomasa de la planta (g)
- Número de plantas (g)
- Peso inicial constante (g)

A través de estos factores, se miden y se estudian los demás parámetros seleccionados.

Factores climatológicos.

- Temperatura ambiente (°C)
- Precipitación (mm H<sub>2</sub>O)
- Evaporación (mm H<sub>2</sub>O)
- Luminosidad (h/mes).

Factores del agua.

- Físicos

- . Temperatura (°C)

- Químicos

- . Carbono orgánico total (mg/l)\*

-Macronutrientes

- . Sulfatos en forma de azufre (S) (mg/l)
- . Magnesio (mg/l)
- . Potasio (mg/l)
- . Fósforo total y ortofosfatos como fósforo (mg/l)

- . Nitrógeno amoniacal, orgánico; nitratos y nitritos como nitrógeno (mg/l)

- Micronutrientes

- . Hierro (mg/l)

- . Calcio (mg/l)

Los datos de todo este análisis se presentan en la Tabla 5.1, donde además se señalan los factores seleccionados.

Como conclusión a este análisis se puede afirmar, apoyándose en el método de selección de factores empleado, que no es posible decir enfáticamente de entre los factores seleccionados cuál o cuáles son los limitantes puesto que este estudio se planteó en base a datos empíricos y los factores de estudio no fueron controlados en experimentos a nivel de laboratorio, lo cual será objeto de investigación que se recomendará para realizarse posteriormente.

## 5.2 ANALISIS DE LOS FACTORES SELECCIONADOS.

En las Figuras 5.1 a 5.8 se presenta el comportamiento en función del tiempo de los factores más importantes en el crecimiento del lirio acuático, en cada una de las estaciones del año. Tales factores son:

- . Propios del sistema: número de plantas y biomasa.
- . Macronutrientes: potasio, fósforo, magnesio, azufre y nitrógeno.

SARH

**SUBSECRETARIA DE PLANEACION**  
**DIRECCION GENERAL DE PROTECCION Y ORDENACION ECOLOGICA**  
**SUBDIRECCION DE INVESTIGACION Y ENTRENAMIENTO**  
**DEPARTAMENTO DE CONTROL Y APROVECHAMIENTO DE MALEZAS ACUATICAS**

**Tabla 5.1 SELECCION DE LOS FACTORES QUE MAS INFLUYEN EN EL CRECIMIENTO DEL LIRIO**

PERIODO: Otoño, Invierno, Primavera, Verano

LOCALIDAD: Preso Endho

DE: Septiembre de 1977

A: Septiembre de 1978

ESTACION CONCEPTO	$\bar{X}$ = Media, $S_{ij}$ = Desviación estándar										OBSERVACION
	OTOÑO 23 Sep. - 23 Dic.		INVIERNO 24 Dic. - 20 Mar.		PRIMAVERA 21 Mar. - 21 Jun.		VERANO 22 Jun. - 22 Sep.		CICLO TOTAL ANUAL 23 Sep. 77-22 Sep. 78		
	$\bar{x}$	S	$\bar{x}$	S	$\bar{x}$	S	$\bar{x}$	S	$\bar{x}$	S	
MUERO DE PLANTAS <sup>1</sup>	10.100	7.909	84.636	45.167	234.091	219.612	687.750	901.268	269.545	541.320	Se selecciona
DIFERENCIA DE PESO (gramos) <sup>2</sup>	192.500	86.963	364.091	500.783	1490.909	1070.909	9577.083	11932.621	3115.341	7303.126	Se selecciona
TEMP. H <sub>2</sub> O (°C)	17.300	2.993	15.682	2.016	21.045	2.505	21.375	3.255	18.943	3.622	Se selecciona
pH	7.030	0.216	6.655	0.270	7.191	0.251	7.275	0.178	7.093	0.277	Se elimina
GRASAS Y ACEITES (mg/l)	7.936	4.360	6.687	5.487	23.272	30.718	23.054	25.295	15.581	21.416	Se elimina
SOLIDOS SEDIMENTALES (ml/l)	0.100	0.000	0.100	0.000	0.408	0.694	0.106	0.079	0.191	0.318	Se elimina
SOLIDOS TOTALES (mg/l)	587.000	59.254	627.727	47.766	674.545	120.626	3162.917	6268.255	1321.591	3370.069	Se elimina
SOLIDOS TOTALES FIJOS	364.100	92.120	444.545	49.621	522.909	92.348	455.500	104.815	448.841	101.158	Se elimina
SOLIDOS TOTALES VOLATILES (mg/l)	222.700	72.532	185.000	53.198	147.818	86.026	2708.167	6259.725	871.864	3364.362	Se elimina
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (mg/l)	11.800	8.443	8.000	4.000	30.636	21.219	95.83	152.150	36.273	85.781	Se elimina
SOLIDOS SUSPENDIDOS FIJOS (mg/l)	0.000	0.000	0.000	0.000	12.636	14.123	36.750	70.088	13.182	39.281	Se elimina
SOLIDOS SUSPENDIDOS VOLATILES (mg/l)	12.400	8.514	8.273	4.245	18.909	13.295	58.750	91.723	25.636	51.457	Se elimina
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES (mg/l)	574.600	36.518	831.545	28.728	631.909	122.265	3066.500	6300.966	1262.773	3375.680	Se elimina
SOLIDOS DISUELTOS FIJOS (mg/l)	364.300	91.803	444.818	48.157	510.727	86.293	420.583	63.228	436.368	90.636	Se elimina
SOLIDOS DISUELTOS VOLATILES (mg/l)	210.400	77.362	179.909	51.845	122.545	71.171	2646.917	6278.673	845.318	3366.620	Se elimina
SULFATOS (mg/l)	103.100	37.027	92.273	32.994	234.727	189.843	230.883	200.057	168.068	154.387	Se selecciona
FENOLES (mg/l)	0.037	0.049	0.217	0.594	0.001	0.001	0.002	0.002	0.064	0.301	Se elimina
COLOR (pt-Co)	72.000	32.639	86.273	13.077	90.000	48.884	93.917	50.480	81.045	40.149	Se elimina
TEMP. AMBIENTE (°C)	20.050	2.565	20.908	4.437	25.727	2.102	24.750	4.203	22.968	4.171	Se selecciona
As (mg/l)	0.022	0.009	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.008	0.012	Se elimina
BORO (mg/l)	0.188	0.191	0.129	0.189	0.036	0.030	0.93	0.054	0.109	0.135	Se elimina
CLORUROS (mg/l)	48.400	3.307	60.000	7.563	63.545	9.893	65.833	34.714	59.841	19.762	Se elimina
ACIDEZ TOTAL (mg/l)	29.700	15.341	19.909	10.913	12.455	5.689	28.333	31.724	22.568	19.775	Se elimina
O.O. (mg/l)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.455	1.036	0.000	0.000	0.114	0.536	Se elimina
O. S.O. (mg/l)	48.400	123.580	8.945	4.457	12.636	7.658	15.433	9.031	20.155	59.040	Se elimina
O. O.O. (mg/l)	83.200	72.475	37.273	13.192	51.636	18.191	74.933	57.660	81.649	49.066	Se elimina
N AMONICAL (mg/l)	3.700	1.479	2.755	1.951	7.240	3.465	6.720	3.583	5.173	3.344	Se selecciona
N ORGANICO (mg/l)	3.254	1.713	2.124	1.575	8.581	4.381	5.645	5.966	5.010	4.585	Se selecciona
NITRITOS (mg/l)	0.013	0.009	0.051	0.053	0.155	0.199	0.340	0.184	0.148	0.183	Se selecciona
NITRATOS (mg/l)	0.150	0.042	0.173	0.167	0.239	0.173	0.396	0.373	0.240	0.330	Se selecciona
FOSFORO TOTAL (mg/l)	2.521	0.863	2.503	0.705	2.787	1.056	3.453	1.735	2.787	1.225	Se selecciona
ORTOFOSFATOS (mg/l)	1.692	0.480	1.932	0.598	2.323	2.489	2.395	1.004	2.099	1.384	Se selecciona
DETERGENTES (SABON) (mg/l)	3.947	0.639	2.518	0.253	2.882	1.220	3.907	1.780	3.315	1.289	Se elimina
TURBIDIDAD (ppm S <sub>2</sub> )	27.700	26.982	6.636	1.748	20.909	18.512	30.917	34.540	21.814	25.065	Se elimina
DUREZA TOTAL (mg CaCO <sub>3</sub> /l)	230.000	20.292	262.182	13.541	243.364	37.001	187.333	38.410	234.750	44.872	Se elimina
DUREZA Ca <sup>++</sup> (mg CaCO <sub>3</sub> /l)	34.000	0.000	52.600	0.894	55.455	9.202	47.833	4.108	51.000	6.565	Se elimina
DUREZA Mg <sup>++</sup> (mg CaCO <sub>3</sub> /l)	229.000	0.000	225.800	0.447	192.818	18.143	155.833	9.456	184.448	30.123	Se elimina
ALCALINIDAD TOTAL (mg/l)	253.100	11.110	252.364	21.800	257.182	6.194	235.500	49.705	249.136	29.190	Se elimina



CONTINUACION Tabla 5.1 SELECCION DE LOS FACTORES QUE MAS INFLUYEN EN EL CRECIMIENTO DEL LIRIO.

ESTACION CONCEPTO	$\bar{X}_{ij}$ = Medio, $S_{ij}$ = Desviación estándar										OBSERVACION
	OTOÑO 23 Sep. - 23 Dic.		INVIERNO 24 Dic. - 20 Mar.		PRIMAVERA 21 Mar. - 21 Jun.		VERANO 22 Jun. - 22 Sep.		CICLO TOTAL ANUAL 23 Sep. '77-22 Sep. '78		
	$\bar{X}$	S	$\bar{X}$	S	$\bar{X}$	S	$\bar{X}$	S	$\bar{X}$	S	
CONDUCTIVIDAD (microsiemens / cm)	770.200	17.377	796.909	18.485	883.818	76.083	739.250	146.989	796.841	100.209	Se elimina
COLIFORMES FECA- LES x 100 nmp/100ml	4.531	5.241	1.060	1.032	56.696	46.117	62.713	40.812	32.572	42.024	Se elimina
COLIFORMES TOXA- LES x 100 nmp/100ml	2.963	3.433	0.590	0.682	37.091	43.692	51.208	42.424	24.060	37.423	Se elimina
STREPTOCOCCOS FECA- LES x 100 nmp/100ml	1.943	2.471	0.180	0.409	27.636	39.184	31.616	39.284	16.068	31.091	Se elimina
Al ( mg / l )	1.000	0.000	1.000	0.000	1.064	0.568	1.867	2.015	1.198	1.093	Se elimina
Fe ( mg / l )	0.287	0.300	0.240	0.129	0.643	0.533	0.787	1.031	0.498	0.647	Se selecciona
K ( mg / l )	16.410	3.779	18.373	1.345	21.182	2.170	19.025	5.221	18.807	3.784	Se selecciona
Na ( mg / l )	91.292	5.084	92.227	6.002	97.815	3.638	83.793	23.247	91.111	13.486	Se elimina
Mg ( mg / l )	17.620	0.708	18.838	1.365	18.918	3.403	15.692	5.912	17.723	3.743	Se selecciona
Ca ( mg / l )	48.880	4.850	47.845	3.528	54.727	8.346	43.192	8.258	48.486	7.247	Se selecciona
Hg ( mg / l )	1.800	5.692	0.002	0.003	0.001	0.000	0.000	0.000	0.410	2.713	Se elimina
Mn ( mg / l )	1.000	0.000	1.000	0.000	0.838	0.291	1.000	0.000	0.954	0.157	Se elimina
Mn ( mg / l )	0.348	0.036	0.272	0.033	0.315	0.116	0.420	0.121	0.340	0.103	Se elimina
Cu ( mg / l )	0.050	0.000	0.050	0.000	0.050	0.000	0.083	0.101	0.059	0.053	Se elimina
Zn ( mg / l )	0.034	0.013	0.144	0.203	0.138	0.155	0.158	0.223	0.121	0.175	Se elimina
Ca ( mg / l )	0.100	0.000	0.100	0.000	0.100	0.000	0.100	0.000	0.100	0.000	Se elimina
Pb ( mg / l )	0.480	0.126	0.500	0.000	0.500	0.000	0.500	0.000	0.491	0.060	Se elimina
PRECIPITACION ( mm H <sub>2</sub> O )	17.880	0.000	1.840	0.000	0.750	0.000	7.150	0.000	6.661	6.650	Se selecciona
EVAPORACION ( mm H <sub>2</sub> O )	128.400	0.000	30.800	0.000	6.700	0.000	44.800	0.000	50.720	44.844	Se selecciona
PESO DE BICAL ( gr )	275.000	0.000	1825.000	0.000	1100.000	0.000	500.000	0.000	930.114	803.059	Se selecciona
LUMINOSIDAD ( h / ms )	188.500	0.000	191.500	0.000	197.000	0.000	172.250	0.000	186.943	9.591	Se selecciona

❖ VARIABLES PROPIOS DEL SISTEMA. A TRAVES DE SU ESTUDIO SE OBSERVAN LOS FACTORES MAS IMPORTANTES EN EL CRECIMIENTO DEL LIRIO ACUATICO.

( H. CASTILLO, 1979 )

. Micronutrientes: calcio y hierro

Se aclara que para el caso del nitrógeno, éste se obtuvo convirtiendo la aportación de N por parte del nitrógeno amoniacal, más el nitrógeno orgánico, más nitratos, más nitritos; utilizando por estequiometría los factores del caso, así estos son: para nitrógeno amoniacal es 0.5; para nitrógeno orgánico es 0.875; para nitritos, 0.2916 y para nitratos 0.3043; cada factor es multiplicado por la cantidad de estos compuestos y luego se procede a hacer la suma total que dará el nitrógeno total; el mismo proceso se sigue para el azufre, el cual se obtiene de los sulfatos por el factor 0.333. Las Tablas correspondientes a estos cálculos se consideran obvias, por lo que no se muestran, pero sí su representación gráfica en las figuras ya citadas.

Se puede observar en estas figuras, que para el número de plantas y biomasa en función del tiempo, en las curvas obtenidas no se pueden visualizar claramente el valor de saturación en el crecimiento del lirio, sino que, para las diferentes estaciones, pareciera que estas curvas tienden hacia el infinito; lo cierto es que esta situación es falsa y efectivamente, para el presente estudio en un cuerpo infestado por esta maleza, es lógico que deban tender a un cierto valor de saturación. El no poder observar claramente este comportamiento radica en el hecho de que el experimento se realizó sin regular estos factores, por lo que, para

la construcción del modelo tentativo de crecimiento, se trabajará bajo el supuesto de que sí se llega a ese valor de saturación.

Desde otro punto de vista, tanto los macro como los micronutrientes presentan, como se puede observar en las gráficas, un comportamiento irregular, lo cierto es que si se hubieran controlado estos factores a nivel de laboratorio, presentarían una tendencia descendente, ya que se estarían consumiendo por la planta; esas gráficas presentan tanto el consumo de la planta de estos nutrientes como la variación de ellos en la presa. Este comportamiento real es evidente, puesto que en la zona de estudio el flujo de entrada y salida de la presa están variando y se presentan diversas descargas en diferentes tiempos que hacen que las concentraciones de nutrientes varíen, tal y como aparecen en las Figuras 5.1 a 5.8. Debido a la razón expuesta anteriormente no se puede predecir con exactitud cuál de los nutrientes o cuáles son los realmente limitantes del crecimiento, la única información que se deduce es que esos son los nutrientes que están afectando al crecimiento. A pesar de todo esto, en las gráficas se alcanza a observar cierta tendencia descendente, es decir de consumo, por tanto se trabajará bajo este comportamiento la construcción del modelo tentativo.

Para el caso de la velocidad máxima específica de crecimiento del lirio ( $\hat{\mu}$ ), ésta será diferente para cada estación del año y -

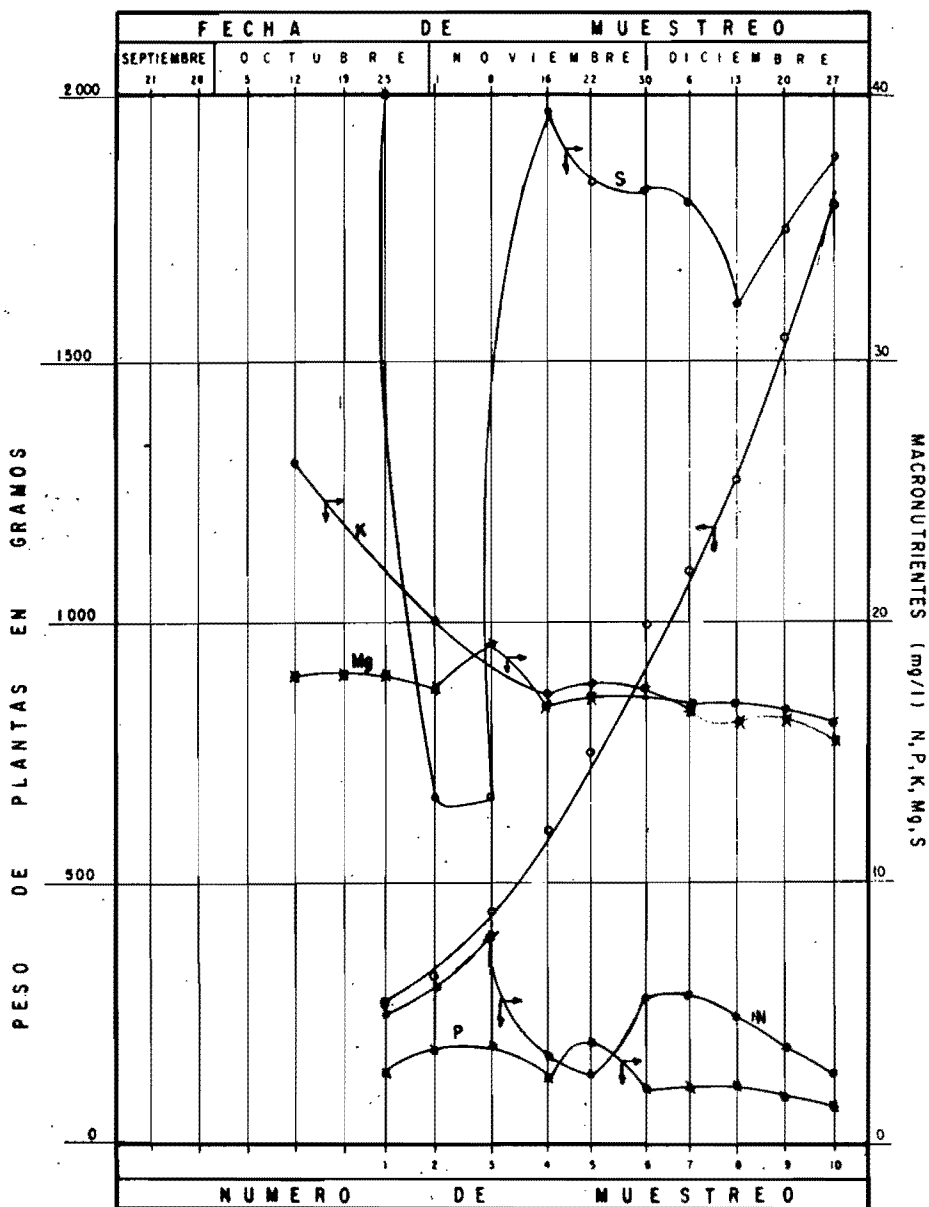
con los datos obtenidos en el estudio, a pesar de no haberse controlado los factores, se puede obtener como aproximación de las Figuras 5.1 a 5.8, mediante la pendiente promedio de las curvas de biomasa vs tiempo. Estrictamente, si se hubieran controlado a nivel de laboratorio los factores, se obtendría el valor de saturación a la mitad de este valor, entrando en el eje vertical hasta tocar la curva y de ahí se desciende verticalmente hasta el eje horizontal, donde se leería el valor de esta constante. Con la aproximación planteada se obtuvieron los siguientes valores:

$$\begin{aligned}\text{Otoño} &= 0.0360 \text{ días}^{-1} & \bar{T} &= 20.050^{\circ}\text{C} \\ \text{Invierno} &= 0.0186 \text{ días}^{-1} & \bar{T} &= 20.909^{\circ}\text{C} \\ \text{Primavera} &= 0.040 \text{ días}^{-1} & \bar{T} &= 25.727^{\circ}\text{C} \\ \text{Verano} &= 0.0725 \text{ días}^{-1} & \bar{T} &= 24.750^{\circ}\text{C}\end{aligned}$$

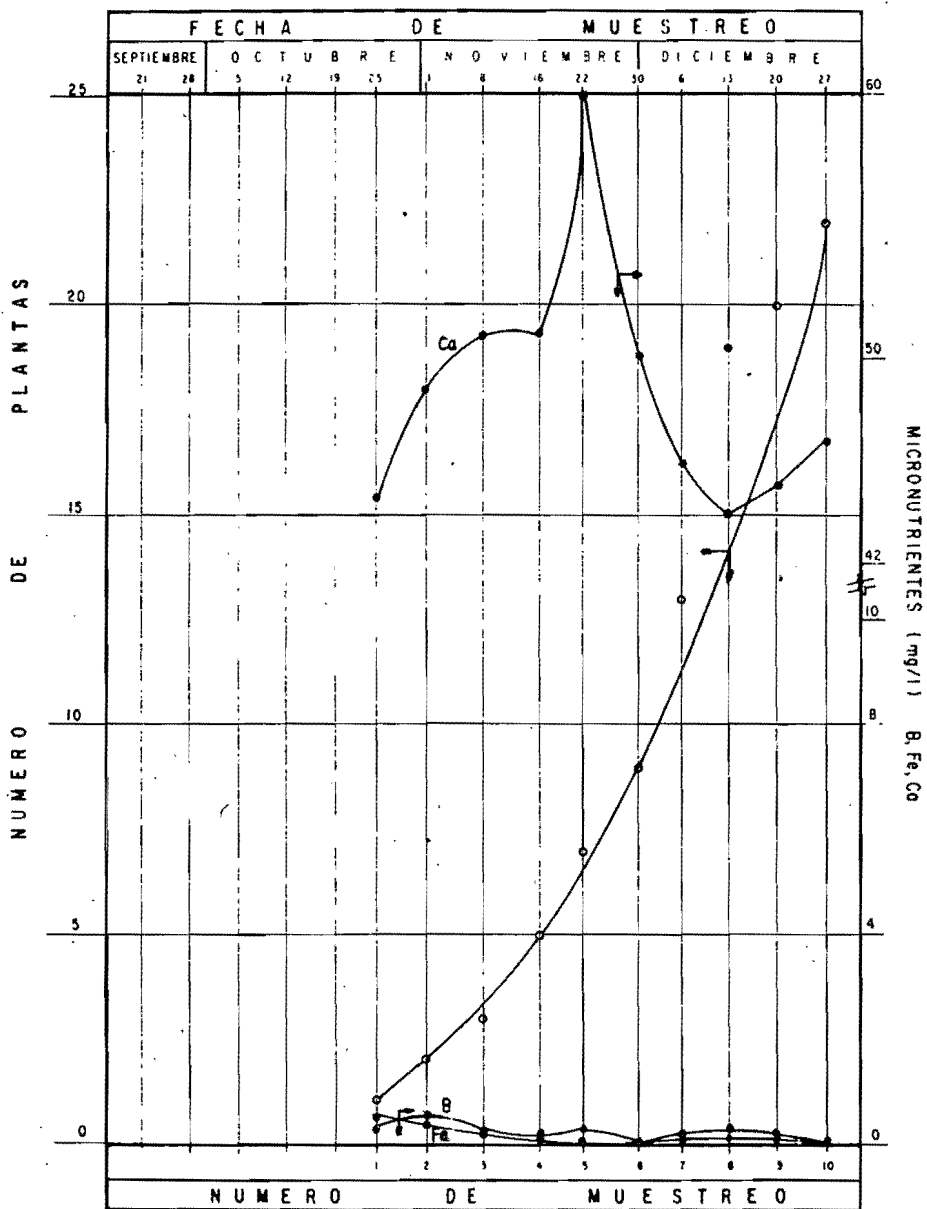
Es evidente que estos valores son diferentes para cada estación, lo cual hace que exista para cada estación del año un modelo diferente.

En base a los valores anteriores, sustituidos en la ecuación -- (5.15), se obtienen los siguientes valores del parámetro  $\Theta$ :

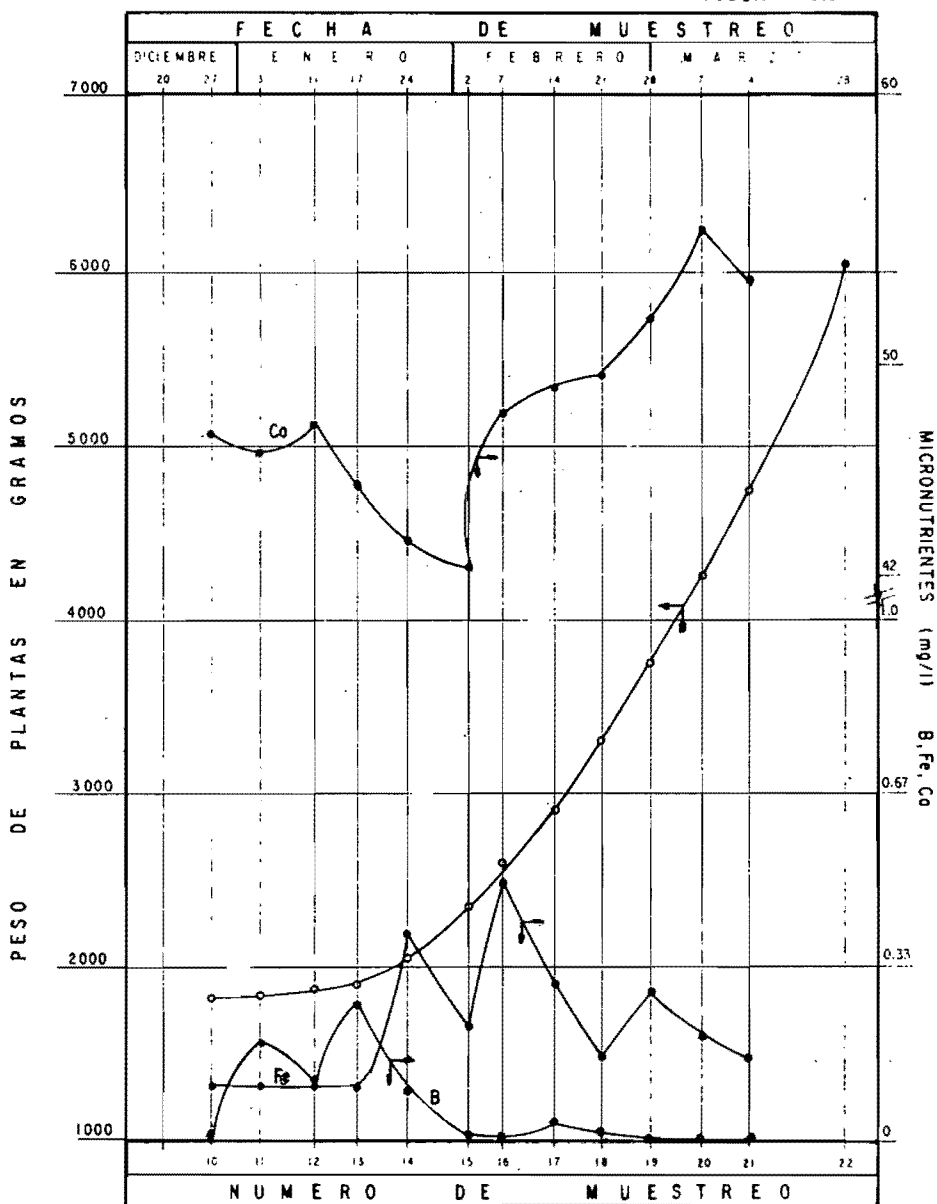
$\Theta = 0.4624$ , para un ámbito de temperatura entre  $20.05$  y  $20.91$   $^{\circ}\text{C}$  entre las estaciones de otoño e invierno y de  $\Theta = 0.5440$ , para un ámbito de temperatura de  $24.750$  a  $25.73^{\circ}\text{C}$  entre las estaciones de primavera y verano. Para el ciclo anual total, entre  $20.050$  y  $25.73^{\circ}\text{C}$ ,  $\Theta$  varía entre  $0.4624$  a  $0.5440$ .



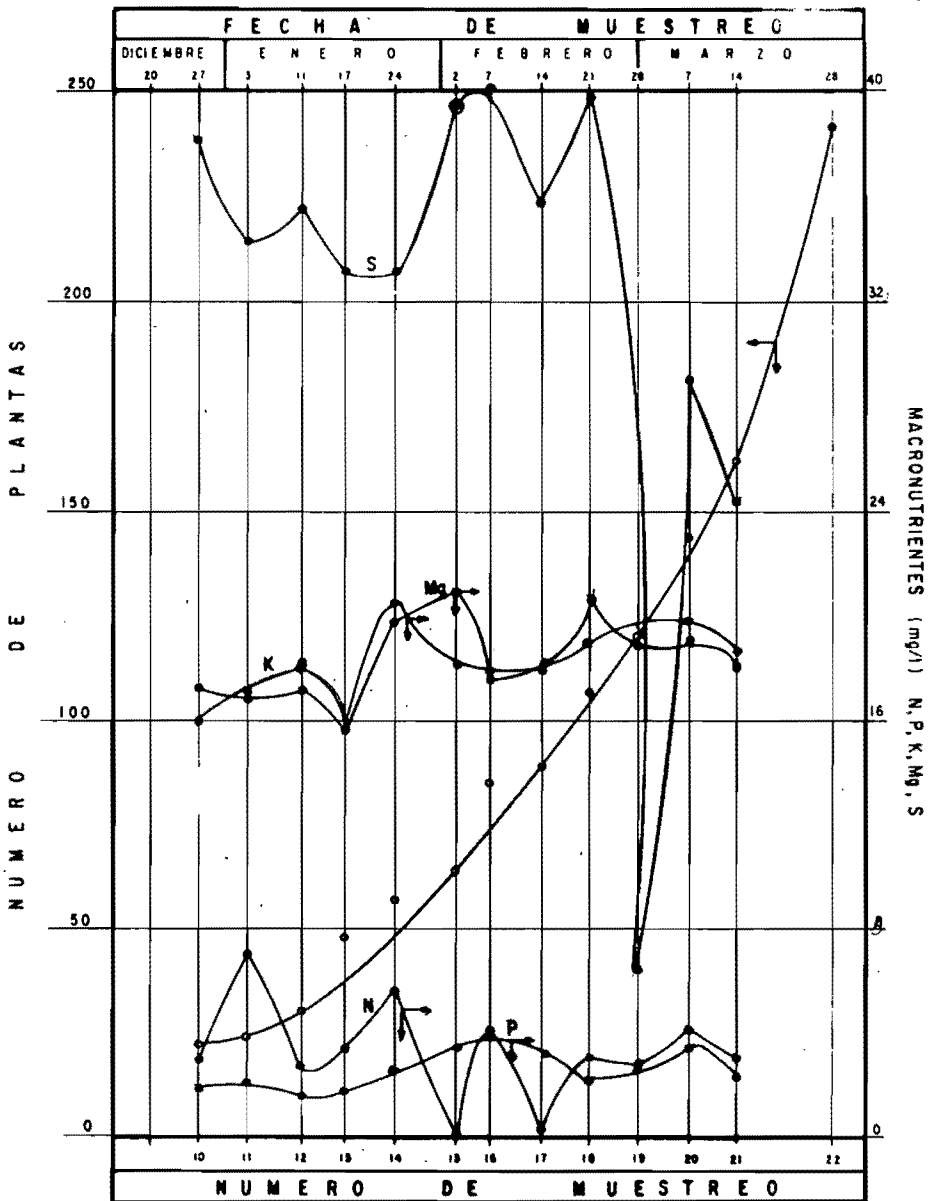
NOTA: DATOS TOMADOS DE LA TABLA 1 o 8 (apendice)  
**MACRONUTRIENTES VS. TIEMPO**  
**BIOMASA VS. TIEMPO** — OTOÑO 1978  
 PRESA ENDHO, HGO.  
 ( CASTILLO H., 1979 )



NOTA: DATOS TOMADOS DE LA TABLA 1a8 (apendice)  
**MICRONUTRIENTES VS. TIEMPO**  
**NUMERO DE PLNTAS VS. TIEMPO** — OTOÑO 1978  
 PRESA ENDHO, HGO.  
 (CASTILLO H., 1979)

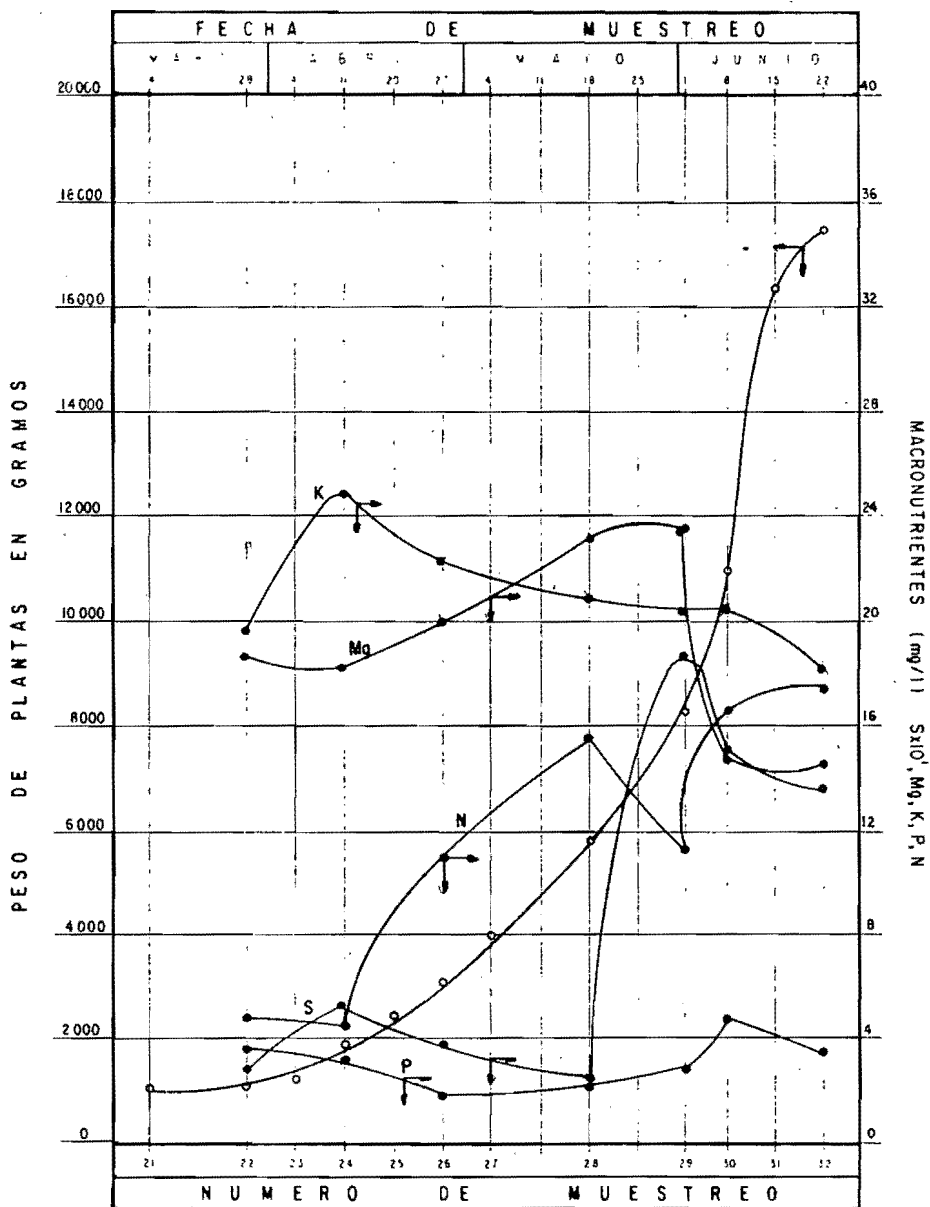


NOTA: DATOS TOMADOS DE LA TABLA 9 a 16 (apendice)  
**MICRONUTRIENTES VS. TIEMPO**  
**BIOMASA VS. TIEMPO** — INVIERNO 1977-1978  
 PRESA ENDHO, HGO.  
 (CASTILLO H., 1979)

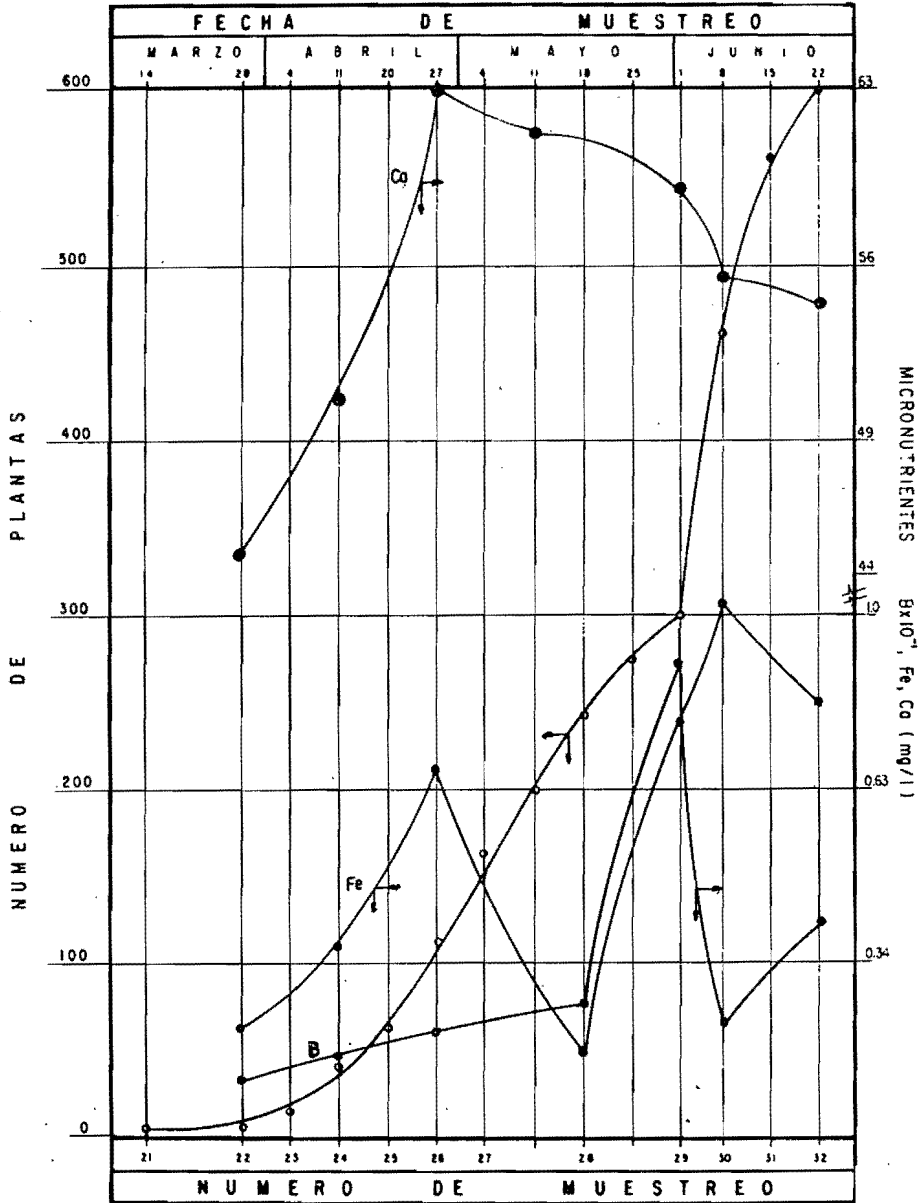


NOTA: DATOS TOMADOS DE LA TABLA 9 a 16 (apendice)  
 MACRONUTRIENTES VS. TIEMPO  
 NUMERO DE PLANTAS VS. TIEMPO - INVIERNO 1977-1978  
 PRESA ENDHO, HGO.  
 (CASTILLO H., 1979)

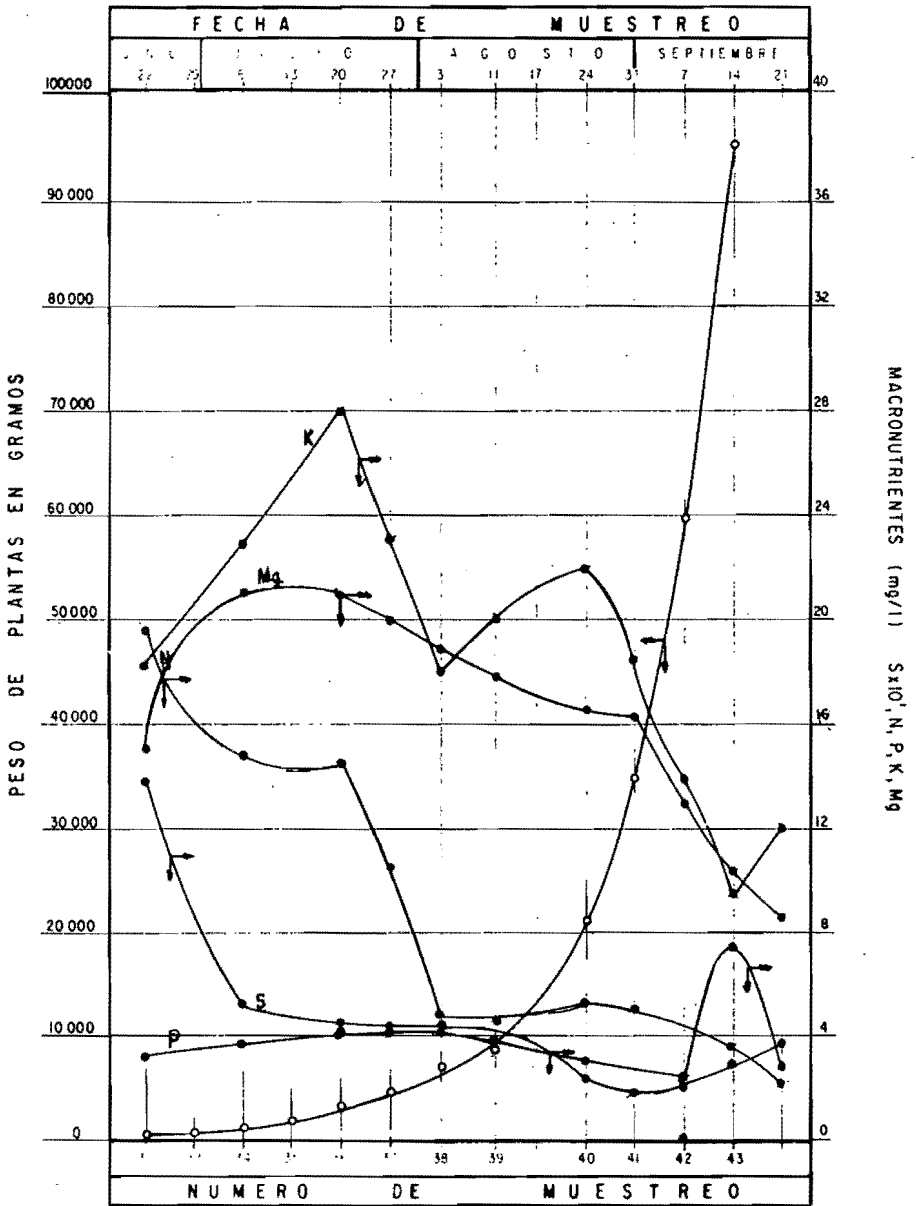




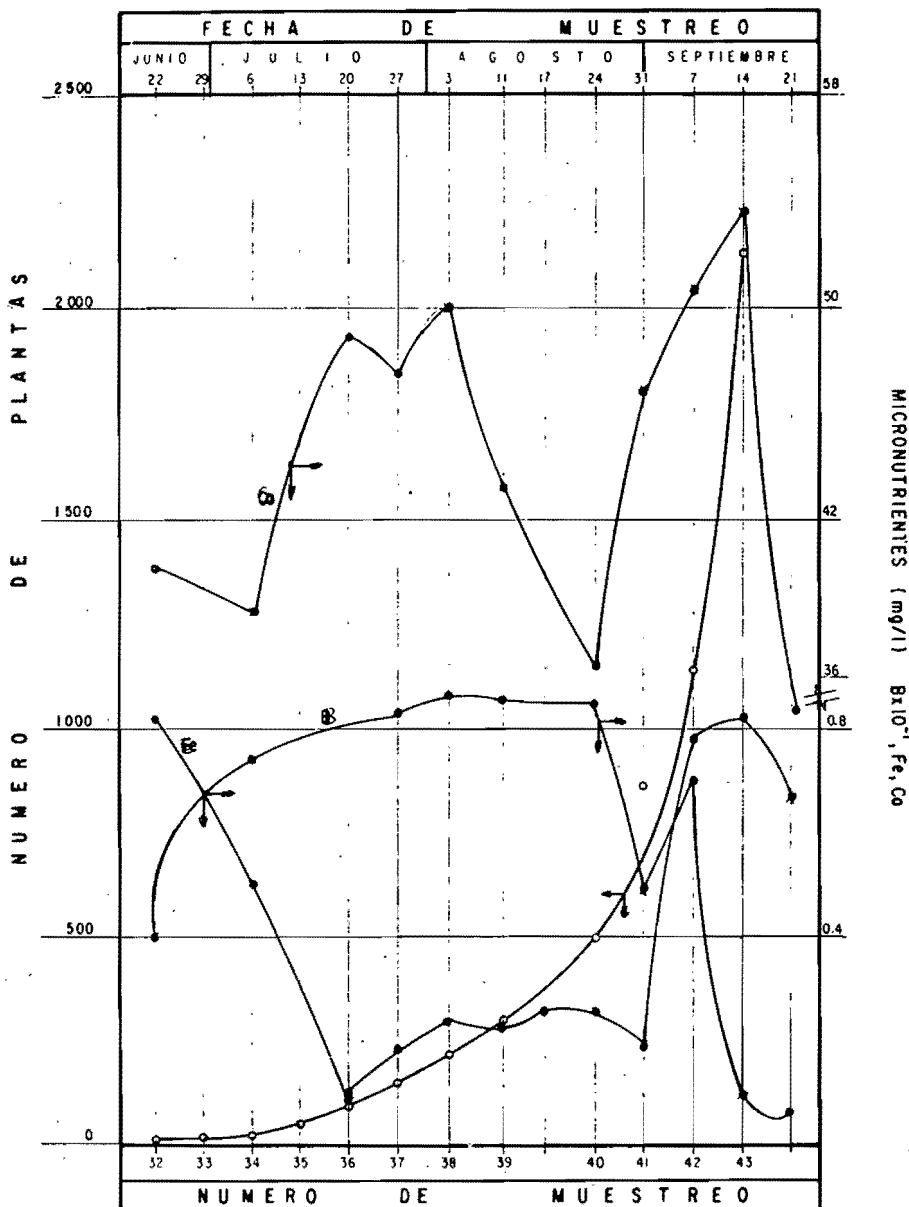
NOTA: DATOS TOMADOS DE LA TABLA 17 a 24 (apendice)  
**MACRONUTRIENTES VS. TIEMPO**  
**BIOMASA VS. TIEMPO** — PRIMAVERA 1978  
 PRESA ENDHO, HGO.  
 ( CASTILLO H., 1979 )



NOTA: DATOS TOMADOS DE LA TABLA 17 a 24 (opendice)  
 MICRONUTRIENTES VS. TIEMPO  
 NUMERO DE PLANTAS VS. TIEMPO — PRIMAVERA 1978  
 PRESA ENDHO, HGO.  
 (CASTILLO H., 1979)



NOTA: DATOS TOMADOS DE LA TABLA 25 o 34 (apendice)  
**MACRONUTRIENTES VS. TIEMPO**  
**BIOMASA VS. TIEMPO — VERANO 1978**  
**PRESA ENDHO, HGO.**  
 (CASTILLO H., 1979)



NOTA: DATOS TOMADOS DE LA TABLA 25 o 32 (opendice)

**MICRONUTRIENTES VS. TIEMPO**  
**NUMERO DE PLANTAS VS. TIEMPO — VERANO 1978**  
**PRESA ENDHO, HGO.**  
**(CASTILLO H., 1979)**

Por otra parte, en relación a los factores de luminosidad y temperatura, tanto la del ambiente como la del agua, no se presentan sus gráficas de comportamiento por haber resultado obvia su influencia directa en el crecimiento de la planta. En cuanto a la precipitación como contribuyente de escurrimientos que acarrea materia orgánica y nutrientes, la evaporación, DBO y DQO se pueden considerar como factores importantes indirectos, con una importancia relativa, es por ello que se considera que ya han sido tomado en cuenta implícitamente en la medición de los demás factores seleccionados.

### 5.3 DERIVACION DEL MODELO TENTATIVO EN BASE A LOS FACTORES SELECCIONADOS.

Un modelo de sistema ecológico es una estructura de símbolos y reglas operativas que proporciona un conjunto de puntos importantes en una unidad natural, con partes vivas e inertes, estableciendo controles y equilibrios que son respuestas automáticas a los cambios producidos por las fuerzas actuantes y los seres vivos - (13). Son sistemas ecológicos los cuerpos de agua, los bosques, las ciudades, etc., regiones del espacio en donde existe una interacción constante entre los individuos y el medio ambiente que los rodea, o entre ellos mismos. Por su complejidad se estudian usando modelos matemáticos o símbolos que son los más sencillos de manejar experimentalmente, dado que toman la forma de relaciones matemáticas que reflejan la estructura de fenómeno (17).

En este trabajo se desarrolla fundamentalmente lo relativo a un modelo - tentativo de crecimiento del lirio acuático, que tendrá que referirse necesariamente a los factores seleccionados en la sección 5.1.

### 5.3.1 PLANTEAMIENTO DEL MODELO TENTATIVO.

El sistema lirio acuático-medio ambiente, presentado en la figura 2.2 y objeto de estudio, se trata de un sistema de flujo completamente mezclado, con la particularidad de que tanto el volumen - como los flujos de entrada y salida están variando, este esquema de comportamiento puede valuararse mediante la ecuación general siguiente :

$$\frac{dX}{dt} = \hat{\mu} \frac{S}{K_S + S} X - k_d X \quad (5.1)$$

$$\left(\frac{M}{t}\right) = \left(\frac{1}{t}\right) \left(\frac{M/L^3}{M/L^3 + M/L^3}\right) - \left(\frac{1}{t} M\right)$$

Donde :

X = biomasa del lirio (M)

$\hat{\mu}$  = constante específica de crecimiento del lirio ( $t^{-1}$ )

S = concentración de nutriente ( $M/L^3$ )

M = unidades de masa

t = unidades de tiempo

$L^3$  = unidades de volumen

$K_S$  = constante de saturación del nutriente ( $M/L^3$ )

$k_d$  = constante específica de velocidad de decaimiento del lirio ( $t^{-1}$ )

La ecuación general (5.1) consta básicamente del término referido al crecimiento y muerte del lirio, denominado término biológico del sistema. Sin embargo, en esta ecuación se considera implícitamente el término referido a la parte hidrodinámica del sistema, el cual no es más que un factor que toma en cuenta la precipitación como contribuyente de escurrimientos, la evaporación y evapotranspiración y las posibles descargas que haya en el cuerpo de agua por materia orgánica, industrial y agrícola. Es sabido que la DQO al estar relacionada con el contenido de sustancias orgánicas e inorgánicas ya está incluyendo indirectamente la DBO y todo este gran factor ya está implícito en la medición de los factores seleccionados.

En el factor biológico del sistema se debe tener en cuenta que los nutrientes seleccionados como factores importantes en el crecimiento del lirio acuático son asimilados en diversas formas, por ejemplo el carbono se puede asimilar como ión bicarbonato, como compuesto orgánico o como dióxido de carbono. El nitrógeno se puede obtener como ión nitrato, nitrito o amoniacal o incluso como  $N_2$  atmosférico. Los requerimientos de fósforo generalmente se asimilan en forma de ortofosfatos, por lo que debido a que son factores esenciales para la vida, son limitantes del crecimiento. Los nutrientes se pueden introducir en muchas formas a un cuerpo de agua, aunque la mayor cantidad se introduce con las des--

cargas de aguas residuales domésticas e industriales, dando como resultado el crecimiento desmedido de algas y de plantas acuáticas mayores como el lirio. A este proceso se le llama eutroficación.

La eutroficación puede tener un efecto muy significativo sobre los diferentes usos a que se destina el agua, ya sean domésticos, de riego o recreativos (17).

El fenómeno de la eutroficación generalmente se asocia con las aguas que están en reposo relativo o con aquellas que están fuertemente influenciadas por la acción de las mareas, tales como los estuarios.

Por lo tanto, para desarrollar el término biológico de la ecuación (5.1), es necesario definir algunos términos, tales como :

Eutroficación. Proceso que resulta en producción y acumulación de materia orgánica debido al crecimiento desmedido de malezas acuáticas y algas (17).

Este proceso, que es natural, se acelera por la introducción de nutrientes en forma de contaminantes en los cuerpos de agua.

Los cuerpos de agua eutróficos reciben altas cantidades de nutrientes y son poco productivos (17).



Productividad primaria. Es la medida de la actividad fotosintética. Se determina comparando la evolución del contenido de oxígeno en muestras expuestas a la luz y a la obscuridad; rapidez de consumo de carbono 14; y consumo de CO<sub>2</sub> en cambio diurnos de pH (17).

Luminosidad o intensidad de la luz. El crecimiento del lirio acuático es influenciado por la intensidad de la luz que puede ser limitante.

- Valor de saturación  $I \gg 2.5 \times 10^4$  erg/cm<sup>2</sup> - seg (600 fc). I no es limitante para la mayoría de las especies de algas.
- Punto de compensación  $I = 10^3$  ergios/cm<sup>2</sup> seg (24 fc) (17), - respiración = crecimiento.
- Factor limitante  $I < 10^3$  ergios/cm<sup>2</sup> - seg: oxígeno producido por fotosíntesis < oxígeno consumido por respiración (fase endógena).
- Intensidad de la luz del sol  $I = 4.2 \times 10^5$  ergios/cm<sup>2</sup> - seg. - (17).
- Penetración de la luz (17).

$$I = I_0 e^{-(\alpha + \beta X)Z} \quad (5.2)$$

Donde :

I = Intensidad de la luz a la profundidad Z, (Ht<sup>-1</sup>)

$I_0$  = Intensidad de la luz en la superficie, ( $Ht^{-1}$ )

$\alpha$  = Coeficiente de absorción de la luz en agua solamente, ( $L^{-1}$ )

$\beta$  = Coeficiente de absorción de la suspensión de malezas, --  
( $L^2 M^{-1}$ )

$X$  = Concentración de la suspensión de lirio, ( $ML^{-3}$ )

$Z$  = Profundidad abajo de la superficie, (L).

- Atenuación de la luz (17). Los intercambios de carbono, nitrógeno, fósforo y otros materiales son energizados por el flujo de energía solar.

En la superficie del agua, con cielo claro:

$$I_t = I_n \operatorname{sen} 2\pi \left( \frac{t - t_{sr}}{t_{ss} - t_{sr}} \right); \quad t_{sr} < t < t_{ss} \quad (5.3)$$

$$I_t = 0; \quad t_{sr} > t > t_{ss}$$

Donde :

$I_t$  = flujo de energía solar en la superficie del agua, al tiempo  $t$ ,  
con cielo claro, ( $HL^{-2} t^{-1}$ )

$t_{sr}$ ,  $t_{ss}$  = tiempo de salida y puesta del sol (t)

Si el cielo está nublado es necesario determinar el grado de nubosidad y ajustar la expresión anterior con el valor que se obtenga para la intensidad tomando en cuenta este factor. Se han encontrado (17) expresiones tales como :

$$I_0 = (1 - 0.65 F) I_t \quad (5.4)$$

Dondé :

$I_0$  = flujo de energía solar ajustado para nubosidad que llega a la superficie del agua.

F = grado (fracción decimal de cubierta nubosa) de nubosidad.

Entonces se puede determinar con la ley de Lambert-Beer la intensidad de luz que llega a una profundidad Z.

- Nutrientes. Macronutrientes: fósforo, carbono, nitrógeno, potasio, azufre y magnesio, son requerido en grandes cantidades.

Micronutrientes : fierro y calcio, requeridos en pequeñas cantidades.

- Fuentes de carbono.  $CO_2$ ,  $HCO_3^-$ , moléculas orgánicas.

- Fuentes de nitrógeno. Las plantas pueden obtener nitrógeno a partir de  $NO_3^-$  y  $NH_4^+$ . El lirio puede fijar  $N_2$  gaseoso

- Fuentes de fósforo. Principalmente ortofosfatos  $PO_4^{3-}$ .

- La introducción de nutrientes en el agua proviene de :

- . Desechos municipales e industriales
- . Esgurrimientos municipales e industriales
- . Precipitación en superficies de mantos de agua
- . Agua subterránea
- . Fijación biológica de nitrógeno
- . Otras.

Es posible visualizar mejor un ecosistema en un esquema en donde se puedan colocar algunos de los factores que influyen en el crecimiento del lirio; el esquema presentado en la figura 3.1, incluye solamente los subsistemas que contribuyen de manera directa al crecimiento del lirio, sin embargo sería posible incluir otros subsistemas, lo cual daría como resultado un modelo tentativo - más completo pero más complicado.

Para desarrollar la ecuación (5.1) referida al esquema de la fig. - 2.2, se harán las siguientes consideraciones :

1. Se trata de un sistema completamente mezclado, en el cual - hay variación del flujo de entrada y salida.
2. El término que se ha denominado hidrodinámico, se considera implícito, tomándose en esta forma: la precipitación, la evaporación, la evapotranspiración, la DBO y la DQO, así como la variación de los flujos de entrada y salida, ya que se hace extracción para riego en el sistema planteado.
3. El término  $\mu$ , constante específica de crecimiento del lirio, así como las demás constantes y coeficientes de transferencia que aparezcan en el modelo, están considerando implícitamente el factor de temperatura.
4. Se considera una columna de área transversal unitaria, la cual

se extiende desde la superficie hasta la profundidad del epilimnio.

5. El agua en este elemento de volumen está en condición de mezclado completo.
6. El único transporte vertical de materiales en el elemento agua abajo del epilimnio es debido a la sedimentación de detritus.
7. Se toma en cuenta el transporte hidrodinámico, dentro y fuera del elemento, implícitamente en la medición de los factores seleccionados.
8. Se considera que el crecimiento del lirio figuras 5.1 a 5.8, llega a un valor de saturación y que los nutrientes seleccionados como factores se comportan en forma descendente (consumo) a pesar de no haberse controlado esos factores. Además, en el modelo tentativo que se plantea no se considerará el sistema de detritus, aunque se desarrolla la expresión para éstos.

Para un sistema ecológico contenido en un elemento volumétrico de esta naturaleza, los modelos de los subsistemas componentes toman la forma general:

$$\frac{dX}{dt} = (\sum \text{consumos} - \sum \text{aportaciones})$$

En la expresión anterior, se toma en consideración el término de transporte hidrodinámico como un factor implícito en la medición de los factores seleccionados, para flujo completamente mezclado, en un sistema donde los flujos de entrada y salida están variando.

Los modelos para los subsistemas (término biológico de la ecuación 8.1), mostrados en la figura 2.2, se describen a continuación.

Sistema de lirio. Debido a que el lirio acuático es el componente fotosintético del sistema ecológico, el sistema del lirio es de capital importancia.

La velocidad de cambio de la concentración de biomasa del grupo lirio puede expresarse de forma general:

$$\text{Acumulación} = \sum \text{ganancia} - \sum \text{pérdidas}$$

El cambio de la concentración de biomasa, como puede observarse en las figuras 5.1 a 5.8 para las diferentes estaciones del año y bajo el supuesto de que se llega al valor de saturación, se puede expresar por una fórmula matemática como:

$$\frac{dX}{dt} = f(S, X) \quad (5.5)$$

Donde :

S = concentración de sustrato (alimento) (M/L<sup>3</sup>)

X = biomasa de lirio (M)

Cuando los alimentos se encuentran en concentración suficiente y no hay nada que se oponga al crecimiento, el lirio crece a una velocidad constante y la ecuación anterior se transforma en :

$$\frac{dX}{dt} = \mu X \quad (5.6)$$

Donde :

$\mu$  = constante específica de velocidad de crecimiento del lirio (t<sup>-1</sup>).

Cuando el lirio no se alimenta, una parte de él desaparece. La velocidad de desaparición es proporcional a la concentración del lirio y se tiene :

$$\frac{dX}{dt} = -k_d X \quad (5.7)$$

Donde :

$k_d$  = constante de crecimiento del lirio (t<sup>-1</sup>). Entonces el cambio neto en la concentración de biomasa será :

$$\frac{dX}{dt} = \mu X - k_d X \quad (5.8)$$

Hay ocasiones, como en el caso de este estudio, en que las circunstancias son desfavorables y la velocidad de crecimiento se reduce. Las causas que provocan la detención del crecimiento son : la disminución de la concentración de alimentos, la acumulación de los compuestos tóxicos que han sido vertidos, o una modificación física del medio.

En el caso de que el crecimiento quede limitado por un empobrecimiento del medio en elementos nutritivos (alimentos), la ecuación básica toma la forma :

$$\frac{dX}{dt} = k_1 (X, S) \quad (5.9)$$

De la que se ha derivado (17) la relación empírica:

$$\frac{dX}{dt} = Y \frac{dF}{dt} - k_d X \quad (5.10)$$

Donde :

$Y$  = coeficiente de rendimiento de crecimiento del lirio

$\frac{dF}{dt}$  = velocidad de utilización del sustrato por el lirio (M/t)

El último término se puede calcular de manera aproximada por la expresión :

$$\frac{dF}{dt} = \frac{k S X}{K_s + S} = \frac{dS}{dt} \quad (5.11)$$



Donde :

$k$  = velocidad máxima ( $k = \mu$ ) de utilización de sustrato por unidad de peso de lirio ( $t^{-1}$ )

$K_S$  = concentración de sustrato, a la cual la velocidad de utilización por unidad de peso de lirio, en la "mitad" de la velocidad máxima.

Si se divide (5.10) entre  $X$  y se sustituye en (5.11) se tiene :

$$\frac{\frac{dX}{dt}}{X} = Y \frac{k S}{K_S + S} - k_d \quad (5.12)$$

El término  $\frac{dX/dt}{X}$  se conoce como velocidad específica de crecimiento del lirio y el producto  $Yk$  es la velocidad máxima del crecimiento específico, por lo que la ecuación resultante es :

$$\mu = \hat{\mu} \frac{S}{K + S} - k_d \quad (5.13)$$

El comportamiento de la velocidad de utilización del sustrato, con respecto a la biomasa se puede apreciar en las figuras 5.1 a 5.8 y que debido a que los factores no fueron controlados a nivel de laboratorio no se observa claramente el comportamiento esperado, pero se supone que sea así :

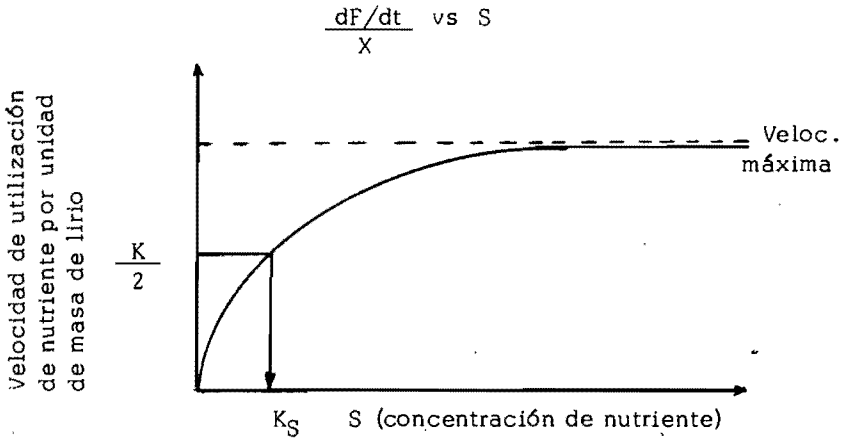


Fig. 5.9: COMPORTAMIENTO DE LA VELOCIDAD DE UTILIZACIÓN DEL SUSTRATO.

(Rick, 1973)

Cuando los nutrientes están en exceso, la velocidad específica de crecimiento ( $\hat{\mu}$ ) se aproxima a la velocidad máxima ( $\hat{\mu}$ ) y el término de crecimiento en la ecuación se convierte en un término de reacción de primer orden  $\hat{\mu} X$ . Sin embargo, si la concentración de nutriente limitante se vuelve pequeña en comparación de  $K_S$  ( $S \ll K_S$ ) el término de crecimiento se convierte en un término de ecuación de segundo orden  $\left(\frac{\hat{\mu}}{K_S}\right) S X$ .

Sustituyendo (5.13) en (5.6) se tiene :

$$\frac{dX}{dt} = \hat{\mu} \frac{S}{K_S + S} X - k_d X \quad (5.14)$$

que es el factor de la ecuación (5.1), el cual se ha denominado factor biológico.

En este estudio se ha encontrado que la velocidad específica del crecimiento no solamente es función del lirio, sino también de factores ambientales de tipo climatológico y del agua tanto físicos y químicos, por ejemplo : temperatura, macro y micronutrientes en general, llamados sales biogénicas, que de acuerdo con este trabajo tienen importancia directa sobre el crecimiento de la planta.

El efecto de la temperatura se ha cuantificado (17) por la relación:

$$\hat{\mu} = \mu_0 \Theta^{(T-T_0)} \quad (5.15)$$

Donde :

$\hat{\mu}$  y  $\mu_0$  = constante específica de velocidad máxima de crecimiento a las temperaturas T y  $T_0$  respectivamente.

$\Theta$  = coeficiente de temperatura.

Se han determinado valores del coeficiente  $\Theta$  con base en información termodinámica, entre los 15 y los 30°C de temperatura, para microorganismos encontrados en procesos anaeróbicos de tratamiento biológico de aguas negras y estos varían de 1.03 a 1.07 (5).

En todos los subsistemas de la figura 2.2, la temperatura ejerce una gran influencia sobre la velocidad a la que se llevan a cabo todas las reacciones, dado que todos los procesos químicos físicos

cos y biológicos dependen de la temperatura. Su efecto se refleja en las variaciones de las constantes de saturación y coeficientes de transferencia que aparezcan en el modelo tentativo; por ello se considera implícito en estos parámetros y no aparecerá como una expresión independiente como la indicada en la ecuación (5.15), además, como se vio en el análisis presentado en la sección 5.1, el factor biológico en total depende también de muchos de los factores que influyen en la velocidad de crecimiento.

La importancia relativa de los términos de que consta la ecuación (5.14), depende de la relación nutrientes-lirio y de las condiciones ambientales. Cuando la relación es relativamente grande, predomina el primer término y el segundo puede ser insignificante, que es el caso que se presenta en este estudio; sin embargo, se considera este término en la construcción del modelo tentativo.

Por otro lado, si la relación es muy baja, el cambio de concentración dependerá exclusivamente del término de decrecimiento.

De acuerdo con el esquema de la figura 2.2, ya discutido, se sabe que la velocidad de crecimiento no solamente es función específica del lirio, sino también de otros factores ya señalados.

Por lo tanto se tiene para el subsistema lirio en el sistema lirio - acuático-medio ambiente:

$$\frac{dX}{dt} = \mu X - K_{rl} X - K_{ml} X - \frac{\mu_c X_c}{Y_c/F} \quad (5.16)$$

$$\left[ \frac{M}{t} \right] = \left[ \frac{M}{t} \right], \left[ \frac{M}{t} \right], \left[ \frac{M}{t} \right], \left[ \frac{M}{t} \right]$$

Donde :

$X$  = biomasa de lirio (M)

$X_c$  = biomasa de consumidores (M)

$K_{rl}$  = constante específica de velocidad de reacción para respiración endógena de lirio ( $t^{-1}$ ).

$\mu$  = constante específica de crecimiento del lirio ( $t^{-1}$ )

$K_{ml}$  = constante específica de velocidad para mortalidad de lirio ( $t^{-1}$ )

$\mu_c$  = constante específica de velocidad de crecimiento de consumidores ( $t^{-1}$ )

$Y_c/F$  = coeficiente de rendimiento de conversión de biomasa de lirio a biomasa de consumidores.

Además se observó en las figuras 5.1 a 5.8, para las diferentes estaciones que  $\mu$  varía en función de la concentración de nutrientes. Para una temperatura dada la constante se expresará como:

$$\mu = \hat{\mu} \frac{S}{K_S + S} \quad (5.17)$$

Sin embargo, en la naturaleza, bajo ciertas condiciones, dos o más factores pueden llegar a ser al mismo tiempo limitantes del

crecimiento, como son : luminosidad y nutrientes .

Por la razón anterior la ecuación (5.16) se transforma y toma en cuenta esos factores :

$$\mu = \hat{\mu} \left( \frac{I}{K_I + I} \right) \left( \frac{C_{CO_2}}{K_{CO_2} + C_{CO_2}} \right) \left( \frac{C_N}{K_N + C_N} \right) \left( \frac{C_p}{K_p + C_p} \right) \left( \frac{C_K}{K_K + C_K} \right) \left( \frac{C_{Mg}}{K_{Mg} + C_{Mg}} \right) \left( \frac{C_S}{K_S + C_S} \right) \left( \frac{C_{Fe}}{K_{Fe} + C_{Fe}} \right) \left( \frac{C_{Ca}}{K_{Ca} + C_{Ca}} \right) \dots (5.18)$$

Donde :

$I$  = intensidad de la luz ( $H t^{-1}$ )

$C_{CO_2}$  = concentración de dióxido de carbono libre ( $M/L^3$ )

$C_N$  = concentración de nitrógeno inorgánico ( $M/L^3$ )

$C_p$  = concentración de fósforo ( $M/L^3$ )

$C_K$  = concentración de potasio ( $M/L^3$ )

$C_{Mg}$  = concentración de magnesio ( $M/L^3$ )

$C_S$  = concentración de azufre ( $M/L^3$ )

$C_{Fe}$  = concentración de hierro ( $M/L^3$ )

$C_{Ca}$  = concentración de calcio ( $M/L^3$ )

$K_I$  = constante de saturación por luminosidad ( $Ht^{-1}$ )

$K_{CO_2}, K_N, K_p, K_K, K_{Mg}, K_S, K_{Fe}, K_{Ca}$  = constantes de saturación ( $M/L^3$ ).

La ecuación (5.18) es válida a cualquier profundidad; para obtener la constante específica de velocidad de crecimiento a lo largo de la columna de agua, la ecuación se transforma en :

$$\mu = \hat{\mu} \sum_{k=1}^n \frac{\delta}{Z_T} \left( \frac{I_k}{K_I + I_k} \right) \left( \frac{C_{CO_2}}{K_{CO_2} + C_{CO_2}} \right) \left( \frac{C_N}{K_N + C_N} \right) \left( \frac{C_p}{K_p + C_p} \right) \left( \frac{C_K}{K_K + C_K} \right) \left( \frac{C_{Mg}}{K_{Mg} + C_{Mg}} \right) \left( \frac{C_S}{K_S + C_S} \right) \left( \frac{C_{Fe}}{K_{Fe} + C_{Fe}} \right) \left( \frac{C_{Ca}}{K_{Ca} + C_{Ca}} \right) - \dots \quad (5.19)$$

Donde :

Z = profundidad total de la columna de agua

n = número de incrementos de profundidad

k = número índice de incrementos de profundidad

$\delta = \frac{Z_T}{n}$  = longitud de cada incremento de profundidad

$\hat{\mu}$  = constante específica de velocidad máxima de crecimiento del lirio ( $t^{-1}$ )

Sistema de consumidores. En el caso de los consumidores se puede observar en el esquema de la figura 2.2, que la velocidad de cambio de biomasa está dada por :

$$\frac{dX_C}{dt} = \mu_C X_C - K_{TC} X_C - K_{mc} X_C \quad (5.20)$$

Donde :

$X_C$  = biomasa de consumidores (M)

$\mu_C$  = constante específica de crecimiento de consumidores ( $t^{-1}$ )

$K_{RC}$  = constante específica de velocidad para la respiración endógena de consumidores ( $t^{-1}$ )

$K_{mc}$  = constante específica de velocidad para mortalidad de consumidores ( $t^{-1}$ )

En este caso el término  $\mu_C X_C$  es un término de crecimiento y se obtiene a partir de :

$$\mu_C = \hat{\mu}_C \frac{X}{K_X + X} \quad (5.21)$$

donde, como se puede observar, el lirio hace el papel de nutriente limitante.

Sustituyendo la ecuación (5.21) en la (5.20) se tiene :

$$\frac{dX_C}{dt} = \hat{\mu}_C X_C \frac{X}{K_X + X} - K_{RC} X_C - K_{mc} X_C \quad (5.22)$$

Sistema de detritus. Está compuesto de la materia particular que resulta de la muerte de individuos de los grupos lirio acuático y consumidores. Aunque en el modelo que se plantea (ec. 5.16) no se considera; otra fuente adicional de detritus, que es la materia fecal que elimina el grupo de consumidores, es importante. Algo de los detritus se sedimenta del epilimnión, mientras que el restante es descompuesto por bacterias y hongos. La velocidad de cambio de detritus se puede expresar como :



$$\frac{dX_D}{dt} = K_{ml} X + K_{mc} X_c - K_{dD} X_D - K_{SD} X_D \quad (5.23)$$

Donde :

$K_{dD}$  = constante específica de velocidad de descomposición de detritus ( $t^{-1}$ ).

$X_D$  = biomasa de detritus (M)

$K_{SD}$  = constante específica de velocidad de sedimentación de detritus ( $t^{-1}$ )

$K_{ml}$  = constante específica de velocidad de mortalidad de lirio ( $t^{-1}$ )

$X$  = biomasa de lirio (M)

$X_c$  = biomasa de consumidores (M)

$K_{mc}$  = constante específica de mortalidad de consumidores ( $t^{-1}$ )

Por lo tanto, para obtener el modelo general tentativo de crecimiento del lirio acuático es necesario llevar a cabo una serie de sustituciones entre las ecuaciones planteadas, lo cual se hace de la siguiente manera :

1. Sustituyendo la ecuación (5.19) en la (5.16), se tiene :

$$\frac{dX}{dt} = \hat{\mu} \sum_{k=1}^n \frac{\delta}{Z_T} \left( \frac{I_k}{K_I + I_k} \right) \left( \frac{C_{CO_2}}{K_{CO_2} + C_{CO_2}} \right) \left( \frac{C_N}{K_N + C_N} \right) \left( \frac{C_p}{K_p + C_p} \right) \left( \frac{C_K}{K_K + C_K} \right) \left( \frac{C_{Mg}}{K_{Mg} + C_{Mg}} \right) \left( \frac{C_S}{K_S + C_S} \right) \left( \frac{C_{Fe}}{K_{Fe} + C_{Fe}} \right)$$

/...

$$\left( \frac{C_{Ca}}{K_{Ca} + C_{Ca}} \right) X - K_{rl} X - K_{ml} X - \frac{\mu_c X_c}{Y_c/F} \quad (5.24)$$

La ecuación (5.24), representa el modelo general tentativo para - el crecimiento del lirio acuático, ya sustituida en la ecuación - (5.1). El modelo representado por la ecuación (5.24) depende de una serie de ecuaciones auxiliares para su solución, algunas de las cuales ya han sido planteadas y las restantes se derivan más detalladamente en Rick (17).

De acuerdo a las condiciones de la zona de estudio de campo que se seleccionó, donde como se observa en la Tabla 5.1, por la au sencia de oxígeno existen condiciones anaeróbicas que impiden la existencia de organismos consumidores, por lo que el modelo - general tentativo particularizado a estas condiciones toma la forma :

$$\begin{aligned} \frac{dX}{dt} = \hat{\mu} \sum_{k=1}^n \frac{\delta}{Z_T} & \left( \frac{I_k}{K_I + I_k} \right) \left( \frac{C_{CO_2}}{K_{CO_2} + C_{CO_2}} \right) \left( \frac{C_N}{K_N + C_N} \right) \left( \frac{C_p}{K_p + C_p} \right) \\ & \left( \frac{C_K}{K_K + C_K} \right) \left( \frac{C_{Mg}}{K_{Mg} + C_{Mg}} \right) \left( \frac{C_S}{K_S + C_S} \right) \left( \frac{C_{Fe}}{K_{Fe} + C_{Fe}} \right) \left( \frac{C_{Ca}}{K_{Ca} + C_{Ca}} \right) X \\ & - K_{rl} X - K_{ml} X \end{aligned} \quad (5.25)$$

La ecuación (5.25), representa el modelo particular tentativo de crecimiento del lirio acuático, de acuerdo con las condiciones de la zona en estudio de campo seleccionada en este trabajo, la -

cual depende de una serie de ecuaciones auxiliares para su solución, algunas ya planteadas y otras que se derivan en Rick (17).

Para resolver tanto el modelo general como el particular, ambos tentativos, es necesario, además de algunas ecuaciones ya planteadas, derivar otras ecuaciones que intervendrán y resolverlos por "métodos numéricos", por el hecho de que, aún conociendo -- las concentraciones promedio estacionales (Tabla 5.1), no se -- pueden sustituir directamente, ya que todos los factores que aparecen en estos modelos están interrelacionados unos con otros y además son función del tiempo.

Por tanto, las ecuaciones auxiliares que sirven tanto para el modelo general como para el particular, con la aclaración de que al usarlas para el modelo particular se deben eliminar los términos correspondientes a "consumidores" y "detritus", se encuentran en Rick (17), para los sistemas de nitrógeno, fósforo y carbón orgánico y nitrógeno y fósforo inorgánicos, los mismo que para el sistema de carbonatos, puesto que éstos proporcionan un almacén para acumular o reducir bióxido de carbono en solución.

Para los nutrientes: potasio, magnesio, azufre, fierro y calcio es posible plantear modelos en función del tiempo que indiquen la interrelación entre ellos y los demás factores del modelo tentativo y poderlos usar en la solución de éste. En este estudio -- con los datos empíricos que se tienen no es posible derivar es-

tas ecuaciones auxiliares fundamentales para la resolución del modelo tentativo, ya que fueron factores que no se controlaron y no se logró conocer cuánto absorbe la planta en función del --- tiempo para estos factores.

Estos experimentos se podrán hacer aislando el lirio en cubetas especiales, simulando los flujos de entrada y salida, así como las demás condiciones de la zona de estudio y luego limitar la planta para cada uno de ellos, finalmente poner a interactuar el conjunto de factores, para obtener su comportamiento; estrictamente esto se debe hacer para cada una de las estaciones del año, puesto que los factores ambientales varían.

De esta forma, se tendrán las ecuaciones auxiliares necesarias para resolver el modelo tentativo planteado; el método de resolución es explicado en la sección (5.4) de este estudio.

El modelo tentativo derivado en la sección 5.3.1 de este estudio, tiene cierta similitud al modelo planteado por Rick (17) para el -- fitoplancton, lo cual se justifica por ser ambos casos un ecosistema acuático y de plantas que crecen en forma desmedida, es evidente que sí hay diferencia fisiológica entre fitoplancton y lirio acuático.

Desde otro punto de vista, hasta donde se sabe (1), no se ha planteado un modelo de crecimiento para el lirio acuático y debido a

ello no se pueden hacer comparaciones con el modelo planteado.

Los alcances que puede presentar el modelo planteado como tentativo son:

- Se puede aplicar a otros cuerpos infestados por lirio acuático con diferente calidad de agua a la que se tiene en la zona de estudio de este trabajo.
- Es posible calibrarlo para ser utilizado en la predicción del crecimiento de otras malezas flotantes que infestan cuerpos de agua con diferentes calidades.
- Permite visualizar qué tipo de experimentos y factores se deben de tomar en cuenta para llevar a cabo estudios de las diferentes malezas flotantes que infestan cuerpos de agua.
- Puede ser útil y fructífero para estudios especiales en la búsqueda de la posibilidad de control óptimo del crecimiento del lirio y la purificación adecuada de los cuerpos de agua infestados por esta maleza.
- Puede servir como base para la evaluación de diferentes métodos de combate.

Las limitaciones más importantes que presenta el modelo tentativo planteado, son las siguientes:

- Se aplica bajo las condiciones en que fue derivado, señaladas en la sección 5.3.1 de este estudio.
- Es posible reducirlo más si se hacen experimentos del lirio con factores controlados, de ahí el hecho de que este modelo sea tentativo.
- Obliga a realizar experimentos regulados a nivel de laboratorio de todos los factores involucrados en él, para poder determinar con precisión las constantes involucradas y los coeficientes de transferencia y de esta manera poder calibrar y resolver el modelo, utilizando todas las ecuaciones auxiliares planteadas y recomendadas en la sección 5.3.1 de este estudio.
- La resolución matemática de este modelo implica el uso de métodos numéricos debido a que todos los factores están interrelacionados unos con otros.

#### 5.4 PLANES DE CALIBRACION Y VALIDACION DEL MODELO TENTATIVO.

Con los datos empíricos que se tienen en este estudio, no es posible calibrar y validar el modelo tentativo planteado en la sección 5.3.1 de este trabajo, además ello no es el objetivo de este estudio.

Sin embargo seguidamente se da la pauta para calibrar y validar el modelo:

Partiendo del hecho de que se tuvieran todos los coeficientes y constantes involucradas en el modelo y teniéndose las ecuaciones auxiliares ya planteadas, se introducen en ellas estas constantes y coeficientes. Luego, partiendo de condiciones iniciales (es aquí donde aparecerá el peso inicial constante) se comienza a iterar, utilizando algún método numérico, para este caso se recomienda el Runge y Kutta, ya programado en la computadora, además de que es un método sencillo de entender y manejar, en donde lo único que es necesario son las condiciones iniciales que se tienen y tener el modelo en función únicamente de dos variables, lo cual ya está con la ayuda de las ecuaciones auxiliares, así, el modelo quedará en función de la biomasa del lirio ( $X$ ) y del tiempo ( $t$ ); luego se da un cierto incremento ( $h$ ) para las iteraciones y de esta manera poder calibrar el modelo.

Otra manera de calibrar el modelo tentativo planteado, es utilizando el programa para modelado (CSMP) para una computadora IBM/360 de sistema continuo como aparece en Rick (17), únicamente que presenta ciertas limitaciones, pues al trabajar a base de matrices se hacen simplificaciones de las ecuaciones a base de suposiciones que alejan la solución de la realidad.

Ahora bien, calibrando el modelo a las condiciones de la zona de estudio, viene el proceso de su validación, el cual básicamente consistiría en aplicar el modelo al mismo cuerpo de agua

o a otro con diferentes condiciones y obtener la predicción del crecimiento con éste. Paralelamente llevar a cabo estudios de campo y experimentos de laboratorio acerca del crecimiento del lirio en el cuerpo de agua donde se está validando el modelo, y con los resultados obtenidos para las diferentes estaciones del año, analizar si concuerda con las predicciones que el modelo esté haciendo; si existe concordancia estará validado el modelo. En caso contrario se tendría que proceder a un ajuste del modelo o, en caso extremo, a un remodelaje.



## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

En este capítulo se indican los resultados más relevantes obtenidos en el estudio, en base a ello se plantean recomendaciones.

### 6.1 CONCLUSIONES.

De la evaluación de los resultados de este trabajo, se desprenden las siguientes conclusiones:

1. El procedimiento utilizado para la selección de los factores más importantes en el crecimiento del lirio acuático es sencillo -- por la facilidad que presenta en el manejo de los datos básicos, así como efectivo, en cuanto a que permite observar rápidamente cuáles son esos factores, a pesar de que no se tuvo control sobre las entradas y salidas del sistema, sobre el clima y los demás factores, además de que el lirio sigue creciendo desmedidamente en los cercos de estudio y en la misma presa, sin llegar a un valor de saturación por no haber ningún tipo de factor limitante.
2. Los factores que se consideran de mayor influencia en el crecimiento del lirio acuático, de acuerdo al análisis presentado en la sección 5.1, son:
  - . Factores climatológicos: luminosidad, temperatura ambiente, precipitación y evaporación, aunque éstos últimos dos se con

sideran tomados en cuenta en la medición de otros factores, como es el caso de los nutrientes.

. Factores del agua: temperatura del agua; macronutrientes como: fósforo, nitrógeno, potasio y azufre y micronutrientes como: hierro y calcio.

. A través de la biomasa, que es la variable propia del sistema, se estudiaron los demás factores.

3. En el ecosistema lirio acuático- medio ambiente, es muy importante el factor hidrodinámico, el cual incluye las posibles variaciones de flujo volumétrico en el sistema; los escurrimientos debido a la precipitación; la evaporación y evapotranspiración que provocan grandes pérdidas de agua en el sistema, ya sea concentrando o diluyendo los nutrientes, en esa forma fue ron considerados en el sistema, lo mismo que la DBO y DQO, tomándose en cuenta de esta manera las descargas de materia orgánica, industriales y domésticas a la presa.

4. La velocidad máxima de crecimiento ( $\hat{\mu}$ ) específica del lirio acuático, depende de la temperatura y en este trabajo se estimó en forma aproximada, siendo su variación de 0.0186 a 0.0725.

5. Se estimó el parámetro  $\Theta$  de la ecuación (5.15), variando entre

0.4624 a 0.5440, para un ámbito de temperatura de 20.05 a 25.73 °C, para el ciclo anual total.

6. En base a los factores seleccionados, se desarrolló el siguiente modelo tentativo de crecimiento:

$$\frac{dX}{dt} = \hat{\mu} \sum_{k=1}^n \frac{\delta}{Z_T} \left( \frac{I_k}{K_I + I_k} \right) \left( \frac{C_{CO_2}}{K_{CO_2} + C_{CO_2}} \right) \left( \frac{C_N}{K_N + C_N} \right) \left( \frac{C_P}{K_P + C_P} \right) \left( \frac{C_K}{K_K + C_K} \right) \left( \frac{C_{Mg}}{K_{Mg} + C_{Mg}} \right) \left( \frac{C_S}{K_S + C_S} \right) \left( \frac{C_{Fe}}{K_{Fe} + C_{Fe}} \right) \left( \frac{C_{Ca}}{K_{Ca} + C_{Ca}} \right) X - K_{r1} X - K_{m1} X - \frac{\hat{\mu}_c X_c}{Y_c/F}$$

el cual es general y puede aplicarse a otros cuerpos infestados de lirio con calidad de agua diferente a la que se tiene en la zona de estudio.

## 6.2 RECOMENDACIONES.

De la experiencia obtenida en este estudio, se dejan establecidos los factores empíricos que más influyen en el crecimiento del lirio acuático y un modelo tentativo de crecimiento, por lo cual, en base a ello y en virtud de que el estudio estuvo limitado, se recomienda:

1. Realizar experimentos controlados a nivel de laboratorio con la finalidad de establecer cuál o cuáles son los factores limitantes, reduciéndose éstos y poder calcular las diversas constantes

y coeficientes involucrados en el modelo, para poder calibrar y validarlo.

2. Seguir planteando estudios de factores y modelos de crecimiento para otras malezas, aunque no sean flotantes, con la ventaja de que podrán ser utilizados en predicciones para el combate u aprovechamiento de ellas.
  
3. Con el fin de correlacionar los resultados de éste estudio con las aportaciones de aguas residuales en la presa, es conveniente que en un futuro se realice una investigación tendiente a establecer el impacto que origina la práctica de disponer las aguas residuales en un cuerpo receptor de la naturaleza de la presa -- Endhó. Esto implica desarrollar e implantar un modelo que describa el comportamiento de los contaminantes en el cuerpo receptor y en el crecimiento del lirio acuático. La información y los resultados obtenidos en este trabajo, pueden complementar un estudio como el recomendado.

Se espera que los factores seleccionados y el modelo tentativo, una vez calibrado, sean útiles y fructíferos para estudios especiales en la búsqueda de la posibilidad de control óptimo del crecimiento del lirio y la purificación adecuada de los cuerpos de agua infestados por esta maleza y -- sirvan como base en la evaluación de los diferentes métodos de combate.

7. BIBLIOGRAFIA.

1. Bagnall L.O., R.L. Shirley and J.F. Heniger. "Processing Chemical Composition and Nutritive Value of Aquatic Weeds" Univesity Florida. Greensville, Florida. Water Resources Research Center, U.S.A. , 1975.
2. Bellon A. et al. "La Interrelación LIRIO-MOSCO-HOMBRE en la -- presa Endhó" . Universidad Metropolitana, México, D.F., 1977.
3. Carrandi Luis et al. "El lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) como problema y su posible utilización en la presa Endhó" . Departamento de Control de Malezas Acuáticas, CIECCA, SARH, México, D.F., 1977.
4. Comisión Forestal del Estado de Michoacán, Serie Técnica, 2a. -- Etapa., México, 1971.
5. De Victorica Almeida J. "Estudio del comportamiento de una laguna experimental en relación al parámetro O de la expresión de Van't Hoff-Arrhenius" . Protección de la Calidad del Agua. Vol. IV, No.1, México, D.F., 1978.
6. Delgado H. Ana María. "Inventario de Infestación por Malezas --- Acuáticas en la República Mexicana". Departamento de Control de Malezas Acuáticas, CIECCA, SARH, México, D.F., 1978.

7. Departamento de Control de Malezas Acuáticas. "Propiedades Fisi-coquímicas y Biológicas del lirio acuático". Informe Técnico, ---- CIECCA, SARH, México, D.F., 1976.
8. Departamento de Control de Malezas Acuáticas. "Control Biológico del lirio acuático por el escarabajo moteado". Informe Técnico, --- CIECCA, SARH, México, D.F., 1977.
9. Devlin R.M. "Plant Physiology". Third Edition, Vannostrand, New York, U.S.A., 1975.
10. Dinges R. "Water Hyacinth Culture for Wastewater Treatment". Texas Department of Health Resources. Health Program Specialist. U.S.A., 1976.
11. Dobzhansky, Theodosius. "The Biology of Ultimate Concern". New American Library, New York, U.S.A., 1967.
12. Font Quer, P. "Botánica Pintoresca". 1a. Edición Editorial Ramón Sopena, S.A., Barcelona, España, 1958.
13. Flores G., Blanca L. "Modelos Físicos Químicos y Biológicos para el Control de la Calidad del Agua". Tesis Profesional, Facultad de Química, UNAM, México, D.F., 1978.
14. Hernández, Joel D. "Desarrollo Agrícola Regional: el Caso del Distrito de Riego de Tula, Hidalgo". Tesis Profesional, UNAM, México, D.F., 1971.

15. Irwin, M. and J.E. Freund. "Probability and Statistics for Engineers". Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs, N.J., 1965.
16. James, W.O. "Introducción a la Fisiología Vegetal". 6a. Edición. Ediciones OMEGA, S.A., Barcelona, España, 1967.
17. Linvil G., Rich. "Environmental Systems Engineering". International Student Edition. McGraw-Hill, New York, 1973.
18. Metcalf R., Eddy J. "Wastewater Engineering". McGraw-Hill Co., New York, 1972.
19. Malezas Acuáticas. "Estudio Biológico del lirio acuático". Informe Técnico, CIECCA, SARH, México, D.F., 1977.
20. Mitchell, D.S. "Aquatic Vegetation and its use and control". UNESCO, París, Francia, 1964.
21. Muzik J. "Weed Biology and Control". McGraw-Hill Book Co., New York, 1970.
22. Odum P. "Ecología". Editorial Interamericana, S.A., México, D.F., 1972.
23. Poole, R.W. "An Introduction to Quantitative Ecology". McGraw-Hill Book Co., New York, U.S.A., 1974.
24. "Proyecto de la Comisión Federal de Electricidad". México, D.F., 1975.

25. Thomas, E.D. "The Process of Eutrophication in Central European Lakes". Eutrophication: Causes, Consequences, Correctives. Oxford, England, 1969.
26. "Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater". 14th. Edition, APHA-AWWA-WWA-WPCF, 1975.
27. Wareing, P.F. "The Control of Growth and Diferentiation in Plants". Oxford, England. Pergamon Press, 1970.
28. West Churchman C. "El Enfoque de Sistemas". Editorial Diana, - México, D.F., 1973.



APENDICE

APENDICE.

Esta sección consiste básicamente en la presentación por medio de Tablas de los datos empíricos obtenidos en este estudio.

Las Tablas de la 1 a la 8, corresponden a los datos experimentales de los factores ambientales para la estación de otoño del 23 de septiembre al 23 de diciembre de 1977.

Las Tablas de la 9 a la 16, corresponden a los datos experimentales de los factores ambientales para la estación de invierno del 23 de diciembre de 1977 al 20 de marzo de 1978.

Las Tablas de la 17 a la 24, corresponden a los datos experimentales de los factores ambientales para la estación de primavera del 21 de marzo al 21 de junio de 1978.

Las Tablas de la 25 a la 32, corresponden a los datos experimentales de los factores ambientales de la estación de verano del 22 de junio al 22 de septiembre de 1978.

Cabe aclarar que en las Tablas 1, 9, 17 y 25, los datos de las columnas de la 7 a la 11, corresponden a una sola planta, pero se dispone de un registro completo para todo el ciclo de estudio, este registro está disponible en el Centro de Investigación y Entrenamiento para el Control de la Calidad del Agua (CIECCA, SARH), en el Departamento de Control y Aprovechamiento de Malezas Acuáticas del mismo centro.

26

En las Tablas donde no exista continuidad de fechas cada semana, es debido a que no se hizo el muestreo, se debe recordar que los muestreos de la calidad del agua, conforme se avanzó en el estudio, se decidió hacerlos cada 15 días, debido a que en base a la observación de los datos, no se presentaba una variación significativa.

La Tabla 33, muestra los datos climatológicos durante el período de estudio, los cuales se obtuvieron de la estación Meteorológica que tiene la SARH en la presa Endhó, asimismo, la Tabla 34 presenta los datos climatológicos promedio para cada estación del año, durante el ciclo de estudio.

La Tabla 35 muestra la luminosidad media estacional, sus valores fueron proyectados en base a los datos disponibles hasta 1974 del Atlas del Agua de la República Mexicana, 1976, para Ixmiquilpan, estado de Hidalgo.

La Tabla 36, muestra la composición química de una planta de lirio acuático que fue analizada en el laboratorio del CIECCA; los parámetros que se presentan se seleccionaron en base a su importancia fisiológica (22), para el crecimiento del lirio acuático.

Todos estos datos experimentales, constituyen la base para el análisis de selección de los factores más importantes en el crecimiento del lirio acuático, que se presentó en el capítulo 5 de este estudio.

NOTA: En las siguientes Tablas léase los nombres de los meses con minúscula y donde diga No., léase Número.

SARH

SUBSECRETARIA DE PLANEACION  
DIRECCION GENERAL DE PROTECCION Y ORDENACION ECOLOGICA  
SUBDIRECCION DE INVESTIGACION Y ENTRENAMIENTO  
DEPARTAMENTO DE CONTROL Y APROVECHAMIENTO DE MALEZAS ACUATICAS

TABLA I PARAMETROS SELECCIONADOS PARA EL ESTUDIO Y PLANEAMIENTO DEL MODELO DE CRECIMIENTO

PERIODO: Otoño

LOCALIDAD: Preso Endho

DE 23 de Septiembre A 23 de Diciembre

AÑO 1977

MUESTREO NUM.	FECHA DE MUESTREO			NUM. DE PLANTAS	PESO DE PLANTA BIOMASA (gr)	LONGITUD DE			DIAMETRO PROMEDIO (cm)	NUM DE HOJAS
	HORA	DIA	MES			RAIZ (cm)	PARTE EXPUESTA (cm)	TOTAL PLANTA (cm)		
1	13:00	25	10	1	275	7	56	63	40.5	5
2	12:40	1	11	2	325	4	32	46	71.5	6
3	11:05	8	11	3	450	13.5	50	63.5	69.5	8
4	17:15	16	11	5	600	20	47	57	83.5	7
5	12:30	22	11	7	750	9	53	62	62.5	8
6	13:30	30	11	9	1000	12	51.5	63.5	80.0	5
7	12:00	6	12	13	1100	11	18	29	92.0	5
8	11:30	13	12	19	1300	6	48	54	76.5	12
9	11:50	20	12	20	1550	3	45	48	57.0	8
10*	11:30	27	12	22	1800	3	9	12	58.5	5

OBSERVACIONES \* Este muestreo corresponde al periodo Invierno, por lo que se pone en Otoño observar comportamiento.

Los datos de las columnas 7 a 11, corresponden a una cada planta.

( CASTILLO H., 1979 )

MUESTREO		FECHA DE MUESTREO		TEMPERATURA		pH	GRASAS Y ACEITES (mg/l)	SOLIDOS SEDIMENTABLES (ml/l)	MATERIA FLOTANTE (g/l)
		DIA	MES	AMBIENTE (°C)	AGUA (°C)				
1	25	10	22	18	7.0	4.96	< 0.1	AUSENTE	
2	1	11	18	21.5	7.0	15.2	< 0.1	AUSENTE	
3	8	11	25	22	7.0	6.10	< 0.1	AUSENTE	
4	17	11	18	18	7.2	15.40	< 0.1	AUSENTE	
5	22	11	20	18.5	7.0	2.50	< 0.1	AUSENTE	
6	30	11	17	15	7.3	4.20	< 0.1	AUSENTE	
7	6	12	17	12	7.4	10.0	< 0.1	AUSENTE	
8	13	12	21.5	16	6.7	7.0	< 0.1	AUSENTE	
9	20	12	21	16	6.8	7.0	< 0.1	AUSENTE	
10	27	12	21	16	6.9	7.0	< 0.1	AUSENTE	

LOCALIDAD: Preso Endhó DE 23 de Septiembre A 22 de Diciembre AÑO 1977

PERIODO: Otoño

Tabla 2 **CARACTERISTICAS BASICAS (ANALISIS FISICO)**

SUBSECRETARIA DE PLANEACION  
DIRECCION GENERAL DE PROTECCION Y ORDENACION ECOLOGICA  
SUBDIRECCION DE INVESTIGACION Y ENTRENAMIENTO  
DEPARTAMENTO DE CONTROL Y APROVECHAMIENTO DE MALEZAS ACUATICAS

**SARH**

OBSERVACIONES: Donde no exista continuidad de fechas cada semana, es debido a que no se hizo el muestreo.

( CASTILLO H., 1979 )

SARH

SUBSECRETARIA DE PLANEACION  
 DIRECCION GENERAL DE PROTECCION Y ORDENACION ECOLOGICA  
 SUBDIRECCION DE INVESTIGACION Y ENTRENAMIENTO  
 DEPARTAMENTO DE CONTROL Y APROVECHAMIENTO DE MALEZAS ACUATICAS

TABLA 3 ANALISIS QUIMICO DE SOLIDOS

PERIODO: Otoño  
 LOCALIDAD: Presa Endhó DE 23 de Septiembre A 22 de Diciembre AÑO 1977

MUESTRO N.	FECHA DE MUESTREO		S O L I D O S								
	DIA	MES	ST (mg/l)	STF (mg/l)	STV (mg/l)	SST, (mg/l)	SSF (mg/l)	SSV (mg/l)	SOT (mg/l)	SDF (mg/l)	SOV (mg/l)
1	25	10	505	220	285	16	0	16	489	220	269
2	1	11	615	485	130	24	0	24	591	485	106
3	8	11	640	405	235	20	0	20	620	405	215
4	17	11	585	235	350	4	0	4	581	235	346
5	22	11	615	370	245	14	0	14	601	370	231
6	30	11	550	295	255	0	0	0	550	295	255
7	6	12	618	455	163	23	0	23	595	455	140
8	13	12	593	335	258	3	0	3	590	335	255
9	20	12	580.5	393	188	7.5	0	7.5	573	393	180.5
10	27	12	568	450	118	12	0	12	556	450	106

OBSERVACIONES:

( CASTILLO H., 1979 )

<p style="text-align: center;"><b>SARH</b></p> <p style="text-align: center;"><b>SUBSECRETARIA DE PLANEACION</b>  <b>DIRECCION GENERAL DE PROTECCION Y ORDENACION ECOLOGICA</b>  <b>SUBDIRECCION DE INVESTIGACION Y ENTRENAMIENTO</b>  <b>DEPARTAMENTO DE CONTROL Y APROVECHAMIENTO DE MALEZAS ACUATICAS</b></p>									
<b>TABLA 4 ANALISIS QUIMICO</b>									
LOCALIDAD <u>Preso Endhó</u>			PERIODO <u>Otoño</u>						
			DE <u>23 de Septiembre</u> A <u>22 de Diciembre</u> AÑO <u>1977</u>						
MUESTREO Nº	FECHA DE MUESTREO		SULFATOS SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> (mg/l)	FENOLES (mg/l)	COLOR pt-Co	As (mg/l)	BORO (mg/l)	CLORUROS Cl (mg/l)	ACIDEZ TOTAL Co CO <sub>3</sub> (mg/l)
	DIA	MES							
1	25	10	150	0.015	115	0.039	0.50	57	49
2	1	11	40	0.011	40	0.034	0.395	47	40
3	8	11	40	0.012	60	0.029	0.29	50	40
4	17	11	145	0.013	50	0.025	0.03	48	29
5	22	11	113	0.103	135	0.022	0.02	46	55
6	30	11	112	0.019	68	0.020	0.01	45	21
7	6	12	112	0.028	27	0.017	0.03	48	21
8	13	12	98	0.020	80	0.015	0.38	47	15
9	20	12	106.5	0.011	75	0.0125	0.20	47.5	14
10	27	12	115	0.002	70	0.010	0.02	48	13
OBSERVACIONES:									

( CASTILLO H., 1979 )

MUESTREO		FECHA DE MUESTREO		O. D. (mg/l)	D. B. O. (mg/l)	D. Q. O. (mg/l)	N I T R O G E N O		NITRITOS NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	NITRATOS NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)
		DIA	MES				AMONICAL (mg/l)	ORGANICO (mg/l)		
1	25	10	0	10.5	118	1.30	3.64	0.015	0.09	
2	1	11	0	11.0	272	4.34	5.47	0.038	0.09	
3	8	11	0	12.0	97	5.54	6.39	0.009	0.09	
4	17	11	0	40.0	79.0	3.30	1.61	0.009	0.168	
5	22	11	0	6.0	72.0	4.21	0.55	0.009	0.088	
6	30	11	0	6.5	28.0	5.08	3.23	0.018	0.088	
7	6	12	0	5.0	37.0	4.86	3.50	0.009	0.17	
8	13	12	0	15.0	37.0	4.20	3.20	0.015	0.17	
9	20	12	0	11.0	41.5	2.79	2.80	0.015	0.167	
10	27	12	0	7.0	46.0	1.38	2.15	0.015	0.168	
OBSERVACIONES.										

( CASTILLO H., 1979 )



SARH

SUBSECRETARIA DE PLANEACION  
DIRECCION GENERAL DE PROTECCION Y ORDENACION ECOLOGICA  
SUBDIRECCION DE INVESTIGACION Y ENTRENAMIENTO  
DEPARTAMENTO DE CONTROL Y APROVECHAMIENTO DE MALEZAS ACUATICAS

TABLA 6 ANALISIS QUIMICO

PERIODO. Otoño

LOCALIDAD Preso Endhó DE 23 de Septiembre A 22 de Diciembre AÑO 1977

MUESTRO Nº	FECHA DE MUESTREO		FOSFORO TOTAL PO <sub>4</sub> (mg/l)	ORTOFOSFATOS PO <sub>4</sub> (mg/l)	DETERGENTES S. A. A. M. (mg/l)	TURBIEDAD Si O <sub>2</sub> (ppm)	DUREZA Ca CO <sub>3</sub> (mg/l)	DUREZA Ca++ Ca CO <sub>3</sub> (mg/l)	DUREZA Mg+ Ca CO <sub>3</sub> (mg/l)
	DIA	MES							
1	25	10	2.50	2.10	4.07	41	283	54	229
2	1	11	3.51	2.30	4.07	74	214	—	—
3	8	11	3.62	2.12	4.80	20	220	—	—
4	17	11	2.30	2.00	4.50	64	212	—	—
5	22	11	4.00	1.80	4.40	48	216	—	—
6	30	11	1.90	1.90	3.70	40	233	—	—
7	6	12	1.90	1.00	4.10	14	229	—	—
8	13	12	2.00	1.20	4.05	55	233	—	—
9	20	12	1.83	1.20	3.30	35	231	—	—
10	27	12	1.65	1.20	2.50	1.50	229	—	—

OBSERVACIONES: — No lo determino el laboratorio

( CASTILLO H., 1979 )

**SARH**

**SUBSECRETARIA DE PLANEACION**  
**DIRECCION GENERAL DE PROTECCION Y ORDENACION ECOLOGICA**  
**SUBDIRECCION DE INVESTIGACION Y ENTRENAMIENTO**  
**DEPARTAMENTO DE CONTROL Y APROVECHAMIENTO DE MALEZAS ACUATICAS**

**TABLA 7 CONTINUACION ANALISIS QUIMICO ANALISIS BACTERIOLOGICO**

PERIODO Otoño

LOCALIDAD Preso Endhó

DE 23 de Septiembre A 22 de Diciembre

AÑO 1977

MUESTREO Nº	FECHA DE MUESTREO		ALCALINIDAD TOTAL mg/l	CONDUCTIVIDAD micromhos/cm	C O L I F O R M E S		ESTREPTOCOCOS FECALES NMP x 100 ml
	DIA	MES			TOTALES NMP x 100 ml	FECALES NMP x 100 ml	
1	25	10	271	809	2.8 x 10 <sup>5</sup>	2.2 x 10 <sup>5</sup>	0.049 x 10 <sup>5</sup>
2	1	11	264	781	0.49 x 10 <sup>5</sup>	0.23 x 10 <sup>5</sup>	<0.02 x 10 <sup>5</sup>
3	8	11	260	748	0.008 x 10 <sup>5</sup>	0.008 x 10 <sup>5</sup>	0.0079 x 10 <sup>5</sup>
4	17	11	246	783	0.009 x 10 <sup>5</sup>	0.009 x 10 <sup>5</sup>	0.0017 x 10 <sup>5</sup>
5	22	11	267	774	0.0014 x 10 <sup>5</sup>	0.0014 x 10 <sup>5</sup>	0.0014 x 10 <sup>5</sup>
6	30	11	246	763	1.8 x 10 <sup>5</sup>	1.4 x 10 <sup>5</sup>	1.4 x 10 <sup>5</sup>
7	6	12	246	756	5.5 x 10 <sup>5</sup>	3.4 x 10 <sup>5</sup>	2.45 x 10 <sup>5</sup>
8	13	12	244	762	9.2 x 10 <sup>5</sup>	5.4 x 10 <sup>5</sup>	3.5 x 10 <sup>5</sup>
9	20	12	242.5	763	12 x 10 <sup>5</sup>	7.5 x 10 <sup>5</sup>	5.5 x 10 <sup>5</sup>
10	27	12	241	763	13.5 x 10 <sup>5</sup>	9.5 x 10 <sup>5</sup>	6.5 x 10 <sup>5</sup>

OBSERVACIONES:

( CASTILLO H., 1979 )

SARH

SUBSECRETARIA DE PLANEACION  
 DIRECCION GENERAL DE PROTECCION Y ORDENACION ECOLOGICA  
 SUBDIRECCION DE INVESTIGACION Y ENTRENAMIENTO  
 DEPARTAMENTO DE CONTROL Y APROVECHAMIENTO DE MALEZAS ACUATICAS

TABLA 8 ANALISIS QUIMICO DE METALES

PERIODO: Otoño

LOCALIDAD Preso Endó DE 23 de Septiembre A 22 de Diciembre AÑO 1977

MUESTREO Nº	FECHA DE MUESTREO		M		E		T		A		L		E		S	
	DIA	MES	Al (mg/l)	Fe (mg/l)	K (mg/l)	Na (mg/l)	Mg (mg/l)	Co (mg/l)	Hg (mg/l)	Mo (mg/l)	Mn (mg/l)	Cu (mg/l)	Zn (mg/l)	Co (mg/l)	Pb (mg/l)	
1	25	10	< 1.0	0.26	26.2	92.52	17.9	43.3	0.0005	1.0	0.39	< 0.05	0.04	< 0.1	< 0.5	
2	1	11	< 1.0	0.60	20.0	89.00	18.0	49.0	18.0	1.0	0.40	< 0.05	0.04	< 0.1	< 0.05	
3	8	11	< 1.0	0.12	17.40	86.0	18.0	51.0	< 0.0005	< 1.0	0.38	< 0.05	0.04	< 0.1	< 0.5	
4	17	11	< 1.0	0.12	17.7	101.0	17.4	51.0	< 0.0005	< 1.0	0.37	< 0.05	0.02	< 0.1	< 0.5	
5	22	11	< 1.0	0.17	17.7	91.4	19.3	60.0	< 0.0005	< 1.0	0.34	< 0.05	< 0.02	< 0.1	< 0.5	
6	30	11	1.0	< 0.1	16.5	97.0	17.10	50.0	< 0.0005	< 1.0	0.34	< 0.05	< 0.02	< 0.1	< 0.5	
7	6	12	< 1.0	< 0.1	16.2	97.0	17.20	46.0	< 0.0005	< 1.0	0.34	< 0.05	< 0.02	< 0.1	< 0.5	
8	13	12	< 1.0	< 0.1	16.4	90.0	17.00	44.0	< 0.0005	< 1.0	0.33	< 0.05	0.05	< 0.1	< 0.5	
9	20	12	< 1.0	< 0.1	16.2	87.0	17.10	45.5	< 0.0005	< 1.0	0.31	< 0.05	0.035	< 0.1	< 0.5	
10	27	12	< 1.0	< 0.1	16.0	84.0	17.20	47.0	< 0.0005	< 1.0	0.29	< 0.05	0.02	< 0.1	< 0.5	

OBSERVACIONES:

( CASTILLO H., 1979 )

# SARH

**SUBSECRETARIA DE PLANEACION**  
**DIRECCION GENERAL DE PROTECCION Y ORDENACION ECOLOGICA**  
 SUBDIRECCION DE INVESTIGACION Y ENTRENAMIENTO  
 DEPARTAMENTO DE CONTROL Y APROVECHAMIENTO DE MALEZAS ACUATICAS

**TABLA 9 PARAMETROS SELECCIONADOS PARA EL ESTUDIO Y PLANTEAMIENTO DEL MODELO DE CRECIMIENTO**

PERIODO: INVIERNO

LOCALIDAD: Presa Endhó, Hgo.

DE: 23 de Diciembre A: 20 de Marzo

AÑOS: 1977-1978.

MUESTREO NUM.	FECHA DE MUESTREO			NUM. DE PLANTAS	PESO DE PLANTA BIOMASA (gr)	LONGITUD DE			DIAMETRO PROMEDIO (cm)	NUM. DE HOJAS
	HORA	DIA	MES			RAIZ (cm)	PARTE EXPUESTA (cm)	TOTAL PLANTA (cm)		
10	11:30	27	12	22	1800	3.0	9.0	12	58.5	5
11	11:20	3	01	24	1825	3.0	9.0	12	58.5	5
12	14:00	11	01	30	1850	6.5	10.5	17	23.0	7
13	12:00	17	01	49	1900	8.0	16.0	24	20.0	7
14	14:00	24	01	57	2050	9.0	17.0	26	18.5	7
15	15:00	2	02	64	2350	11.0	7.0	18	25.5	2
16	12:00	7	02	85	2550	7.0	16.0	23	15.0	4
17	17:00	14	02	89	2900	10.0	9.0	19	17.0	4
18	13:00	21	02	107	3300	7.0	9.0	16	15.0	2
19	14:00	28	02	120	3750	6.0	10.0	16	16.0	2
20	14:00	7	03	144	4250	7.0	9.0	16	14.5	4
21	11:30	14	03	162	4750	9.0	7.0	16	11.0	5
22 *	14:00	28	03	243	6050	9.0	8.0	17	12.0	4

OBSERVACIONES: \* Muestreo correspondiente al periodo Primavera, se incluye en la tabla para observar comportamiento. Las dotas de las columnas 7 a 11, corresponden a uno sola planta.

# SARH

**SUBSECRETARIA DE PLANEACION**  
**DIRECCION GENERAL DE PROTECCION Y ORDENACION ECOLOGICA**  
 SUBDIRECCION DE INVESTIGACION Y ENTRENAMIENTO  
 DEPARTAMENTO DE CONTROL Y APROVECHAMIENTO DE MALEZAS ACUATICAS

**TABLA 10 CARACTERISTICAS BASICAS (ANALISIS FISICO)**  
 PERIODO: INVIERNO

LOCALIDAD: Presa Endhó, Hgo.

DE: 23 de Diciembre A: 20 de Marzo

AÑOS: 1977-1978

MUESTREO Nº	FECHA DE MUESTREO		TEMPERATURA		pH	GRASAS Y ACEITES (mg/l)	SOLIDOS SEDIMENTABLES (ml/l)	MATERIA FLOTANTE (g/l)
	DIA	MES	AMBIENTE (°C)	AGUA (°C)				
10	27	12	21	16.0	6.9	7.00	< 0.1	*
11	3	01	22	15.0	6.8	19.00	< 0.1	*
12	11	01	21	15.0	7.1	15.20	< 0.1	*
13	17	01	23	15.0	7.2	6.17	< 0.1	*
14	24	01	17	15.5	7.1	3.90	< 0.1	*
15	2	02	28	15.0	7.3	3.60	< 0.1	*
16	7	02	10	16.0	6.7	4.80	< 0.1	*
17	14	02	18	14.5	6.5	8.34	< 0.1	*
18	21	02	13	14.0	6.7	2.35	< 0.1	*
20	7	03	25	16.0	6.6	3.00	< 0.1	*
22	28	03	27	26.5	6.8	6.56	< 0.1	*

OBSERVACIONES: \* Valor no reportado por el laboratorio. Donde no exista continuidad de fecha cada semana, es debido a que no se efectuó el muestreo.

(CASTILLO H., 1979)

**SARH**

**SUBSECRETARIA DE PLANEACION**  
**DIRECCION GENERAL DE PROTECCION Y ORDENACION ECOLOGICA**  
**SUBDIRECCION DE INVESTIGACION Y ENTRENAMIENTO**  
**DEPARTAMENTO DE CONTROL Y APROVECHAMIENTO DE MALEZAS ACUATICAS**

**TABLA II ANALISIS QUIMICO DE SOLIDOS**

PERIODO: INVIERNO

LOCALIDAD: Presa Endhó, Hgo.

DE: 23 de Diciembre A: 20 de Marzo AÑOS: 1977-1978.

MUESTREO Nº	FECHA DE MUESTREO		S O L I D O S								
	DIA	MES	ST (mg/l)	STF (mg/l)	STV (mg/l)	SST (mg/l)	SSF (mg/l)	SSV (mg/l)	SDT (mg/l)	SDF (mg/l)	SDV (mg/l)
10	27	12	568	450	118	12	0	12	556	450	106
11	3	01	595	428	167	4	0	4	591	428	163
12	11	01	600	470	130	10	0	10	590	470	120
13	17	01	620	360	260	6	0	6	614	360	254
14	24	01	665	525	140	4	0	4	661	525	136
15	2	02	605	425	180	4	0	4	601	425	176
16	7	02	680	485	195	8	0	8	672	485	187
17	14	02	655	440	215	12	0	12	643	440	203
18	21	02	655	375	280	4	0	4	651	375	276
20	7	03	645	495	150	16	0	16	629	495	134
22	28	03	605	475	130	10	0	10	595	475	120

OBSERVACIONES:

( CASTILLO H., 1979 )

# SARH

**SUBSECRETARIA DE PLANEACION  
DIRECCION GENERAL DE PROTECCION Y ORDENACION ECOLOGICA  
SUBDIRECCION DE INVESTIGACION Y ENTRENAMIENTO  
DEPARTAMENTO DE CONTROL Y APROVECHAMIENTO DE MALEZAS ACUATICAS**

## TABLA 12 ANALISIS QUIMICO

PERIODO : INVIERNO

LOCALIDAD: Presa Endhó, Hgo.

DE: 23 de Diciembre A: 20 de Marza

AÑOS: 1977-1978.

MUESTREO Nº	FECHA DE MUESTREO		O.D. (mg/l)	D.B.O. (mg/l)	D.Q.O. (mg/l)	NITROGENO		No <sub>2</sub> (mg/l)	No <sub>3</sub> (mg/l)
	DIA	MES				AMONIACAL (mg/l)	ORGANICO (mg/l)		
10	27	12	0	7.0	46.0	1.38	2.15	0.015	0.168
11	3	01	0	6.0	17.0	3.08	6.00	0.015	0.116
12	11	01	0	6.0	17.0	3.29	0.70	0.017	0.596
13	17	01	0	14.0	42.0	3.20	1.75	0.150	0.276
14	24	01	0	10.5	45.0	6.83	2.15	0.150	0.168
15	2	02	0	14.0	50.0	< 0.05	0.33	0.017	0.116
16	7	02	0	2.4	30.0	4.0	2.15	0.017	0.276
17	14	02	0	10.0	57.6	0.33	0.64	0.009	0.074
18	21	02	0	2.0	48.0	0.61	3.43	0.011	< 0.010
20	7	03	0	4.0	29.0	3.41	1.53	0.080	0.070
22	28	03	0	5.0	37.0	3.11	3.52	0.002	0.310

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

( CASTILLO H., 1979 )

# SARH

**SUBSECRETARIA DE PLANEACION**  
**DIRECCION GENERAL DE PROTECCION Y ORDENACION ECOLOGICA**  
**SUBDIRECCION DE INVESTIGACION Y ENTRENAMIENTO**  
**DEPARTAMENTO DE CONTROL Y APROVECHAMIENTO DE MALEZAS ACUATICAS**

**TABLA 13 ANALISIS QUIMICO**  
 PERIODO : INVIERNO

LOCALIDAD: Presa Endhó, Hgo.      DE: 23 de Diciembre    A: 20 de Marzo      AÑOS: 1977-1978.

MUESTREO Nº	FECHA DE MUESTREO		FOSFORO TOTAL PO <sub>4</sub> (mg/l)	ORTOFOSFATOS PO <sub>4</sub> (mg/l)	DETERGENTES S.A.A.M. (mg/l)	TURBIEDAD S <sub>1</sub> O <sub>2</sub> (mg/l)	DUREZA Ca CO <sub>3</sub> (mg/l)	DUREZA Ca <sup>++</sup> Ca CO <sub>3</sub> (mg/l)	DUREZA Mg <sup>++</sup> Ca CO <sub>3</sub> (mg/l)
	DIA	MES							
10	27	12	1.65	1.20	2.50	1.5	229	*	*
11	3	01	1.85	1.25	3.00	3.4	299	*	*
12	11	01	1.40	1.25	2.80	5.5	290	*	*
13	17	01	1.75	1.70	2.67	6.0	304	*	*
14	24	01	2.30	1.70	2.67	9.0	261	*	*
15	2	02	3.25	1.80	2.66	6.5	267	*	*
16	7	02	3.70	2.10	2.38	6.0	268	*	*
17	14	02	2.55	2.10	2.26	5.0	276	51	225
18	21	02	2.05	1.90	2.40	8.6	291	53	238
20	7	03	2.30	2.00	2.24	7.0	279	53	226
22	28	03	3.50	0.50	2.52	7.0	281	54	227

OBSERVACIONES: \* Valor no reportado por el laboratorio.

( CASTILLO H., 1979 )



# SARH

**SUBSECRETARIA DE PLANEACION  
DIRECCION GENERAL DE PROTECCION Y ORDENACION ECOLOGICA  
SUBDIRECCION DE INVESTIGACION Y ENTRENAMIENTO  
DEPARTAMENTO DE CONTROL Y APROVECHAMIENTO DE MALEZAS ACUATICAS**

## TABLA 14 ANALISIS QUIMICO

PERIODO: INVIERNO

LOCALIDAD: Presa Endhó, Hgo.

DE: 23 de Diciembre

A: 20 de Marzo

AÑOS: 1977 - 1978.

MUESTREO Nº	FECHA DE MUESTREO		SULFATOS SO <sub>4</sub> (mg/l)	FENOLES (mg/l)	COLOR pt-Co	As (mg/l)	BORO (mg/l)	CLORUROS Cl (mg/l)	ACIDEZ TOTAL Ca CO <sub>3</sub> (mg/l)
	DIA	MES							
10	27	12	115.0	0.002	70	*	0.02	48.0	13.0
11	3	01	103.0	0.186	80	*	0.50	46.0	13.0
12	11	01	106.5	0.106	40	*	0.30	50.0	32.0
13	17	01	100.0	0.026	57	*	0.02	55.0	21.0
14	24	01	100.0	0.009	57	*	0.028	70.0	42.0
15	2	02	119.0	0.020	90	*	0.06	65.0	23.0
16	7	02	123.2	0.003	60	*	0.08	65.0	8.0
17	14	02	107.0	0.017	70	*	0.04	70.0	8.0
18	21	02	119.0	0.011	70	*	0.34	60.0	8.0
20	7	03	17.9	0.003	70	*	0.01	59.0	28.0
22	28	03	88.0	0.001	65	*	0.01	63.4	5.7

OBSERVACIONES: \* Valor no reportada por el laboratorio.

( CASTILLO H., 1979 )

# SARH

**SUBSECRETARIA DE PLANEACION**  
**DIRECCION GENERAL DE PROTECCION Y ORDENACION ECOLOGICA**  
**SUBDIRECCION DE INVESTIGACION Y ENTRENAMIENTO**  
**DEPARTAMENTO DE CONTROL Y APROVECHAMIENTO DE MALEZAS ACUATICAS**

**TABLA 15 CONTINUACION ANALISIS QUIMICO ANALISIS BACTERIOLOGICO**  
 PERIODO : INVIERNO

LOCALIDAD: Presa Endó, Hgo.

DE: 23 de Diciembre A: 20 de Marzo

AÑOS: 1977-1978.

MUESTREO Nº	FECHA DE MUESTREO		ALCALINIDAD TOTAL (mg/l)	CONDUCTIVIDAD (micromhos/cm.)	COLIFORMES		ESTREPTOCOCCOS FECALES NMPx100ml
	DIA	MES			TOTALES NMP x 100 ml	FECALES NMPx100ml	
10	27	12	241	763	$13.50 \times 10^5$	$9.50 \times 10^5$	$6.50 \times 10^5$
11	3	01	244	768	$2.20 \times 10^5$	$1.40 \times 10^5$	$1.40 \times 10^5$
12	11	01	262	774	$1.60 \times 10^5$	$1.60 \times 10^5$	$0.017 \times 10^5$
13	17	01	269	793	$\geq 0.24 \times 10^5$	$\geq 0.24 \times 10^5$	$0.022 \times 10^5$
14	24	01	283	781	$0.24 \times 10^5$	$0.079 \times 10^5$	$0.079 \times 10^5$
15	2	02	262	799	$0.54 \times 10^5$	$0.35 \times 10^5$	$0.023 \times 10^5$
16	7	02	262	799	$2.80 \times 10^5$	$1.10 \times 10^5$	$0.033 \times 10^5$
17	14	02	213	795	$\geq 2.40 \times 10^5$	$1.60 \times 10^5$	$0.22 \times 10^5$
18	21	02	217	798	$0.13 \times 10^5$	$0.049 \times 10^5$	$0.046 \times 10^5$
20	7	03	261	820	$0.13 \times 10^5$	$0.049 \times 10^5$	$0.046 \times 10^5$
22	28	03	268	840	$\geq 2.40 \times 10^5$	$0.92 \times 10^5$	$0.54 \times 10^5$

OBSERVACIONES:

---



---



---

# SARH

**SUBSECRETARIA DE PLANEACION**  
**DIRECCION GENERAL DE PROTECCION Y ORDENACION ECOLOGICA**  
 SUBDIRECCION DE INVESTIGACION Y ENTRENAMIENTO  
 DEPARTAMENTO DE CONTROL Y APROVECHAMIENTO DE MALEZAS ACUATICAS

**TABLA 16 ANALISIS QUIMICO DE METALES**  
 PERIODO : INVIERNO

LOCALIDAD: Presa Endhó, Hgo.      DE: 23 de Diciembre    A: 20 de Marzo      AÑOS: 1977-1978.

MUESTREO Nº	FECHA DE MUESTREO		M E T A L E S												
	DIA	MES	Al	Fe	K	Na	Mg	Ca	Hg	Mo	Mn	Cu	Zn	Co	Pb
			(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
10	27	12	-1.0	-0.1	16.0	84.0	17.20	47.0	-0.0005	-1.0	0.29	-0.05	0.02	-0.1	-0.5
11	3	01	-1.0	-0.1	17.0	83.5	17.00	46.5	-0.0005	-1.0	0.27	-0.05	0.02	-0.1	-0.5
12	11	01	-1.0	-0.1	18.0	88.0	18.00	47.5	-0.0005	-1.0	0.30	-0.05	0.02	-0.1	-0.5
13	17	01	-1.0	-0.1	15.5	84.0	17.10	45.0	-0.0005	-1.0	0.20	-0.05	0.02	-0.1	-0.5
14	24	01	-1.0	-0.40	20.5	92.0	20.00	43.0	-0.0005	-1.0	0.32	-0.05	0.04	-0.1	-0.5
15	2	02	-1.0	-0.21	18.2	95.0	21.00	42.0	-0.0005	-1.0	0.28	-0.05	0.03	-0.1	-0.5
16	7	02	-1.0	-0.50	18.0	85.5	17.80	48.0	-0.0020	-1.0	0.26	-0.05	0.07	-0.1	-0.5
17	14	02	-1.0	-0.30	18.0	97.0	18.00	49.0	-0.0005	-1.0	0.28	-0.05	0.03	-0.1	-0.5
18	21	02	-1.0	-0.16	19.0	94.0	20.50	49.5	-0.0014	-1.0	0.30	-0.05	0.65	-0.1	-0.5
20	7	03	-1.0	-0.29	19.3	101.0	19.00	52.0	-0.0005	-1.0	0.26	-0.05	0.17	-0.1	-0.5
22	28	03	-1.0	-0.20	19.5	100.0	18.50	55.0	-0.0005	-1.0	0.23	-0.05	0.02	-0.1	-0.5

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

( CASTILLO H., 1979 )

**SARH**

**SUBSECRETARIA DE PLANEACION**  
**DIRECCION GENERAL DE PROTECCION Y ORDENACION ECOLOGICA**  
**SUBDIRECCION DE INVESTIGACION Y ENTRENAMIENTO**  
**DEPARTAMENTO DE CONTROL Y APROVECHAMIENTO DE MALEZAS ACUATICAS**

**TABLA 17 PARAMETROS SELECCIONADOS PARA EL ESTUDIO Y PLANTEAMIENTO DEL MODELO DE CRECIMIENTO**

PERIODO. <u>Primavera</u>										
LOCALIDAD. <u>Preso Endhó</u>				DE <u>21 de Marzo</u>		A <u>21 de Junio</u>		AÑO <u>1978</u>		
MUESTREO NUM.	FECHA DE MUESTREO			NUM. DE PLANTAS	PESO DE PLANTA BIOMASA (gr)	L O N G I T U D D E			DIAMETRO PROMEDIO (cm)	NUM. DE HOJAS
	HORA	DIA	MES			RAIZ (cm)	PARTE EXPUESTA (cm)	TOTAL PLANTA (cm)		
22	14:00	28	03	7	1100	9	8	17	12.0	4
23	13:00	4	03	17	1250	15	10	25	14.0	5
24	15:00	11	04	41	1900	9	12	21	18.5	6
25	13:15	20	04	64	2450	4	7	11	8.5	3
26	12:30	27	04	116	3100	20	41	57	59.5	26
27	12:40	4	05	162	4000	22	30	52	55	10
28	11:50	18	05	243	5800	12	31	43	58.5	7
29	11:50	1	06	300	8300	21	30	51	44.5	7
30	12:45	8	06	463	11000	22	32	54	42.5	7
31	13:00	15	06	562	16400	12	23	35	39.0	8
32	12:00	22	06	600	17500	20	25	45	30.5	9

OBSERVACIONES. Los datos de las columnas 7 a 11, corresponden a una sola planta

( CASTILLO H., 1979 )

SARH

SUBSECRETARIA DE PLANEACION  
DIRECCION GENERAL DE PROTECCION Y ORDENACION ECOLOGICA  
SUBDIRECCION DE INVESTIGACION Y ENTRENAMIENTO  
DEPARTAMENTO DE CONTROL Y AFROVECHAMIENTO DE MALEZAS ACUATICAS

Tabla 18 CARACTERISTICAS BASICAS ( ANALISIS FISICO )

LOCALIDAD: Preso Endhò		PERIODO: Primavera		DE 21 de marzo		A 21 de junio		AÑO 1978	
MUESTREO No.	FECHA DE MUESTREO		TEMPERATURA		pH	GRASAS Y ACEITES (mg / l)	SOLIDOS SEDIMENTABLES (mg / l)	MATERIA FLOTANTE (g / l)	
	DIA	MES	AMBIENTE (°C)	AGUA (°C)					
22	28	03	27	26.5	6.8	6.56	0.10	—	
24	11	04	25	22.0	7.3	1.40	0.10	—	
26	27	04	25	19	7.5	53.70	1.70	—	
28	18	05	30	19	7.4	15.55	0.20	—	
29	1	06	26	20	6.95	9.51	0.15	—	
30	8	06	25	21	7.3	2.02	0.20	—	
32	22	06	24	20	7.2	189.0	0.10	—	

OBSERVACIONES: — No se reportó su valor por el laboratorio.

Donde no exista continuidad de fechas cada semana, es debido a que no se hizo el muestreo.

( CASTILLO H., 1979 )

SARH

SUBSECRETARIA DE PLANEACION  
 DIRECCION GENERAL DE PROTECCION Y ORDENACION ECOLOGICA  
 SUBDIRECCION DE INVESTIGACION Y ENTRENAMIENTO  
 DEPARTAMENTO DE CONTROL Y APROVECHAMIENTO DE MALEZAS ACUATICAS

Tabla 19 ANALISIS QUIMICO DE SOLIDOS

PERIODO: Primavera

LOCALIDAD: Preso Endó DE 21 de marzo A 21 de junio AÑO 1978

MUESTREO No.	FECHA DE MUESTREO		S O L I D O S									
	DIA	MES	ST (mg / l)	STF (mg / l)	STV (mg / l)	SST (mg // l)	SSF (mg / l)	SSV (mg / l)	SDT (mg / l)	SDF (mg / l)	SDV (mg / l)	
22	28	03	605	475	130	10	0	10	595	475	120	
24	11	04	815	695	120	24	10	14	791	685	106	
26	27	04	852	552	300	72	44	28	780	508	272	
28	18	05	637	605	32	6	6	0	631	599	32	
29	1	06	730	560	170	30	0	30	700	560	140	
30	8	06	635	410	225	57	28	29	578	382	196	
32	22	06	505	400	105	40	0	40	465	400	65	

OBSERVACIONES:

( CASTILLO H., 1979 )

SARH

SUBSECRETARIA DE PLANEACION  
 DIRECCION GENERAL DE PROTECCION Y ORDENACION ECOLOGICA  
 SUBDIRECCION DE INVESTIGACION Y ENTRENAMIENTO  
 DEPARTAMENTO DE CONTROL Y APROVECHAMIENTO DE MALEZAS ACUATICAS

Tabla 20 ANALISIS QUIMICO

PERIODO: Primavera

LOCALIDAD: Preso Endó DE 21 de marzo A 21 de junio AÑO 1978

MUESTREO No.	FECHA DE MUESTREO		SULFATOS SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ( mg / l )	FENOLES ( mg / l )	COLOR pt-Co	As ( mg / l )	BORO ( mg / l )	CLORUROS Cl ( mg / l )	ACIDEZ TOTAL Ca CO <sub>3</sub> ( mg / l )
	DIA	MES							
22	28	03	88.0	0.001	65	—	0.010	63.4	5.7
24	11	04	158.4	< 0.001	112	—	0.015	57.6	8.0
26	27	04	119.0	< 0.001	175	< 0.001	0.020	92.0	19.0
28	18	05	74.0	< 0.001	25	< 0.001	0.025	59.0	17.0
29	1	06	560.0	< 0.001	33	< 0.001	0.090	59.0	19.0
30	8	06	460.0	0.003	120	< 0.001	0.020	65.0	6.0
32	22	06	412.0	0.001	117	< 0.001	0.040	64.0	21.0

OBSERVACIONES: — Valor no reportado por el laboratorio

( CASTILLO H., 1979 )

SARH

SUBSECRETARIA DE PLANEACION  
 DIRECCION GENERAL DE PROTECCION Y ORDENACION ECOLOGICA  
 SUBDIRECCION DE INVESTIGACION Y ENTRENAMIENTO  
 DEPARTAMENTO DE CONTROL Y APROVECHAMIENTO DE MALEZAS ACUATICAS

Tabla 21 ANALISIS QUIMICO

LOCALIDAD:		Presa Endhó		PERIODO: Primavera			DE 21 de marzo		A 21 de junio		AÑO 1978	
MUESTRO No.	FECHA DE MUESTREO		O. D. ( mg / l )	D. B. O. ( mg / l )	D. O. O. ( mg / l )	NITROGENO		NITRITOS NO <sub>2</sub> ( mg / l )	NITRATOS NO <sub>3</sub> ( mg / l )			
	DIA	MES				AMONICAL ( mg / l )	ORGANICO ( mg / l )					
22	28	03	0.0	5.0	37.0	3.11	3.52	0.002	0.310			
24	11	04	0.0	12.0	44.0	3.74	3.09	0.004	0.061			
26	27	04	0.0	30.0	80.0	6.95	8.49	0.004	0.086			
28	18	05	3.0	10.0	41.0	9.75	12.05	0.100	0.430			
29	1	06	0.0	10.0	80.0	5.36	9.60	0.119	0.560			
30	8	06	0.0	22.0	71.0	10.56	12.92	0.430	0.250			
32	22	06	0.0	10.0	44.0	12.44	12.92	0.490	0.093			
OBSERVACIONES :												

( CASTILLO H., 1979 )



SARH

SUBSECRETARIA DE PLANEACION  
 DIRECCION GENERAL DE PROTECCION Y ORDENACION ECOLOGICA  
 SUBDIRECCION DE INVESTIGACION Y ENTRENAMIENTO  
 DEPARTAMENTO DE CONTROL Y APROVECHAMIENTO DE MALEZAS ACUATICAS

Tabla 22 ANALISIS QUIMICO

PERIODO: Primavera

LOCALIDAD: Preso Endó de 21 de marzo a 21 de junio año 1978

MUESTRO No.	FECHA DE MUESTRO		FOSFORO TOTAL	ORTOFOSFATOS	DETERGENTES	TURBIDAO	DUREZA	DUREZA Ca <sup>++</sup>	DUREZA Mg <sup>+</sup>
	DIA	MES	PO <sub>4</sub> <sup>m</sup> (mg / l)	PO <sub>4</sub> <sup>m</sup> (mg / l)	S.A.A.M. (mg / l)	S <sub>1</sub> O <sub>2</sub> (ppm)	Ca CO <sub>3</sub> (mg / l)	Ca CO <sub>3</sub> (mg / l)	Ca CO <sub>3</sub> (mg / l)
22	28	03	3.50	0.5	2.52	7.0	281	54	227
24	11	04	3.00	1.3	1.85	2.0	253	59	194
26	27	04	1.65	0.6	2.52	60	254	31	173
28	18	05	2.00	1.9	2.52	4.5	272	65	207
29	1	06	2.80	1.35	2.45	27.0	264	63	201
30	8	06	4.80	2.80	4.80	40.0	235	54	181
32	22	06	3.20	2.35	4.60	15.0	225	52	173

OBSERVACIONES:

( CASTILLO H., 1979 )

SARH

SUBSECRETARIA DE PLANEACION  
 DIRECCION GENERAL DE PROTECCION Y ORDENACION ECOLOGICA  
 SUBDIRECCION DE INVESTIGACION Y ENTRENAMIENTO  
 DEPARTAMENTO DE CONTROL Y APROVECHAMIENTO DE MALEZAS ACUATICAS

Tabla 23 ANALISIS QUIMICO ANALISIS BACTERIOLOGICO

PERIODO: Primavera

LOCALIDAD: Presa Endhó DE 21 de marzo A 21 de junio AÑO 1978

MUESTRO No.	FECHA DE MUESTRO		ALCALINIDAD TOTAL ( mg / l )	CONDUCTIVIDAD ( micromhos / cm )	COLIFORMES		ESTREPTOCOCCOS FECALES ( NMP x 100ml )
	DIA	MES			TOTALES ( NMP x 100ml )	FECALES ( NMP x 100ml )	
22	28	03	268	840	≤ 2.4 x 10 <sup>5</sup>	0.92 x 10 <sup>5</sup>	0.54 x 10 <sup>5</sup>
24	11	04	258	890	0.16 x 10 <sup>5</sup>	0.035 x 10 <sup>5</sup>	0.0033 x 10 <sup>5</sup>
26	27	04	258	885	27 x 10 <sup>5</sup>	0.8 x 10 <sup>5</sup>	0.17 x 10 <sup>5</sup>
28	18	05	256	999	94 x 10 <sup>5</sup>	27 x 10 <sup>5</sup>	12 x 10 <sup>5</sup>
29	1	06	266	985	160 x 10 <sup>5</sup>	54 x 10 <sup>5</sup>	24 x 10 <sup>5</sup>
30	8	06	258	787	≤ 240 x 10 <sup>5</sup>	160 x 10 <sup>5</sup>	54 x 10 <sup>5</sup>
32	22	06	252	811	350 x 10 <sup>5</sup>	350 x 10 <sup>5</sup>	220 x 10 <sup>5</sup>

OBSERVACIONES :

( CASTILLO H., 1979 )

SARH

SUBSECRETARIA DE PLANEACION  
 DIRECCION GENERAL DE PROTECCION Y ORDENACION ECOLOGICA  
 SUBDIRECCION DE INVESTIGACION Y ENTRENAMIENTO  
 DEPARTAMENTO DE CONTROL Y APROVECHAMIENTO DE MALEZAS ACUATICAS

TABLA 24 ANALISIS QUIMICO DE METALES

PERIODO. Primavera

LOCALIDAD. Presa Endó DE 21 de Marzo A 21 de Junio AÑO 1978

MUESTRO Nº	FECHA DE MUESTRO		M E T A L E S													
	DIA	MES	Al (mg/l)	Fe (mg/l)	K (mg/l)	Na (mg/l)	Mg (mg/l)	Ca (mg/l)	Hg (mg/l)	Mn (mg/l)	Cu (mg/l)	Zn (mg/l)	Co (mg/l)	Pb (mg/l)		
22	28	03	<1.0	0.20	19.5	100.0	18.5	55.0	<0.0005	<1.0	0.23	<0.05	<0.02	0.1	<0.5	
24	11	04	<1.0	0.36	25.0	100.0	18.0	44.5	<0.0005	<1.0	0.27	<0.05	0.39	0.1	<0.5	
26	27	04	2.0	0.70	22.4	103.0	20.0	50.0	<0.0005	0.20	0.20	<0.05	0.10	0.1	<0.5	
28	18	05	<0.5	0.15	20.86	106.0	23.36	63.0	<0.0005	<0.5	0.19	<0.05	0.072	0.1	<0.5	
29	1	06	1.4	0.80	20.30	107.0	23.40	61.0	<0.0005	<1.0	0.43	<0.05	0.072	0.1	<0.5	
30	8	06	1.77	1.69	20.44	87.98	150.46	58.0	<0.0005	<1.0	0.50	<0.05	0.026	<0.1	<0.5	
32	22	06	<0.1	0.84	18.26	97.52	150.46	55.0	<0.0005	<1.0	0.43	<0.05	0.026	<0.1	<0.5	

OBSERVACIONES.

( CASTILLO H., 1979 )

# SARH

**SUBSECRETARIA DE PLANEACION**  
**DIRECCION GENERAL DE PROTECCION Y ORDENACION ECOLOGICA**  
**SUBDIRECCION DE INVESTIGACION Y ENTRENAMIENTO**  
 DEPARTAMENTO DE CONTROL Y APROVECHAMIENTO DE MALEZAS ACUATICAS

**TABLA 25 PARAMETROS SELECCIONADOS PARA EL ESTUDIO Y PLANTEAMIENTO DEL MODELO DE CRECIMIENTO**  
 PERIODO : VERANO

LOCALIDAD: Presa Endhó, Hgo.      DE: 22 de Junio      A: 22 de Septiembre      AÑO: 1978.

MUESTREO NUM.	FECHA DE MUESTREO			NUM. DE PLANTAS	PESO DE PLANTA BIOMASA (gr)	LONGITUD DE :			DIAMETRO PROMEDIO (cm.)	NUM. DE HOJAS
	HORA	DIA	MES			RAIZ (cm.)	PARTE EXPUESTA (cm.)	TOTAL PLANTA (cm.)		
32	12:50	22	06	9	500	20	25	45	30.5	9
33	12:20	29	06	12	725	12	17	29	25.5	7
34	15:30	6	07	25	1300	14	18	32	30.0	9
35	12:30	13	07	49	2000	14	16	30	27.5	11
36	12:00	20	07	95	3200	6	16	22	30.0	9
37	12:00	27	07	152	4700	6	15	21	27.0	7
38	12:50	3	08	227	7000	7	13	20	26.0	8
39	12:20	10	08	307	8550	8	14	22	18.0	7
40	14:00	24	08	497	21300	10	15	25	22.0	12
41	13:00	31	08	864	34900	9	8	17	25.0	9
42	12:00	7	09	1142	59800	8	10	18	20.0	7
43	12:10	14	09	2130	95950	10	12	22	18.0	6
44	12:00	21	09	2756	116550	12	21	33	15.0	4

OBSERVACIONES: Los datos de las columnas 7 a 11, corresponden a una sola planta.

# SARH

**SUBSECRETARIA DE PLANEACION**  
**DIRECCION GENERAL DE PROTECCION Y ORDENACION ECOLOGICA**  
**SUBDIRECCION DE INVESTIGACION Y ENTRENAMIENTO**  
**DEPARTAMENTO DE CONTROL Y APROVECHAMIENTO DE MALEZAS ACUATICAS**

**TABLA 26 CARACTERISTICAS BASICAS (ANALISIS FISICO)**

PERIODO: VERANO

LOCALIDAD: Presa Endhó, Hgo.

DE: 22 de Junio

A: 22 de Septiembre

AÑO: 1978.

MUESTREO Nº	FECHA DE MUESTREO		TEMPERATURA		pH	GRASAS Y ACEITES (mg/l)	SOLIDOS SEDIMENTABLES (ml/l)	MATERIA FLOTANTE (g/l)
	DIA	MES	AMBIENTE (°C)	AGUA (°C)				
32	22	06	24.0	20.0	7.2	189.00	< 0.10	*
34	6	07	16.0	14.0	7.4	59.18	0.30	*
36	20	07	23.0	22.0	7.2	5.08	0.20	*
37	27	07	27.5	23.0	7.1	6.64	0.15	*
38	3	08	26.0	23.0	7.0	8.20	< 0.10	*
39	10	08	28.5	25.5	7.1	9.75	0.15	*
40	24	08	25.0	22.0	7.2	11.30	0.20	*
41	31	08	25.5	20.0	7.3	24.80	< 0.10	*
42	7	09	27.5	23.0	7.4	20.00	0.30	*
43	14	09	32.0	22.0	7.5	16.00	< 0.10	*
44	21	09	22.0	25.0	7.6	11.70	< 0.10	*

OBSERVACIONES: \* Valor no reportado por el laboratorio. Donde no exista continuidad de fecha cada semana, es debido a que no se efectuó el muestreo.

( CASTILLO H., 1979 )

# SARH

**SUBSECRETARIA DE PLANEACION**  
**DIRECCION GENERAL DE PROTECCION Y ORDENACION ECOLOGICA**  
 SUBDIRECCION DE INVESTIGACION Y ENTRENAMIENTO  
 DEPARTAMENTO DE CONTROL Y APROVECHAMIENTO DE MALEZAS ACUATICAS

**TABLA 27 ANALISIS QUIMICO DE SOLIDOS**

PERIODO: VERANO

LOCALIDAD: Presa Endhó, Hgo.      DE 22 de Junio      A: 22 de Septiembre      AÑO: 1978.

MUESTREO Nº	FECHA DE MUESTREO		S O L I D O S								
	DIA	MES	ST (mg/l)	STF (mg/l)	STV (mg/l)	SST (mg/l)	SSF (mg/l)	SSV (mg/l)	SDT (mg/l)	SDF (mg/l)	SDV (mg/l)
32	22	06	505	400	105	40	0	40	465	400	65
34	6	07	495	475	20	26	18	8	469	457	12
36	20	07	520	380	140	6	0	6	514	380	134
37	27	07	528	408	120	12	0	12	516	408	108
38	3	08	535	435	100	18	0	18	517	435	82
39	10	08	10678	437	10221	16	1	15	10662	456	10206
40	24	08	20820	478	20342	14	2	12	20806	476	20330
41	31	08	916	466	450	118	18	100	798	448	350
42	7	09	1050	730	320	350	215	135	700	515	185
43	14	09	1050	530	520	470	150	320	580	380	200
44	21	09	358	292	66	41	28	15	317	264	53

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

SARH

SUBSECRETARIA DE PLANEACION  
 DIRECCION GENERAL DE PROTECCION Y ORDENACION ECOLOGICA  
 SUBDIRECCION DE INVESTIGACION Y ENTRENAMIENTO  
 DEPARTAMENTO DE CONTROL Y APROVECHAMIENTO DE MALEZAS ACUATICAS

Tabla 28 ANALISIS QUIMICO

LOCALIDAD: Presa Endhó		PERIODO: Verano		DE 22 de junio		A 22 de septiembre		AÑO 1978	
MUESTRO No.	FECHA DE MUESTRO		SULFATOS SO <sub>4</sub> ( mg / l )	FENOLES ( mg / l )	COLOR pt - Co	As ( mg / l )	BORO ( mg / l )	CLORUROS Cl ( mg / l )	ACIDEZ TOTAL Ca CO <sub>3</sub> ( mg / l )
	OIA	MES							
32	22	06	412	0.001	117	0.001	0.04	64	21
34	6	07	160	0.009	190	0.001	0.075	64	10
36	20	07	134	0.003	60	0.001	0.01	63	18
37	27	07	130	0.002	58	0.001	0.085	68	15
38	3	08	134	<0.001	62	0.001	0.16	73	12
39	10	08	103	<0.001	62	0.001	0.15	108	10.9
40	24	08	72	<0.001	62.5	<0.001	0.14	142	11.8
41	31	08	60	<0.001	100	<0.001	0.05	74	33.4
42	7	09	86.4	<0.001	50	<0.001	0.07	30	70.5
43	14	09	584	<0.001	70	0.001	<0.10	15	112.7
44	21	09	626.1	<0.001	80	0.001	0.178	25	8.6
OBSERVACIONES:									

( CASTILLO H., 1979 )

SARH

SUBSECRETARIA DE PLANEACION  
 DIRECCION GENERAL DE PROTECCION Y ORDENACION ECOLOGICA  
 SUBDIRECCION DE INVESTIGACION Y ENTRENAMIENTO  
 DEPARTAMENTO DE CONTROL Y APROVECHAMIENTO DE MALEZAS ACUATICAS

Tabla 29 ANALISIS QUIMICO

PERIODO: Verano

LOCALIDAD: Preso Endhó DE 22 de junio A 22 de septiembre AÑO 1978

MUESTREO No.	FECHA DE MUESTREO		O. D. ( mg / l )	D. B. O. ( mg / l )	D. O. O. ( mg / l )	NITROGENO		NITRITOS NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ( mg / l )	NITRATOS NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ( mg / l )
	DIA	MES				AMONIACAL ( mg / l )	ORGANICO ( mg / l )		
32	22	06	0	10	44.0	12.44	14.92	0.49	0.093
34	6	07	0	16	68.0	9.83	11.13	0.243	0.145
36	20	07	0	10	97.0	10.85	10.15	0.38	0.067
37	27	07	0	23	133	6.59	6.67	0.41	0.964
38	3	08	0	35	169	2.32	3.19	0.44	1.86
39	10	08	0	26	164	5.16	1.99	0.38	0.94
40	24	08	0	16	158	8.0	0.79	0.31	0.016
41	31	08	0	14	59	7.0	1.14	0.255	0.016
42	7	09	0	12.1	23	2.25	0.65	0.015	0.42
43	14	09	0	0	12.1	2.3	2.25	0.65	0.015
44	21	09	0	10.05	29.7	3.9	< 0.05	0.155	0.04

OBSERVACIONES:

( CASTILLO H., 1979 )



SARH

SUBSECRETARIA DE PLANEACION  
 DIRECCION GENERAL DE PROTECCION Y ORDENACION ECOLOGICA  
 SUBDIRECCION DE INVESTIGACION Y ENTRENAMIENTO  
 DEPARTAMENTO DE CONTROL Y APROVECHAMIENTO DE MALEZAS ACUATICAS

Tabla 30 ANALISIS QUIMICO

PERIODO: Verano

LOCALIDAD: Presas Endó DE 22 de junio A 22 de septiembre AÑO 1978

MUESTRO No.	FECHA DE MUESTREO		FOSFORO TOTAL PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg / l)	ORTOFOSFATOS PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg / l)	DETERGENTES S.A.A.M. (mg / l)	TURBIEDAD SiO <sub>2</sub> (ppm)	DUREZA Ca CO <sub>3</sub> (mg / l)	DUREZA Ca <sup>++</sup> Ca CO <sub>3</sub> (mg / l)	DUREZA Mg <sup>+</sup> Ca CO <sub>3</sub> (mg / l)
	DIA	MES							
32	22	06	3.2	2.35	4.6	15	225	52	173
34	6	07	3.6	3.00	2.83	32.5	216	57	159
36	20	07	4.25	3.10	4.80	27.0	198	46	152
37	27	07	4.25	3.15	5.44	26.0	196	46	150
38	3	08	4.25	3.20	6.08	24.0	194	46	148
39	10	08	3.64	2.90	5.22	15.70	200	45	155
40	24	08	3.03	2.60	4.35	7.5	207	45	162
41	31	08	1.8	1.40	5.5	12.3	194	45	149
42	7	09	< 0.01	< 0.01	1.85	17.5	165.6	47	152
43	14	09	7.40	1.87	2.80	25	113	45	170
44	21	09	2.60	1.66	< 0.01	138	120	46	148

OBSERVACIONES:

( CASTILLO H., 1979 )

SARH

SUBSECRETARIA DE PLANEACION  
 DIRECCION GENERAL DE PROTECCION Y ORDENACION ECOLOGICA  
 SUBDIRECCION DE INVESTIGACION Y ENTRENAMIENTO  
 DEPARTAMENTO DE CONTROL Y APROVECHAMIENTO DE MALEZAS ACUATICAS

Tabla 3I CONTINUACION ANALISIS QUIMICO ANALISIS BACTERIOLOGICO

LOCALIDAD:		Fecha de Muestreo		PERIODO:	DE		A		AÑO
Preso Endhó				Verano	22 de junio		22 de septiembre		1978
MUESTRO No.	FECHA DE MUESTRO		ALCALINIDAD TOTAL (mg / l)	CONDUCTIVIDAD micromhos / cm	COLIFORMES		ESTREPTOCOCCOS FECALES NMP x 100 ml		
	DIA	MES			TOTALES NMP x 100ml	FECALES NMP x 100ml			
32	22	06	252	811	350 x 10 <sup>5</sup>	350 x 10 <sup>5</sup>	220 x 10 <sup>5</sup>		
34	6	07	253	817	3500 x 10 <sup>5</sup>	1400 x 10 <sup>5</sup>	1100 x 10 <sup>5</sup>		
36	20	07	274	838	11 x 10 <sup>5</sup>	8 x 10 <sup>5</sup>	2 x 10 <sup>5</sup>		
37	27	07	273	838	52 x 10 <sup>5</sup>	22 x 10 <sup>5</sup>	1.4 x 10 <sup>5</sup>		
38	3	08	271	837	92 x 10 <sup>5</sup>	35 x 10 <sup>5</sup>	0.8 x 10 <sup>5</sup>		
39	10	08	263	809	86 x 10 <sup>5</sup>	58 x 10 <sup>5</sup>	25.5 x 10 <sup>5</sup>		
40	24	08	255	781	80 x 10 <sup>5</sup>	80 x 10 <sup>5</sup>	50 x 10 <sup>5</sup>		
41	31	08	257	759	160 x 10 <sup>5</sup>	11 x 10 <sup>5</sup>	< 0.2 x 10 <sup>5</sup>		
42	7	09	201	638	≤ 2.4 x 10 <sup>5</sup>	≤ 2.4 x 10 <sup>5</sup>	0.14 x 10 <sup>5</sup>		
43	14	09	146.5	517	0.16 x 10 <sup>5</sup>	0.10 x 10 <sup>5</sup>	0.15 x 10 <sup>5</sup>		
44	21	09	127.8	357	≤ 240 x 10 <sup>5</sup>	230 x 10 <sup>5</sup>	18 x 10 <sup>5</sup>		

OBSERVACIONES:

( CASTILLO H., 1979 )

SARH

SUBSECRETARIA DE PLANEACION  
 DIRECCION GENERAL DE PROTECCION Y ORDENACION ECOLOGICA  
 SUBDIRECCION DE INVESTIGACION Y ENTRENAMIENTO  
 DEPARTAMENTO DE CONTROL Y APROVECHAMIENTO DE MALEZAS ACUATICAS

Tabla 32 ANALISIS QUIMICO DE METALES

PERIODO: Verano

LOCALIDAD: Preso Endhó DE 22 de junio A 22 de septiembre AÑO 1978

MUESTREO No.	FECHA DE MUESTREO		M E T A L E S												
	DIA	MES	Al (mg/l)	Fe (mg/l)	K (mg/l)	Na (mg/l)	Mg (mg/l)	Ca (mg/l)	Hg (mg/l)	Mo (mg/l)	Mn (mg/l)	Cu (mg/l)	Zn (mg/l)	Co (mg/l)	Pb (mg/l)
32	22	06	< 1.0	0.84	18.26	97.54	15.045	40	<0.0005	< 1.0	0.43	< 0.05	0.026	< 0.1	< 0.5
34	6	07	< 1.0	0.50	23.0	98.50	21	38.3	<0.0005	< 1.0	0.68	0.1	0.15	< 0.1	< 0.5
36	20	07	< 1.0	0.10	28.0	100	21	49	<0.0005	< 1.0	0.48	< 0.05	0.65	< 0.1	< 0.5
37	27	07	< 1.0	0.17	23.0	102	20	47.5	<0.0005	< 1.0	0.46	< 0.05	0.60	< 0.1	< 0.5
38	3	08	< 1.0	0.23	18.0	104	19	50	<0.0005	< 1.0	0.45	< 0.05	0.06	< 0.1	< 0.5
39	10	08	< 1.0	0.22	20.0	96	17.85	43.1	<0.0005	< 1.0	0.42	< 0.05	0.04	< 0.1	< 0.5
40	24	08	< 1.0	0.25	22.0	87	16.7	36.2	<0.0005	< 1.0	0.41	< 0.05	< 0.03	< 0.1	< 0.5
41	31	08	< 1.0	0.187	18.6	90	16.6	46.7	<0.0005	< 1.0	0.39	< 0.05	< 0.02	< 0.1	< 0.5
42	7	09	< 1.0	0.794	14	65	13.05	50.5	<0.0005	< 1.0	0.25	< 0.05	< 0.03	< 0.1	< 0.5
43	14	09	2	1.4	9.4	40	9.5	54	<0.0005	< 1.0	0.29	< 0.05	< 0.04	< 0.1	< 0.5
44	21	09	8	3.8	12	37	89	24	<0.0005	< 1.0	0.25	< 0.04	< 0.04	< 0.1	< 0.5

OBSERVACIONES:

( CASTILLO H., 1979 )

DATOS CLIMATOLÓGICOS OBTENIDOS DURANTE EL PERIODO DE ESTUDIO

Tabla 33

Localidad: Estación Meteorológica en la Presa Endho

Período: Octubre 1977 - Octubre 1978

Año	Mes	Temperatura °C						Precipitación mm.					Evaporación mm.					Heladas
		Media	Máxima		Mínima		Media	Máxima		Mínima		Media	Máxima		Mínima			
			Valor	Día	Valor	Día		Valor	Día	Valor	Día		Valor	Día	Valor	Día		
1977	Septiembre	18.5	29	24-25	7	27	21.5	11.5	12	1	23	161.59	8.29	26	1.29	2		
1977	Octubre	16.7	30	10	5	15	39.0	12.5	28	1	19	136.95	6.83	10	1.41	20		
1977	Noviembre	14.7	27	3-20	2	5-26	5.0	2	1-17	1	10	106.70	5.12	3	0.56	1	5	
1977	Diciembre	13.7	27	28	1	22	6.0	3	13	3	12	108.29	5.70	30	1.58	11	11	
1978	Enero	13.1	27	2	1	11	0.14	4.5	10	—	—	4.34	6.07	18	1.22	9		
1978	Febrero	13.0	29	1	0	6	0.30	7	23	2	8	4.58	7.56	16	1.07	23		
1978	Marzo	16.0	30	13	2	9	0.90	13.5	17	4.5	13	6.10	9.69	11	0.53	18		
1978	Abril	20.0	33	19	7	4	0.10	1.5	9	1.0	3	7.49	12.27	21	3.55	3		
1978	Mayo	21.0	33	6	9	2	0.50	9.5	9	1.5	23	7.56	10.30	5	2.67	31		
1978	Junio	19.5	28	12	11	13	1.50	13	6	1.5	5	5.70	7.49	16	0.43	4		
1978	Julio	18.5	28	2	9	5	3.90	41.5	26	1.0	3	5.87	2.61	1	2.13	27		
1978	Agosto	18.0	28	13	8	5	1.70	22	15	1.5	13	5.38	8.06	4	1.11	8		
1978	Septiembre	18.0	28	13	8	16	4.6	37.5	27	1.5	21	4.55	16.31	22	8.39	3		
1978	Octubre	15.5	27	5	4	22	1.1	18	7	1.0	16	3.89	5.72	6	1.41	14		

Observaciones: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**SUBSECRETARIA DE PLANEACION**

DIRECCION GENERAL DE PROTECCION Y ORDENACION ECOLOGICA

SUBDIRECCION DE INVESTIGACION Y ENTRENAMIENTO

DEPARTAMENTO DE CONTROL Y APROVECHAMIENTO DE MALEZAS ACUATICAS

TABLA 34

**DATOS CLIMATOLOGICOS PROMEDIO PARA CADA ESTACION**

LOCALIDAD : ESTACION METEREologica PRESA ENDHO

PERIODO : Octubre 1977 - Octubre 1978

ESTACION	PERIODO	PRECIPITACION (mm)	EVAPORACION (mm)
OTOÑO	23 de septiembre a 22 de diciembre	17.88	128.40
INVIERNO	23 de diciembre a 20 de marzo	1.84	30.83
PRIMAVERA	21 de marzo a 21 de junio	0.75	6.71
VERANO	22 de junio a 22 de septiembre	7.15	44.64

**OBSERVACIONES :**

No aparecen medidas de otros parámetros como temperaturas, ya que se midieron en cada muestreo.

( CASTILLO H., 1979 )

SARH

SUBSECRETARIA DE PLANEACION  
DIRECCION GENERAL DE PROTECCION Y ORDENACION ECOLOGICA  
SUBDIRECCION DE INVESTIGACION Y ENTRENAMIENTO  
DEPARTAMENTO DE CONTROL Y APROVECHAMIENTO DE MALEZAS ACUATICAS

TABLA 35 LUMINOSIDAD MEDIA ESTACIONAL

LOCALIDAD Ixmiquilpan Hidalgo

ESTACION	PERIODO	LUMINOSIDAD MEDIA ESTACIONAL Horas / Mes
OTOÑO	22 SEPTIEMBRE — 22 DICIEMBRE	188.50
INVIERNO	23 DICIEMBRE — 20 MARZO	191.50
PRIMAVERA	21 MARZO — 21 JUNIO	197.00
VERANO	22 JUNIO — 21 SEPTIEMBRE	172.25

OBSERVACIONES. Valores Proyectados del Atlas del Agua de la República Mexicana, SARH, 1976  
Ixmiquilpan - Hidalgo. Periodo 1941 - 1970

( CASTILLO H., 1979 )



**SUBSECRETARIA DE PLANEACION**  
DIRECCION GENERAL DE PROTECCION Y ORDENACION ECOLOGICA  
SUBDIRECCION DE INVESTIGACION Y ENTRENAMIENTO  
DEPARTAMENTO DE CONTROL Y APROVECHAMIENTO DE MALEZAS ACUATICAS

TABLA 36

**COMPOSICION QUIMICA DE UNA PLANTA DE LIRO ACUATICO**  
( DETERMINACION REALIZADA POR EL LABORATORIO DEL C.I.E.C.C.A. )

LOCALIDAD : PRESA ENDHO

FECHA : 5 - X - 78

MUESTRA	µg / gr en base seca						% en base seca				% en base seco		
	Fe	Mn	Cu	Zn	Mo	Co	K	Na	Ca	Mg	N	C	H
Raiz 2.423g.	1320	575	49	91	<100	<10	1.47	0.75	0.95	0.19	3.00	33.84	4.13
Tallo 2.766g.	450	272	17	265	<100	<10	3.00	2.69	1.65	0.69	4.08	43.60	5.15
Bulbo 2.535g.	193	559	8	48	<100	<10	7.46	0.88	1.21	0.52	2.80	33.80	4.57
Hojas 2.703g.	105	470	13	39	<100	<10	4.10	0.04	1.40	0.43	4.55	44.70	5.35
Lirio completo 2.563g.	2068	1876	87	443	<100	<10	16.03	4.36	5.21	1.83	3.65	35.77	4.80

OBSERVACIONES :

Los parámetros anteriores se eligieron en base a su importancia fisiológica para el crecimiento de la planta.