

*Control y aprovechamiento del  
lirio acuático en México*

*Control y aprovechamiento del  
lirio acuático en México*

**IMTA**   
INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGIA DEL AGUA

---

Coordinación de Investigación  
Subcoordinación de Calidad del Agua  
BIÓL. Guillermo Díaz Zavaleta  
BIÓL. Víctor Olvera Viascán  
Ing. Francisco Romero Luna  
Dr. Jorge Aguirre Martínez  
Septiembre, 1989

## INDICE

PROLOGO. . . . .	1
RESUMEN. . . . .	2
PONENCIAS. . . . .	9
Biología y ecología del lirio acuático	
<u>Elchhornia crassipes</u> (Mart). Solms.	
Biól. Víctor Olivera Viascán	
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua-SARH. . . . .	9
Infestación y problemática del lirio en ecosistemas acuáticos.	
Biól. Guillermo Díaz Zavaleta	
Instituto Mexicano de Tecnología de Agua-SARH. . . . .	43
Modelos matemáticos de crecimiento del lirio y políticas de control.	
Ing. Francisco Romero Luna	
Instituto Mexicano de Tecnología de Agua-SARH. . . . .	51
Técnicas de evaluación del lirio acuático: Densidad, cobertura y crecimiento.	
Biól. Eric Gutiérrez López	
Instituto Mexicano de Tecnología de Agua-SARH. . . . .	79
Experiencias de la picadora para el control mecánico del lirio en la presa Requena, Hgo.	
Lic. Enrique Soto Reséndiz	
Sore, Cia. Constructora Hidaigo S.A. de C.V. . . . .	101
Experiencias del control mecánico del lirio en la presa Valle de Bravo, México.	
Ing. Absalón Domínguez	
Comisión de Aguas del Valle de México-SARH. . . . .	107
Experiencias en el aprovechamiento del lirio acuático como alimento para ganado en la presa Valsequillo, Puebla.	
Ing. José Monsalvo Trujano	
Dirección General de Normatividad Pecuaria-SARH. . . . .	113

Aprovechamiento del lirio como mejorador de suelos. Bíol. Gabriela Carlos Hernández Instituto Mexicano de Tecnología de Agua-SARH. . . . .	119
--	-----

Estudio del uso del lirio acuático para la purificación de agua residual. Ings. Mauricio Rico Martínez, Miguel A. Sánchez Cruz y Abelardo Figueroa Mendivil Comisión del Lago de Texcoco-SARH. . . . .	133
--	-----

**ANEXOS**

1 Solución del modelo logístico. . . . .	66
2 Determinación empírica de K, r . . . . .	69
3 Solución del modelo de Malthus o de crecimiento logarítmico . . . . .	74
4 Programa para PC FX-730P Casio para resolver la ecuación diferencial ordinaria (7) por la regla trapezoidal . . . . .	78
5 Lista de participantes en el seminario . . . . .	147
6 Lista de trabajos presentados en el seminario. . . . .	149

INDICE DE LAMINAS

Biología y ecología del lirio acuático

Eichhornia crassipes (Mart.) Solms

1	Distribución del lirio acuático en México. . . . .	28
2	Morfología de <u>Eichhornia crassipes</u> . . . . .	29
3	Ciclo antocinético que incluye fases de floración y doble. . . . .	30
4	Ciclo de vida del lirio acuático <u>Eichhornia crassipes</u> . .	31
5	Crecimiento del lirio acuático en peso húmedo durante 14 días a diferentes temperaturas del agua. . . . .	32
6	Evapotranspiración acumulada del lirio y solución con trol sin plantas. . . . .	33
7	Curvas de crecimiento del lirio acuático a varios tiem pos durante crecimientos estacionales. . . . .	34
8	Principales componentes de un ecosistema acuático para modelación. . . . .	35

Modelos matemáticos de crecimiento del lirio y políticas de  
crecimiento

1	Marco de referencia. . . . .	62
2	Caso a) $0 < h < h^*$ . . . . .	63
3	Caso b) $h = h^*$ . . . . .	64
4	Caso c) $h > h^*$ . . . . .	65

Técnicas de evaluación del lirio acuático: Densidad, cober  
tura y crecimiento

1	Densidad de la maleza como un factor limitante de la ve locidad y eficiencia del cosechado. . . . .	90
2	Cuadrante. Marco de madera u otro material ligero de 1 m <sup>2</sup> de área interior, reforzado en los ángulos. . . . .	91
3	Evaluación de cobertura. . . . .	92
4	Corrales para confinamiento del lirio acuático. . . . .	93
5	Características internas de los corrales de confinamien to, malla galvanizada de 0.5 cm de apertura. . . . .	98
6	Incrementos en peso registrados en la presa Requena de julio de 1986 a febrero de 1987. . . . .	99

Aprovechamiento del lirio acuático como mejorador de suelo

1	Distribución de la parcela experimental. . . . .	126
---	--	-----

Estudio del uso del lirio acuático para la purificación del  
agua residual

1	Sistema de lagunas piloto. . . . .	143
2	Diagrama de flujo Sistema lagunas piloto. . . . .	144

INDICE DE CUADROS

Biología y ecología del lirio acuático

Eichhornia crassipes (Mart.) Solms

1	Transpiración del lirio acuático en relación con la evaporación. Fuente: Penfound y Earle, 1942. . . . .	36
2	Efecto del pH en el peso del lirio durante un periodo de 4 semanas. . . . .	37
3	Efecto del nivel de nitrógeno en el crecimiento del lirio. Fuente: Kunikasu, 1978. . . . .	38
4	Peso seco del lirio acuático creciendo en soluciones con diferentes concentraciones de fósforo. Fuente: Haller y Sutton, 1973. . . . .	39
5	Comparación de pH, temperatura, oxígeno disuelto, CO <sub>2</sub> libre y carbonato en áreas infestadas y no infestadas de lirio. Fuente: Rai y Datta, 1979. . . . .	40
6	Tasa relativa de crecimiento (TRC) y tiempo de duplicación (TD) del lirio acuático en número de plantas (NP) y peso húmedo (PH) en diferentes periodos de tiempo. Fuente: Sastroutomo, <u>et al.</u> , 1978. . . . .	41
7	Concentración de nutrientes (% peso seco) en varios órganos de <u>E. crassipes</u> de diferentes posiciones en la comunidad. Promedio de tres sitios. Fuente: Musil y Breen, 1977. . . . .	42

Técnicas de evaluación del lirio acuático: Densidad, cobertura y crecimiento

1	Densidad promedio, área del embalse, cobertura y biomasa del lirio en la presa Requena, Hgo. 1986-1987. . . . .	96
2	Crecimiento del lirio acuático medido en la presa Requena, periodo Julio de 1986 hasta Julio de 1987. . . . .	98
3	<u>Ibidem</u> , periodo diciembre de 1986 hasta marzo de 1987. . . . .	99
4	<u>Ib.</u> , periodo abril hasta junio de 1987. . . . .	100

Aprovechamiento del lirio acuático como mejorador del suelo

1	Distribución de los tratamientos en la parcela . . . . .	127
2	Resultados de las determinaciones físicas y químicas del suelo de la parcela experimental antes de aplicar abono verde, en San Mateo Xalpa, Xochimilco. . . . .	128
3	<u>Ibidem</u> , de los lotes testigo de la parcela experimental en San Mateo Xalpa, Xochimilco. . . . .	129
4	<u>Ib.</u> , después de aplicado el lirio en los lotes de la parcela experimental de San Mateo Xalpa, Xochimilco, D.F. . . . .	130
5	<u>Ib.</u> , después de aplicado el lirio acuático-estiércol en los lotes de la parcela experimental de San Mateo Xalpa, Xochimilco, D.F. . . . .	131
6	Producción obtenida por tratamiento. . . . .	132

Estudio del uso del lirio acuático para la purificación del  
agua residual

1	Remoción de parámetros físico-químicos . . . . .	145
2	Remoción de parámetros biológicos. . . . .	156

## PROLOGO

La Subsecretaría de Infraestructura Hidráulica, a través del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua organizó el seminario "Control y Aprovechamiento del Lirio Acuático", en Cuernavaca, Morelos, del 18 al 20 de enero de 1988, con la finalidad de analizar el estado actual y el manejo del lirio en México.

Con el seminario se logró reunir, por primera vez en México, un grupo heterogéneo de expertos en los aspectos fundamentales del control y aprovechamiento del lirio acuático. Se trató una gama muy amplia de problemas, algunos de carácter científico y otros de orden práctico, que han permitido formar un consenso general sobre los objetivos que deben adoptarse, así como en la aplicación de las diferentes tecnologías y métodos prácticos que se han utilizado hasta la fecha en el país.

Uno de los resultados más importantes del seminario es el conocimiento de los límites de las experiencias mexicanas, comparadas con las extranjeras. Se hizo notar asimismo que el manejo del lirio debe considerar el entorno, que las investigaciones nacionales en este campo son incipientes, ya que no se han estudiado su biología y ecología; que el Inventario Nacional de Malezas Acuáticas, editado por la SARH, es hoy insuficiente, debido a la dinámica de los procesos de infestación de los cuerpos de agua.

Importante también, dio a conocer los problemas que el lirio ocasiona y sus efectos en las actividades del hombre como la pesca, el abastecimiento de agua potable y la recreación, ya que 72 mil ha de agua están cubiertas por esa planta. Puso de manifiesto igualmente la importancia de la intervención de la SARH en la conservación, rehabilitación y manejo, tanto en calidad como en cantidad, del agua de los ecosistemas.

Este libro es resultado de la recopilación de los trabajos analizados en el seminario. La selección de los textos consideró su sólido nivel de integración, estructura y accesibilidad a cualquier lector interesado.

El propósito de este trabajo es ayudar a ampliar los horizontes que sobre el lirio se tiene en el país.

## RESUMEN

### Antecedentes

Aunque el problema es especialmente crítico en las regiones tropicales y semitropicales del país, son pocos los cuerpos de agua de la República Mexicana que se escapan de las infestaciones de malezas acuáticas de algún tipo.

México ha soportado desde hace muchos años el enorme crecimiento del lirio acuático (Eichhornia crassipes), que gradualmente se ha agudizado hasta llegar a ser una verdadera plaga.

El lirio acuático es una planta hidrófila flotante altamente adaptable a una amplia gama de condiciones ambientales y climáticas. Su tasa de reproducción es muy elevada; además, parece no tener depredadores naturales en México, y numerosos intentos de controlarla han fracasado. Sin embargo, el frío parece afectar su crecimiento durante la época de invierno, tanto en el norte como en las regiones altas del país. Se cree que su flor color violeta, muy atractiva, ha contribuido en forma importante a su extensa propagación.

Las infestaciones de lirio acuático ocasionan graves problemas, que interfieren los usos benéficos del agua. Se pueden citar, entre los más notables:

- Que incrementan la tasa de evapotranspiración entre 1.3 y 16 veces su magnitud normal, dependiendo de las condiciones ambientales;
- que entorpecen la navegación y obstruyen los cauces de las corrientes;
- que dificultan el funcionamiento de las obras hidráulicas;
- que obstaculizan la pesca comercial y deportiva;
- que aceleran el azolvamiento del embalse;
- que favorecen el desarrollo de vectores de organismos patógenos, en particular los mosquitos;
- que degradan la calidad del agua para diferentes usos; y,
- que propician la devaluación de las propiedades ribereñas al impedir el uso recreativo de los cuerpos de agua infestados.

El seminario se debió a la urgente necesidad de implantar una estrategia para el control del lirio acuático, de resultados positivos en el corto plazo; los problemas se habían agravado con

la dispersión de la información y las experiencias sumamente valiosas, que se sabía existían pero que no se habían dado a conocer ni difundido suficientemente entre la comunidad científica. Ya era indispensable establecer el estado del arte en cuanto al aprovechamiento y control del lirio acuático, en el ámbito internacional, y su avance en México. El seminario cumplió asimismo con su propósito de determinar la magnitud de los conocimientos científicos del lirio y conocer el avance de las experiencias de México.

Hoy es claro que se está trabajando en muchos frentes para combatir y controlar el lirio acuático; sin embargo, la información sigue aún muy dispersa y, frecuentemente, los diferentes organismos de investigación y estudio no se han enterado de lo que se hace en otras partes.

El seminario fue el foro propicio para iniciar el intercambio de información técnica y práctica entre los participantes. Por un lado, se presentó mucha información que ha permitido mejorar los sistemas actuales de control y aprovechamiento del lirio y, por otro, se divulgaron experiencias que están dando un nuevo enfoque a las líneas de investigación, con una fuerte tendencia hacia las aplicaciones más prácticas.

### Resultados

Tanto el intercambio de información como las discusiones técnicas fueron muy útiles al definir el enfoque de los futuros programas de investigación. No cabe duda de que la investigación básica es indispensable para programar de manera efectiva el control y aprovechamiento del lirio; sin embargo, el mayor esfuerzo se debe orientar hacia la obtención de resultados prácticos que permitan determinar la manera más rápida, eficiente y económica de hacerlo. Más aún, se llegó al consenso de que el lirio es una respuesta a las alteraciones del medio provocadas por el hombre en su afán de aprovechar la naturaleza con un mínimo de esfuerzo y sin cuidar su preservación. Por ello es conveniente prevenir el desarrollo de la maleza antes de que sea demasiado caro controlarla.

El resultado principal del citado seminario consistió sin duda en definir los alcances y limitaciones de las experiencias mexicanas, en comparación con los logros extranjeros en la investigación aplicada.

Como el lirio acuático ha sido estudiado ampliamente en otros países, existe mucha información en la literatura científica, que aún falta comprobar experimentalmente en nuestro país. Aún no se ha precisado la extensión continental de la infestación de lirio, ni se conoce con certeza su capacidad de reproducción. Es

necesario establecer relaciones cuantitativas entre la proliferación de la maleza y la carga de nutrientes que llega al cuerpo de agua. Falta profundizar la investigación del tiempo de duplicación, densidad, reproducción sexual, factores ambientales limitantes y otros que contribuyan al control y aprovechamiento del lirio. Es necesario conocer en México los mecanismos de la reproducción sexual del lirio, así como su potencial de generación de semillas y su viabilidad, para determinar la posible latencia del surgimiento de la maleza.

Aunque existe mucha información sobre la biología del lirio y su comportamiento ecológico, derivada principalmente de experiencias en el extranjero, se debe profundizar en la investigación y estudio de esta maleza bajo condiciones climatológicas y ambientales mexicanas, para conocer su respuesta a estímulos locales. La reunión evidenció que existe mucha información disponible del lirio acuático, aunque muy poco difundida, y que existen numerosas "lagunas" que obligan a una profundización de las investigaciones científicas y técnicas.

Se reconoce que la proliferación del lirio obedece al aporte artificial de nutrientes y materia orgánica, con efectos finales también sobre los sistemas hidrológicos y la ecología en general, en especial nitrógeno y fósforo, que acompañan las descargas de aguas residuales, y que contribuyen a la aceleración masiva del proceso de envejecimiento de los cuerpos de agua, conocido como eutroficación.

El control del lirio acuático, normalmente, es necesario para eliminar los efectos adversos de la maleza sobre el ambiente y la salud pública. Sin embargo, se puede combinar con algún tipo de aprovechamiento para hacerlo más costeable. De los tres métodos de control comúnmente empleados (mecánico, químico y biológico), el mecánico parece ser el más eficiente por costeable, rápido y ambientalmente seguro. Por supuesto, eso invalida el control químico, porque éste requiere siempre mucho mayor cuidado en el manejo como en la selección de los herbicidas. El método biológico de control no se puede recomendar aislado: debe utilizarse en combinación con alguno de los otros, ya que sus resultados son muy lentos, y es más bien útil como sistema para mantener el equilibrio del volumen de la maleza una vez apreciablemente reducida la infestación.

El control mecánico, si se incluye la extracción, tiene un costo elevado. Debe considerarse sólo cuando parte del costo pueda recuperarse mediante algún aprovechamiento. Se probó recientemente una nueva metodología que consiste en picar el lirio para que se vaya al fondo del embalse y, en forma natural, se degrade paulatinamente sin ocasionar problemas graves a la calidad del agua. Este tipo de sistemas es notablemente más barato y de gran potencial si se comprueba que no provoca alteraciones mayores.

El seminario evidenció que el lirio se puede aprovechar en un gran número de aplicaciones; sin embargo, su elevado contenido de agua impide su aprovechamiento efectivo.

El costo de la extracción del agua hace frecuentemente poco atractiva su utilización. La utilidad potencial del lirio acuático permite considerarlo un recurso renovable, susceptible de ser aplicado en proyectos agropecuarios, industriales y como sistema de tratamiento de aguas residuales:

- Se puede obtener de él una composta que fertiliza y mejora los suelos;
- secándolo, se puede convertir en forraje;
- con su fibra se puede asimismo fabricar papel;
- es útil para elaborar almácigos para germinar semillas; y
- tiene enormes posibilidades como tratamiento de aguas residuales, en la producción de biogas y en la remoción de sustancias tóxicas.

El lirio como forraje y mejorador de suelos es una opción viable en determinadas condiciones sanitarias y ambientales; además puede remediar problemas de cierto tipo de suelos, emplearse como complemento nutricional y como suplemento de materia orgánica. Sin embargo, esta práctica no ha rendido resultados contundentes, salvo en raras ocasiones. Las experiencias en Xochimilco, Valsequillo, el lago de Texcoco y el valle de Tula son ejemplos de que se puede utilizar con provecho esta maleza; sin embargo, ni en la mejor de las situaciones los resultados han sido suficientemente prometedores.

La Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos ha realizado un gran esfuerzo para aprovechar el lirio como forraje para ganado vacuno, ovino y porcino en la presa de Valsequillo desde hace más de 14 años. Se ha construido un sistema de extracción y proceso de lirio que permite obtener forraje con 80% de agua y harina de lirio con 13% de humedad. Lamentablemente, y a pesar de tantos años de trabajo, este proyecto no ha contado en los últimos años con el apoyo necesario para terminar la construcción de los equipos y realizar algunas pruebas preliminares. Es loable el resultado de los técnicos encargados de este programa con los pocos recursos que tienen a su disposición; sin embargo, el proyecto no es aún viable.

El lirio acuático ha sido considerado un buen elemento en el tratamiento de las aguas residuales por su alta capacidad de remoción de nutrientes debido a a) su sistema radicular tan extenso, b) su crecimiento vegetativo, y c) su tolerancia a las

altas concentraciones de la mayoría de los contaminantes. Sin embargo, sólo se eliminan los contaminantes si se extrae y cosecha el lirio, cuya consecuencia es tener que depositar el lirio residuo en un sitio adecuado. Este es también capaz de concentrar cantidades importantes de metales pesados, como cadmio, plomo y mercurio, sustancias tóxicas que llega a almacenar en 70% a 80% de la raíz, para soltarlas en el agua cuando la planta envejece y se deterioran sus tejidos.

### Conclusiones

Sin lugar a duda, la de mayor trascendencia es la que define a la infestación de lirio acuático como una respuesta ecológica a la perturbación del medio, originada por las actividades del hombre, cuyas repercusiones finales impactan directamente los sistemas hidrológicos. Por consiguiente, la solución de los problemas ocasionados por las infestaciones de malezas acuáticas se circunscribe no sólo a combatir su manifestación, sino que debe extenderse al control efectivo de sus principales causas mediante el manejo integral de las cuencas.

El resultado más importante del seminario es, posiblemente, haber establecido las limitaciones de las experiencias mexicanas, comparadas con las investigaciones que se realizan en el extranjero. Existe mucha información del lirio en la literatura científica internacional que aún no se ha comprobado experimentalmente en el país. Se presentan a continuación algunas conclusiones generales sobresalientes de este seminario.

1 Debido a la complejidad de los sistemas ecológicos, los programas para el control de lirio acuático tendrán que ser desarrollados casuísticamente, con objetivos claramente establecidos, y deberán evaluar diversos parámetros básicos, como la cobertura de la infestación, su tasa de crecimiento y la capacidad de los posibles sistemas de control. Todo ello es esencial para determinar la posible eficacia y duración de las actividades de control.

2 Se desconocen algunos aspectos importantes de la biología y ecología del lirio acuático en México necesarios para su control y manejo eficientes. Es indispensable extender las investigaciones básicas sobre este tema, a partir de la información existente, tiempo de duplicación, tasa relativa de crecimiento, densidad, etc.; que han demostrado ser variables en función de las condiciones ambientales particulares de cada cuerpo de agua.

3 La única estimación del nivel de infestación de malezas acuáticas en México fue realizada por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos en 1977 y es hoy de poca

utilidad debido a la dinámica de los sistemas ecológicos. Entonces se determinó que 35% de las 115,000 ha de cuerpos de agua dulce del país estaban infestadas. Se recomienda, por tanto, actualizar el Inventario Nacional de Malezas Acuáticas de la Secretaría.

4 El lirio acuático abate la temperatura, pH, oxígeno y alcalinidad de bicarbonatos del agua, e incrementa notablemente el contenido de bióxido de carbono, según investigaciones extranjeras. Todos los cambios que el lirio produce en el agua alteran la flora y fauna acuática y degradan su calidad para los diferentes usos benéficos.

5 Los modelos utilizados para simular el crecimiento del lirio son de tipo exponencial y, en la mayoría de los casos, se basan en el modelo logístico, dando una curva sigmoide. Sin embargo, el aspecto fundamental de la producción de unidades de crecimiento clonal (ramets) está fuertemente limitada en aguas oligotróficas de alta diversidad biológica, y no así en aguas eutróficas.

### Recomendaciones

El problema de infestación de malezas acuáticas en México demanda soluciones inmediatas y efectivas, sobre todo en ciertas regiones del país que ya tienen años sufriendo los problemas y molestias ocasionados por el lirio. Para evitar que la proliferación de éste resulte de la aportación de nutrientes y materia orgánica a los embalses infestados, es necesario establecer medidas de control de la contaminación y un manejo adecuado de cuencas, en forma paralela a las acciones directas de control de la maleza. Además, los programas de control de lirio acuático deberán establecer claramente sus objetivos, factibilidad técnica y económica, así como el tiempo necesario para su ejecución, de tal manera que se puedan seleccionar las acciones de control, que permitirán un manejo adecuado del cuerpo de agua, en armonía con su ecología.

Finalmente, se debe procurar el apoyo a instituciones de estudios superiores y dependencias gubernamentales relacionadas con la investigación, control y aprovechamiento del lirio acuático, para que participen en una forma más amplia en el acopio de nuevos conocimientos sobre el comportamiento del lirio y los métodos pertinentes para controlarlo eficientemente y, mejor aún, aprovecharlo en forma racional e integral.

BIOLOGIA Y ECOLOGIA DEL LIRIO ACUATICO  
Eichhornia crassipes (Mart.) Solms

Victor Olivera Viascán  
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua-SARH.

Introducción

El lirio acuático es una planta vascular acuática originaria de América del Sur (Brasil), que se distribuye ampliamente en las regiones tropicales y subtropicales del mundo. Fue introducido en México a principios de este siglo, aunque existen diversas versiones de este hecho. Lo cierto es que la dispersión de esta planta difícilmente es un factor limitante.

La distribución de Eichhornia crassipes en México, según Carlos y Contreras (1981) que se muestra en la lámina 1, obtenida por el método de encuesta en las residencias de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos en los estados durante 1977, estima una cobertura de 40,000 ha (35% de 115,000 ha. cubierta por malezas acuáticas).

La presencia del lirio acuático en el país ha alcanzado proporciones de malezas, que genera problemas como incremento en la evapotranspiración; interferencia en la navegación; obstrucción de flujo de canales y ríos; entorpecimiento de sistemas hidroeléctrico y de irrigación; dificultad de la pesca; devaluación de propiedades; azolvamiento de los cuerpos de agua y desarrollo de poblaciones animales vectores de enfermedades. No obstante los perjuicios que ocasiona el hombre ha sabido aprovechar los beneficios asociados a la presencia del lirio, como su uso en composta, fertilizante, alimento humano, forraje, y como fuente de fibra para papel y varias sustancias químicas.

Por tanto, al hablar sobre el lirio acuático surgen controversias debido a la ambigüedad, del criterio daño-beneficio, que debe ser considerada detenidamente antes de adoptar medidas de control.

Por la importancia del lirio, se ha producido en todo el mundo una cantidad considerable de literatura, y especialmente sobre su control y utilización, aunque permanecen inadecuadamente conocidos, algunos aspectos de su biología y ecología.

El estudio más completo de la biología del lirio acuático fue realizado por Penfound y Earle (1948); Sculthorpe (1967) escribe sobre la biología de las plantas vasculares acuáticas en general. Diversos trabajos que se citarán más adelante tratan de los

aspectos ecológicos (como los factores limitantes, crecimiento y productividad) analizados con la finalidad de controlar o aprovechar esta planta acuática.

El trabajo que aquí se presenta tiene como propósito dar a conocer de manera sintética los aspectos más importantes de la biología y ecología del lirio acuático Elchornia crassipes (Mart.) Solms investigados en México y otros países.

## Biología

La clasificación taxonómica del lirio acuático es la siguiente: reino vegetal; subreino Embryophyta; división Spermatophyta; subdivisión Magnoliophyta (Angiospermae); clase Liliatae (Monocotyledoneae); orden Farinosae; familia Pontederiaceae; género Elchornia y especie E. crassipes (Mart.) Solms. En México recibe varios nombres comunes "lirio acuático" "jacinto de agua", "cucharilla" y "huachinango" (Sánchez, 1979).

El lirio acuático es una planta perenne, herbácea y libre flotante que llega a formar densos tapetes que ocasionan diversos problemas al humano; frecuentemente se arraiga al sustrato. Se adapta bien a su hábitat (ríos, lagos, estanques, pantanos, canales y drenes), y exhibe una alta plasticidad morfológica en respuesta a diferentes condiciones de crecimiento.

En estado adulto la planta de lirio se constituye de raíces, rizomas, estolones, peciolos, hojas, inflorescencias y frutos. Lámina 2. (Holm, 1977; Mitchell, 1978).

## Características externas

El lirio posee un sistema radical adventicio fibroso sin ramificaciones y cápsula conspicua; esto es, la raíz se origina del tejido maduro no meristemático (una raíz primaria que se ramifica en muchas raíces delgadas de aproximadamente el mismo tamaño). Si la planta flota, la raíz es de color púrpura debido a pigmentos disueltos en la vacuolas llamados antocianinas, cuya formación se favorece con un alto contenido de azúcares. Cuando la planta está arraigada, la raíz es blanca. El tamaño de la raíz es variable, de 10 cm o más de un metro; representa de 15 a 20% de la biomasa total de la planta, dependiendo de las características ambientales (Holm, 1977; Penfound y Earle, 1948; Olvera, 1985; Cronquist, 1975).

El tallo vegetativo consiste en un solo eje cilíndrico con internodos cortos; en los numerosos nodos se producen todas las raíces, hojas, renuevos e inflorescencias de la planta. En

condiciones abiertas, los internodos se producen largos y horizontales, cortos y verticales en tapetes densos. En cualquier caso, se producen brotes en su parte distal terminal.

Las elongaciones del tallo, presentes entre nodos, reciben el nombre de estolones cuando son superficiales y mandan hacia abajo raíces adventicias y producen nuevos tallos erectos a intervalos; o rizomas cuando se trata de prolongaciones debajo del agua (o del suelo en plantas enraizadas); es difícil diferenciar entre estolones y rizomas en tapetes densos, ya que en estas condiciones ambos son verticales. Sin embargo, ambas estructuras tienen funciones muy diferentes.

En general los rizomas tienen forma de cono, de 1 a 2.5 cm de diámetro y de 1 a 30 cm de largo, de acuerdo con el tamaño de la planta. La corona del rizoma posee un color rosado cerca de la periferia, de aproximadamente un centímetro, que se extiende a los brotes y hojas nuevas en la base. La porción reproductiva del rizoma varía de 1 cm en plantas pequeñas a 4 cm en plantas grandes. La posición de la punta del rizoma varía con el nivel superficial del agua, y puede estar entre 1 y 8 cm de la superficie. Estas características son importantes en el control mecánico y químico. Los estolones son púrpura y de un diámetro similar al del rizoma, aunque varía mucho en longitud: de 5 cm en tapetes densos hasta 45 cm en condiciones abiertas. Cuando se produce el estolón, apunta hacia arriba en un ángulo de 60°, igual que las raíces, y se mantiene en esta posición en espacios cerrados u horizontal, por el peso del renuevo, en espacios abiertos. (Penfound y Earle, 1948).

Las hojas del lirio se arreglan a manera de roseta. Morfológicamente, una hoja típica de lirio en condiciones flotantes consiste en una ligula membranosa (apéndice en forma de lengua que señala la salida de la hoja), el subflotador (parte baja del peciolo), el peciolo globoso (denominado flotador), un istmo (constricción entre el flotador y la lámina) y la lámina ovalada o arrifonada y gruesa, a la que en ocasiones se denomina pseudolámina por no considerarla una lámina verdadera, sino una prolongación del peciolo que actúa como vela en el viento (Holm, et al. 1977).

En condiciones compactas no se produce el flotador y el peciolo se angosta de la base a la lámina; lo mismo sucede cuando la planta se enraiza. En general, las hojas flotantes se disponen en ángulos de 15 a 45° y las no flotantes de 75 a 90° (Penfound y Earle, 1948). Los factores ambientales que influyen en la formación de flotadores no están bien comprendidos. En condiciones compactas, las plantas periféricas tienen flotadores y las centrales no; la intensidad de la luz influye también en la formación de estas estructuras (Penfound y Earle 1948; Holm et al., 1977).

El sistema de estomas del lirio es semejante en forma, número y distribución del promedio de plantas mesofíticas monocotiledóneas. El número de estomas es de 120 por mm a ambos lados de la lámina; su abertura de 12 a 27 mayor que la de otras plantas (6 - 12 ), la distancia interestomatal va de 96 a 216 , ocho veces el diámetro del poro abierto.

De estos datos se deduce que el lirio está bien equipado para una rápida difusión de gases. Las hojas varían de pequeñas y angostas, en el lirio enraizado o en agua pobre en oxígeno, a hojas grandes y anchas en agua corriente. A pesar de las diferencias en tamaño, no la hay significativa en el número de estomas, la distancia interestomatal y el tamaño de la célula. El tamaño del poro que varía significativamente entre hojas pequeñas, medianas y grandes. Así, la talla de las hojas en plantas grandes se debe a un aumento en el número de células y no de su tamaño, como se creía. El número de estomas se incrementa de la base a la punta de la hoja; el subflotador no tiene estomas, que se incrementen en el flotador (uno por mm ) a lo largo del istmo (20 mm ) a la lámina (120 por mm ). En las hojas sin flotador la transición es mucho más gradual. El ciclo estomatal se inicia con una abertura a las 5 a.m., se abre completamente a las 10 a.m., y se cierra por completo a las 5 p.m. En verano y días claros no tarda en abrir más de dos o tres horas; en días nublados la abertura no se afecta y en oscuridad y días lluviosos se abre parcialmente. En muchos casos los estomas permanecen cerrados a lo largo del día. (Penfound y Earle, 1948).

La inflorescencia del lirio es una espiga que consta de dos a treinta y cinco flores (dependiendo del tamaño y hábitat de la planta) colocadas espiralmente y sustentadas en un pedúnculo y dos brácteas axilares, una inferior con una hoja y una superior interna más pequeña y sin hoja. La porción del pedúnculo arriba de la bráctea, que no lleva flores, se llama subraquis y la porción con flores, raquis, que lleva botones de flor o flores colocados en cavidades relativamente profundas en arreglo espiral. Las flores individuales consisten en un hipantio de 17 mm de largo que curva gradualmente fuera del raquis (base del cáliz, modificada que rodea el ovario) un periantio, cuyo color es púrpura pálido, de tres sépalos separados y tres pétalos diferentes, seis estambres, tres cortos (8 mm) y tres largos (22 mm) de filamento blanco y un pistilo (gineceo) en tricarpelado (con tres cavidades). El pistilo consiste en un ovario cónico, estilo largo y blanco, y un estigma capitado, que se sitúa a la mitad entre los dos grupos de anteras o los rebasa, como sucede en algunos casos. El ovario madura en una cápsula membranosa trilocular dehisciente (se abre cuando madura dejando salir las semillas). El ovario produce aproximadamente 500 óvulos pero únicamente 50 semillas por cápsula. La cápsula necesita de 16 a 23 días para madurar, abriéndose espontáneamente por presión

de los tejidos internos que fracturan el pericarpio para liberar las diminutas semillas de 0.5 por 1 mm, de forma ovoide, que pueden caer al tapete de lirio si está en condiciones compactas o al agua. En este caso se precipitan al fondo y pueden permanecer viables ahí por mucho tiempo (hasta 15 años) sin llegar a germinar; se ha observado que esto sucede en espacios de baja temperatura y precipitación pluvial, en tanto su germinación es favorecida por temperaturas de 36 a 38 C. (Mitchell, 1978; Holm, et al., 1977; Olivera, 1985; Gutiérrez, et al., 1986).

En vista de la tremenda variación de la parte vegetativa e inflorescencia, no se pueden dar promedios de las dimensiones de sus partes. Aunque el número de flores varía según el tamaño de la planta, el tamaño de sus partes varía ligeramente.

### Reproducción

El lirio acuático se puede reproducir asexual o sexualmente. Aunque la generación puede ser importante en la recolonización de un área, la producción de nuevas plantas por reproducción vegetativa es mucho más significativa. En esta última, las plantas producen estolones horizontales que desarrollarán hojas arrosietadas de una yema terminal. El proceso se repite en las plantas hijas y, cuando la maleza crece rápidamente en condiciones ideales, un número inmenso de plantas se pueden producir en corto tiempo, hasta duplicar una población en 5 a 15 días. Cuando la tensión de oxígeno es baja, el tiempo de duplicación puede ser hasta de 50 días. La regeneración de fragmentos de plantas también puede ser prolífica (Mitchell, 1978).

En la reproducción sexual, los botones aparecen 10 días antes de que abra la flor en los meses más cálidos del año. El ciclo antocinético consiste en una floración y una fase de declive que se completa en 48 horas a 24-32 C y en 23-33 horas a mayor temperatura. Después de la fecundación, el pedúnculo floral se dobla, empujando las flores marchitas hacia abajo (lámina 3). Si los ovarios alcanzan el agua, el desarrollo de la cápsula continúa. Con autofecundación, la producción del fruto ocurre en 16 a 19 días. Poco después de la maduración, el fruto con las semillas expuestas las sueita al tapete o al agua, en cuyo caso se sumergen y van al fondo, y permanecen viables durante años. La luz, tanto en cantidad como en calidad, desempeña un papel muy importante en la floración; en la luz artificial insuficiente los botones no abren completamente y la oscuridad es un prerrequisito para la floración normal y el equilibrio hormonal (Penfound y Earle, 1948).

Estructuralmente, el lirio se encuentra bien adaptado para una polinización cruzada; a pesar de ello, no se conocen bien a sus polinizadores. Se han observado mariposas, abejorros y abejas; éstas son más numerosas, pero raramente visitan más de una flor por inflorescencia, y este comportamiento no explica el elevado número de cápsulas observadas. Cuando la flor está abierta es casi imposible la autopolinización, debido a la posición de la columna androceo-gineceo. La polinización artificial sí es posible, de ahí su importancia en la formación de frutos, que se logra, al parecer, por una autofecundación cuando se marchitan las flores gracias al espiralamiento del perianto. Lo anterior se deduce de la gran cantidad de polen en el estigma de flores marchitas, el poco polen en flores poco marchitas y el raro hallazgo de polen en estigmas de flores abiertas y botones sin abrir.

El tapete del lirio es adecuado para la germinación de semillas jóvenes hasta de 40 días, las de 40-90 días se desarrollan mejor en una superficie de agua; las de fondo no han germinado en laboratorio.

En tres días las semillas se pueden ver con una lupa (1 mm). La primera estructura en brotar es el cotiledón cilíndrico, seguido en breve por la raíz y las hojas. En 10 días se producen dos o tres hojas liguladas. En 20 días los cotiledones desaparecen y forman 4-6 hojas liguladas de 15 mm. En 30 días se han producido siete u ocho hojas liguladas y una o tres espatuladas con flotadores incipientes; en 40 días se han formado hojas con flotadores y ya se reconoce como plántula de lirio. En promedio se agrega una hoja cada tres días. En 60 días se producen nuevos brotes y de aquí en adelante hay formación de estolones, rizomas, hojas y finalmente flores y frutos. El ciclo de semilla a semilla es muy lento: dura más de cinco meses. Un requisito indispensable para la generación de la semilla es no la luz sino la escarificación de aquélla. (Lámina 4) (Penfound y Earle, 1948).

#### Hábitat

El lirio acuático habita lagos, embalses, ríos, pantanos, canales, estanques y abrevaderos, prosperando de igual manera en todos ellos y principalmente en hábitats contaminados o considerados eutróficos. No se presenta en aguas litorales donde existan salinidades mayores de 15%. El lirio puede estar en tierra, enraizado hasta 10-20 cm con raíces blancas y flexibles, y sobrevive a la desecación y pastoreo. Su tamaño, la presencia de inflorescencia y su número de flores se relacionan con el hábitat que ocupan, que determina las siguientes variaciones:

Plantas enanas. Se encuentran enraizadas en suelo arenoso o gravoso, con hojas de 8 cm y dos flores por inflorescencia; producen semillas viables.

Plantas pequeñas en aguas someras, ocasionalmente enraizadas, son pastoreadas por el ganado.

Plantas medianas. Habitan en cuerpos de agua con poco movimiento como los lagos.

Plantas grandes, en aguas de mucho movimiento, como los ríos, y bien oxigenadas.

Las plantas pequeñas, medianas y grandes producen igual peso seco por metro cuadrado y tiempo.

Finalmente, las plantas gigantes, que viven en aguas de mucho movimiento y bien oxigenadas; sus hojas miden más de un metro y raramente producen flores.

El lirio, al proveer un tapete o plataforma flotante sobre la cual se establecen numerosas plantas, desempeña un papel predominante en el ser de la comunidad. Su presencia acelera las etapas sucesionales produciendo grandes cambios en corto tiempo. Se han llegado a identificar más de 50 especies que se establecen en el tapete del lirio, que junto con él, al morir, lo engruesa paulatinamente hasta que, en aguas someras, finalmente es sustituido por el tule, cañas pioneras y helechos de pantano. Sobre la resistencia de estos tapetes se ha informado cosas increíbles; lo cierto es que es sumamente compacto y de resistencia elevada, y que provoca una gran diversidad de problemas a las actividades humanas.

Para conocer las fluctuaciones de los tapetes, Penfound y Earle (1948) determinaron la gravedad específica (volumen, peso) de las partes del lirio, encontrando que los flotadores (peciolos) presentaron la más baja con 0.136, seguida de hojas 0.741, raíces 0.782, rizomas 0.805 y estolones 0.818. Además, realizaron mediciones mensuales del material total del lirio y otras especies en un tapete de ocho años, durante uno. Encontraron que produce aproximadamente 370 ton/ha, que comparadas con el maíz (37 ton/ha) resultan proporcionadas. Hay poca producción de material nuevo hasta abril y una producción máxima total en agosto. El por ciento de material vivo es bajo; 30 % promedio en invierno y 65 durante el crecimiento. Constituyen el peso seco de la planta 52% de raíz y rizoma, 42% las hojas y 6% peciolos y estolones en abril. En junio, cambia las proporciones a 56% hojas y 3% inflorescencia a expensas de la reserva alimenticia del rizoma, que desciende de 23 a 10% en su contribución.

## Ecología

La más abundante de la literatura sobre lirio acuático, se refiere al rubro ecológico, y comprende estudios sobre su relación con los factores limitantes (ecofisiología), tasa de crecimiento, producción y productividad; todos ellos encaminados al control mecánico, químico y escasamente al biológico o a su aprovechamiento como sistema de tratamiento (tasas de remoción), alimento o fertilizante (bromatología) o sus usos adicionales (pulpa para papel, producción de biogas, etcétera).

### Factores limitantes (Ecofisiología)

Determinan la presencia o ausencia del lirio acuático (distribución) y han sido estudiados principalmente con fines de control; Bock (1969) descarta la precipitación pluvial como factor de importancia primaria, y atribuye mayor peso a factores como temperatura, nitratos, nitritos, sulfatos, fosfatos y otras sustancias orgánicas e inorgánicas en el agua; pH, humedad, nubosidad, corrientes de agua, tamaño y densidad de la población; sin embargo, ninguna conclusión definitiva se ha obtenido de estos estudios.

La luz influye en la producción de flotadores, que se forman sólo con buena iluminación y agua de alta presión osmótica. La presencia de flotadores decrece de la periferia al centro de un tapete, según la disminución de la luz en el centro por sobreposición de las hojas que bajan la intensidad a 130-500 candela-pie (la hoja se forma con flotador a 500 candela-pie o más). A 55 candela-pie todas las plantas de lirio mueren en dos meses. Knippling et al. (1970) detectaron una incidencia de luz arriba de las hojas de 10,000 ft-cd que disminuye abajo de las hojas hasta 1,500 ft-cd y menos de 15 C. La cantidad de almidón en el lirio varía: hay más en el rizoma, menos en raíz y promedio en estolones y hoja. En la oscuridad, el almidón no varía en dos días; en siete días baja a la mitad (nada en la raíz y el resto con granos de almidón); al noveno día no hay almidón a excepción del flotador y el istmo, igual que en el duodécimo día (Penfound y Earle, 1948), siendo dos veces mayor la acumulación de almidón a 10 C que a 30 C. El lirio acuático no tolera temperaturas del agua mayores de 34 C, y muere en cuatro o cinco semanas; sin embargo, Knippling et al. (1970) detectaron un mayor crecimiento a 28-30 C, que se detiene a más de 30 C, y que a más de 40 C la planta muere. Las hojas se destruyen por enfriamiento, pero el rizoma sólo sucumbe cuando se congela a -5 C, en 12 horas. (Sastroutomo, et al. 1978). Lámina 5.

El contenido de agua en el lirio acuático va de 93 a 96%. Sus partes varían en humedad: raíces 93.4%; rizomas 95.1%; peciolo 93.9% y hojas 89.3%, aproximadamente. El lirio muere cuando se

expone a desecación y su peso baja 15%. En el caso del lirio enraizado que queda sumergido al subir el nivel, los renuevos son capaces de resistir sumergidos 40 días y desarrollar flotadores mientras esto sucede. La planta adulta sumergida presenta exfoliaciones y retoños, incrementos de palidez y elongación de las hojas a los seis días; epinastia a los 24 días y necrosis a los 60. Cuando es flotante, la degradación del lirio en el agua es en el orden raíces, inflorescencia, tallos y hojas. Al séptimo día se sumergen las raíces e inflorescencia. (Penfound y Earle, 1948).

Los resultados de las mediciones de evapotranspiración del lirio varía de sitio en sitio. Mitchell (1978) repórta valores de 3.7: 1.0 y 1.26: 1.0; Penfound y Earle (1948) de 2 a 6.6: 1; Holm (1977) 2 a 8: 1; Gerard, (1978) 1.3 a 5%. La mayoría de estas mediciones fueron llevadas a cabo en condiciones artificiales o semi-artificiales y probablemente no reflejan valores verdaderos. Sin embargo, es cierto que la presencia del lirio acuático incrementa la pérdida de agua en los sitios donde habita (lámina 6 y cuadro 1).

La concentración de ión hidrógeno en el agua (pH) también influye en el metabolismo del lirio acuático, pudiendo tener efectos críticos en su acción fisiológica. El lirio se encuentra en aguas con pH de 4 a 10 (Haller y Sutton, 1973), y adquiere el rango de infestación masiva entre 6.2 y 7.6 en todo el mundo. Se corroboró con pruebas de laboratorio que el máximo crecimiento se da a pH7 (Slament y Sukowati, 1975). Kuri Kasu (1979) encontró que a bajos pH (3 y 4) el lirio presenta pocas hojas normales y la producción de raíz se detiene. Mientras que Haller y Sutton (1973) encontraron que a pH12 el lirio muere por falta de nutrientes esenciales, los cuales se precipitan a pH tan alto. En todas las investigaciones realizadas sobre este factor se notó una tendencia a cambiar el pH del agua de los experimentos de ácido o alcalina a neutro debido a la difusión de CO<sub>2</sub> y a la absorción de sales nutritivas (cuadro 2).

La interacción entre el pH y la toma de nutrientes por el lirio acuático también actúa como un factor ambiental de importancia. Las plantas maduras crecen bien a pH de 5 a 8 con una concentración de 20 mg/l de nitrógeno amoniacal (N-NH<sub>4</sub>) y sólo a pH7 con 160 mg/l de N-NH<sub>4</sub>, se producen daños en plantas inmaduras con concentraciones de 160 mg/l de N-NH<sub>4</sub> (Kuri Kasu (1976). Slament y Sukowati (1975) encontraron que la mejor toma de nitrógeno se da a pH7, viéndose favorecida la toma de N-NH<sub>4</sub> a pH alcalino y de N-NO<sub>3</sub> a pH ácido; esto varía con la edad, el status de carbohidratos de la planta y el periodo de observación, por lo que en ocasiones la buena absorción de N-NO<sub>3</sub> detectada en algunos experimentos se debe a su corta duración, lo cual ha llevado a afirmar que los nitratos son la principal fuente de nitrógeno para el lirio acuático. La asimilación del fósforo

aumenta conforme baja el pH, presentando su máxima absorción a pH4. La mejor toma de potasio es, al igual que en el nitrógeno, a pH7.

Los nutrientes en el agua que se han estudiado son N, P, K, Ca, Mg, y Fe (Kuri Kasu, 1978), hallándose descenso en el peso húmedo del lirio, pocas hojas normales y plantas nuevas cuando existe deficiencia de N, P y Ca. Con la falta de Ca no hay producción de raíz ni hojas, y aumenta la fractura de raíces. A falta de P el lirio muestra el típico moteado clorótico en las hojas, y a falta de N sólo crece la raíz, mostrando un color púrpura.

Cuando el nitrógeno abunda en el agua, el lirio lo toma en grandes cantidades y crece rápidamente en peso y número de plantas, presentando buenos crecimientos a 190 mg/l de N-NH<sub>4</sub>. Diferenciando plantas maduras e inmaduras, Kuri Kasu (1978) encontró que en las plantas maduras el crecimiento aumenta conforme se incrementa la concentración de N-NH<sub>4</sub> y en las inmaduras el crecimiento máximo se da a 40 mg/l de N-NH<sub>4</sub>; esto indica que la planta difiere considerablemente en sus requerimientos de nitrógeno para un crecimiento óptimo. Además, detectó que las principales fuentes de nitrógeno son N-NO<sub>3</sub> y N-NH<sub>4</sub> y que el mayor contenido de nitrógeno en las plantas se da cuando tiene como fuente de este elemento N-NH<sub>4</sub> y no N-NO<sub>3</sub>. En el caso del fósforo, el crecimiento es mayor a 20 mg/l que a 0, 5, 10 y 40 mg/l (Haller y Sutton, 1973). A concentraciones mayores de 40 mg/l, el fósforo es tóxico para el lirio debido a la neutralización, durante el experimento del ácido fosfórico con hidróxido de sodio, que produce una solución con salinidad tóxica. En este mismo experimento, los autores encontraron que el porcentaje de hojas y tallos producidos en la solución de fósforo a 20 mg/l no difería a las de otras concentraciones, excepto a 0 mg/l, donde se producía un incremento en la raíz y consecuentemente reducía el peso porcentual de hojas y tallos. El lirio absorbe cuatro veces más fósforo que otras plantas, encontrándose más contenido de fósforo por peso en plantas inmaduras.

El lirio acuático puede vivir largos periodos en aguas muy oligotróficas, aunque su crecimiento óptimo tiene lugar en condiciones eutróficas. Haller, et al. (1970) y Mitchell (1978) encontraron que, en concentraciones menores de 0.1 mg/l, el fósforo limita su crecimiento, mientras que en proporciones mayores los nutrientes son absorbidos en grandes cantidades, que pueden ser subsecuentemente transferidas del tallo y raíces. Para los requerimiento de nitrógeno del lirio, probablemente sea significativo que una bacteria fijadora de nitrógeno (Azotobacter Chroocum) esté presente en las hojas en número considerable (Iswaran, et al., 1973 en Mitchell, 1978), las cuales pueden ser

concentradas en poco exudado de la base del peciolo; la fijación de nitrógeno se presenta cuando el lirio crece en aguas libres de este elemento.

Rai y Datta (1979) han demostrado que el lirio acuático abate la temperatura, pH, oxígeno y alcalinidad de bicarbonatos del agua, e incrementan notablemente el dióxido de carbono disuelto (cuadro 5). La razón de las altas concentraciones de CO<sub>2</sub> y bajo oxígeno disuelto (en ocasiones de cero) es la alta descomposición anaeróbica del lirio y detritus en el tapete, que incrementa la actividad respiratoria de los organismos y el descenso en la tasa fotosintética por efecto de sombreado. Además, Ultsh (1973) en Mitchell, 1978) informa que la luz se reduce sustancialmente, se decolora el agua y adquiere olor y sabor desagradables. Todos estos efectos alteran la flora y fauna del agua, degradando su calidad para diferentes usos.

#### Tasa de crecimiento y productividad

Otro aspecto ecológico, de tipo poblacional, es la tasa de crecimiento del lirio acuático, que ha sido tratada ampliamente por Bock (1969); Penfound y Earle (1948); Haller y Sutton (1973); Reddy y De Busck (1984), y Sastroutomo, et al. (1978), entre otros, que estudiaron su tasa de crecimiento bajo condiciones de laboratorio y campo en climas cálidos y templados. La mayoría de estas investigaciones, aunque con metodología muy variada, coinciden en la determinación de la tasa de crecimiento expresada en unidades de peso por peso por tiempo, ya sea en peso seco o húmedo, o número de plantas, así como los tiempos de duplicación. Los modelos utilizados para simular el crecimiento del lirio son de tipo exponencial, la mayoría basados en el modelo logístico que genera una curva sigmoide. Una forma diferente de evaluar el crecimiento del lirio fue desarrollada por Sulikowska y Lot (1983), que aportan datos para la comprensión de los mecanismos que regulan la estructura de las poblaciones del lirio a partir de una perspectiva de organización modular. Concluyen que la producción de unidades de crecimiento clonal (ramets) está fuertemente limitada en aguas oligotróficas de alta diversidad biológica en que se manifiesta la gran plasticidad fenotípica de la especie en su conducta vegetativa y reproductiva, no así en aguas eutróficas.

En climas templados, las alta tasas de crecimiento del lirio le permiten mantenerse por años, a pesar de la alta tasa de mortalidad en invierno (Bock, 1969); por esta razón los estudios sobre crecimiento se limitan, en su mayoría, a los meses cálidos del año (primavera-verano); pocos estudios cubren un año completo. En el cuadro 6, tomado del trabajo de Sastroutomo, (1978) determina que en Japón la tasa relativa de crecimiento

en verano es cinco veces mayor y el tiempo de duplicación cuatro veces más corto que en invierno, y con fertilizante (10 kg NPK/ha) ocho veces mayor y cinco veces más corto.

Reddy y De Busk (1948) determinaron las características del crecimiento estacional y producción de biomasa, sin limitantes y en condiciones naturales, al detectar que el máximo incremento del lirio se produce en bajas densidades. El crecimiento del lirio es influido por los cambios de temperatura y radiación solar y estacional. Su curva muestra tres fases: 1) fase inicial de retraso seguida de crecimiento exponencial, 2) crecimiento lineal y 3) crecimiento exponencial lento (lámina 7). La máxima tasa de crecimiento se observa en la fase lineal y se considera de mayor producción. El ciclo termina cuando ya no hay crecimiento. El efecto estacional se da en la tasa de crecimiento pero no es la densidad máxima, que fue de 2,300 g/día en peso seco y una tasa máxima de crecimiento de 52 g/m<sup>2</sup>/día en verano, y la menor en invierno con 2.8 g/m<sup>2</sup>/día.

La eficiencia en la conversión de energía del lirio es de 2.86%, mucho mayor que las terrestres (3.8 kcal/g dan 29 g/m<sup>2</sup>/día en un peso seco).

En México, Gutiérrez, et al. (1986) determinaron tasas de crecimiento de 0.07 kg/día para verano y 0.04 kg/día para invierno.

La producción y productividad del lirio acuático se ha medido, convencionalmente, considerando su biomasa por unidad de área en un tiempo dado; esto es lo más común. Knippling et al. (1970) determinan su productividad primaria midiendo CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> obteniendo bajas tasas fotosintéticas y Hwlsak (1980) propone un método basado en la medición de absorción de nutrientes, básicamente N-NO<sub>3</sub>, detectados con un analizador cada 24 horas.

La producción de biomasa del lirio es sumamente alta, llegando a ser hasta 10 veces más productivo que algunas leguminosas. Diversos autores como Wooten y Dodd (1976), Boyd (1970, 1976), Boyd y Scarbrook (1975), Reddy y De Busk (1984), Gutiérrez (1986) y el autor (1987), entre otros, han cuantificado las densidades del lirio en diversos experimentos y cuerpos de agua con valores que van desde los muy bajos hasta los 80 kg/m<sup>2</sup>, con promedios de 100 ton/ha/año y crecimiento promedio de 40 g/m<sup>2</sup> día. Los valores anteriores varían negativa o positivamente dependiendo de las condiciones climáticas del sitio de estudio, las condiciones del experimento y las características genéticas de la población del lirio que se esté investigando.

## Aprovechamiento y control del lirio

### Aprovechamiento

De la mayor parte de la información existente sobre la ecología del lirio acuático, el aprovechamiento y control de esta planta es la más abundante. En un trabajo del autor (Olivera y Díaz, 1986) se destacan las aportaciones más importantes sobre el tema en México, incluidos su aprovechamiento como alimento de organismos dulceacuícolas, forraje para ganado, ensilaje y materia orgánica para suelos, así como su empleo en la obtención de harina, su aplicación como abono, mejorador de suelos, su utilidad en la obtención de pulpa para papel y gas natural. También se describen los intentos de control mecánico, químico y biológico.

El tema sobre su aprovechamiento como sistema de tratamiento ha inducido investigaciones nacionales (Rico y Aguilar, 1984; Rosas, et al., 1980) y extranjeras (Musil, 1977, 1976; Ogwada, et al., 1984; Duningam, et al., 1983).

De los estudios citados se puede resumir lo siguiente:

El lirio acuático se ha considerado buen elemento para el tratamiento de aguas residuales por su alta capacidad de remoción de macro y micronutrientes debida a su sistema radicular tan extenso, su crecimiento poblacional con altas tasas de reproducción vegetativa y su capacidad para tolerar altas concentraciones de la mayoría de los contaminantes. Crece vigorosamente en aguas residuales domésticas (Wooten y Dodd) donde el N es limitante (Cornwell, et al., 1977), y se puede eliminar grandes cantidades de N y P por cosechado (Boyd, 1976). La capacidad de remoción del lirio depende directamente del área, tiempo de retención y profundidad del sistema por descontaminar. (Cornwell, et al., 1977).

La capacidad de absorción de nitrógeno del lirio como  $\text{NO}_3$  y  $\text{NH}_3$  llega a ser de cinco a 10 veces más rápida que para el fósforo (Boyd, 1976). La rapidez con que la planta absorbe el P es menor respecto del Fe y Mn, pero su traslocación es más rápida, ya que aparece en las hojas en 48 horas, (el Fe en 21 días y en Mn en 210 días), removiéndose en mg por planta de 70 g, 7.8 de P, 5.73 de Mn y 0.4 de Fe. (Cooley, et al., 1978). Otros datos de remoción han sido aportados por Boyd (1970 y 1976), que reporta valores que van de 322-600 kg P/ha/año y de 1,980-6,000 kg N/ha/año, con tasas de 3.4 N y 0.43 P kg/ha/día, dependiendo si se trata de climas cálidos o subtropicales. Duningam, et al., (1975) obtuvieron remociones de  $\text{NH}_4$  de 0.3 y 0.6 g en 15-21 días y de N- $\text{NO}_3$  de 0.3 g en 23 días. Rosas, et al., (1980) encontraron que el lirio concentra cadmio  $10^3$  a  $10^4$  veces más que la

concentración de su medio, almacenando de 70 a 80% en la raíz. La presencia del lirio indica concentraciones de cadmio hasta de 0.01 mg/l.

De Busk, et al., (1983) evaluaron en sistemas de tratamiento de Florida la pérdida de N y P por lirio en cuatro estanques de 0.1 ha con cosechado y uno de 0.2 ha sin cosechar. En N y el P se removieron a altas tasas donde hubo cosecha (362 y 115 mg/m /día) en comparación con el no cosechado (55 y 15 mg/m /día). Sin embargo, la inmovilización de N y P por sedimentos fue menor donde se cosechó (3 y 1%) que en los cosechados (33 y 13%). En el no cosechado la desnitrificación fue de 92%, 2.4 veces mayor que la remoción de N que el cosechado (875 y 362 mg N/m /día). El promedio de remoción total fue de 87% de N y de 10% de P únicamente.

Otro tema relacionado es la liberación de N y P al agua del lirio al descomponerse después de morir; al respecto, Ogwada et al., (1984) determinaron que por la solubilización de los nutrientes, la liberación de P y N inicial es rápida. En aerobiosis la formación de NO<sub>3</sub> se relaciona al cociente carbono/nitrógeno. Después de 105 días de descomposición aeróbica se liberan 48-76% del N y 67-90% del P. En anaerobiosis, el tejido libera 86% de N en 94 días. La liberación de N y P incrementa significativamente cuando aumenta la temperatura.

La bromotología del lirio, para su aprovechamiento como alimento, también ha generado información ecológica. Los nutrientes no se distribuyen uniformemente a lo largo de la planta. La posición de la planta en la comunidad influye fuertemente en su composición química y distribución de nutrientes.

El lirio marginal acumula más sodio y nitrógeno en todas sus partes (raíz, peciolo y hoja) y más calcio y fósforo en la raíz. El lirio del centro acumula más potasio en todas sus partes; calcio y fósforo en peciolo y hojas. Cuadro 7. (Musil y Breen, 1977). La composición también varía según la época del año y lugar de procedencia. En promedio, el lirio contiene 95% de humedad y en por ciento de peso seco, 43 C, 2.5 N, 0.45 P, 20 cenizas, 4.0 K, 3.5 Na, 1.0 Ca y 0.5 Mg, el Fe; Al y As son altos. Se encuentran en él algunos compuestos tóxicos, como oxalatos 0.2-8% y taninos 1.4%. Su energía digestible de 2,600 Cal/kg de materia seca es semejante a la leguminosas. Gerard, et al. (1978), Woolverton y McDonald (1978) mencionan que aproximadamente tres kg de hoja de lirio húmedo dan todas las proteínas, vitaminas y minerales requeridas diariamente por el ser humano.

## Control

Al hacer uso de un método de control del lirio o de cualquiera otra maleza es conveniente considerar los usos del agua, el grado de control, la seguridad del método (alteraciones en ecosistemas), su efectividad y costeabilidad.

### Control químico

Probablemente el control químico del lirio sea de los más utilizados en la actualidad, a pesar de los efectos ambientales que trae consigo y que no han sido estudiados ampliamente.

Herbicidas como Ametrina (0.4 kg/ha), Paraquat 2,4-D (0.5-kg/ha), Diquat-2,4-D (0.5-2 kg/ha) y 2,4-D (2.9 kg/ha) provocan la muerte del lirio en 14 días.

### Control mecánico

El control mecánico es costoso y generalmente se considera cuando puede ser parcialmente financiado al aprovechar el lirio extraído.

### Control biológico

El control biológico del lirio ha considerado el uso de los escarabajos Neochetina eichhorniae y N. bruchi, el ácaro Orthogalumna terebrantis, el manatí (Trichechus manatus), un caracol (Marisa cornuariensis) y la carpa herbívora (Ctenopharyngodon idella) sin resultados satisfactorios a la fecha.

Carter, et al., (1975) proponen un modelo para evaluar los efectos del control del lirio en ecosistemas acuáticos (lámina 8).

## BIBLIOGRAFIA

- Bock, J.H., "Productivity of the water hyacinth Eichhornia crassipes (Mart) Solms", Ecology, vol. 50, núm. 3, 1969, pp. 464-469.
- Boyd, D.E., "Vascular aquatic plants for mineral nutrient removal from polluted waters", Economic Botany, vol. 24, 1970, pp. 95-103.
- , "Accumulation of dry matter, nitrogen, and phosphorus by cultivated water hyacinths", Economic Botany, vol. 30, 1986, pp. 51-56.
- Boyd, D. E. y Scarsbrook, E., "Influence of nutrient additions and initial density of plants on production of water hyacinth Eichhornia crassipes", Aquatic Botany, vol. 1, 1975, pp. 253-261.
- Carlos, H.G. y Contreras, R., Inventario nacional de malezas acuáticas y su distribución, Informe técnico, CIECCA-SARH, México, 1981.
- Cartier, E.K., Braat, L. y Stevens, M.L., "Use of models for evaluating aquatic weed control strategies", Hyacinth Control Journal, vol. 13, 1975, pp. 34-39.
- Cooley, T.N., González, M.H. y Martín, D.F., "Radio-manganese Iron, y -phosphorus uptake by water hyacinth and economic implications", Economic Botany, vol. 32, núm. 4, 1978, pp. 371-378.
- Cornwell, D.A., Soltek, J., Jr., Patrinely, C.D., Furman, T. de S., Kim, J.I., "Nutrient removal by water hyacinths", Journal of Water Pollution Control Federation, s.l., enero de 1977, pp. 57-65.
- Cronquist, A., Introducción a la botánica, 5a. ed., México, CECSA, 1975.
- De Busk, T.A. Williams, L.D., y Reyther, J.H., "Remover of nitrogen and phosphorus from wastewater in a waterhyacinth based treatment system", Journal Environmental Quality, vol. 12, núm. 2, 1983, pp. 257-262.
- Dunigam, E. P., Phelan, R. A. y Shamsuddin, Z. H., "Use of waterhyacinths to remove nitrogen and phosphorus from eutrophic waters", Hyacinth Control Journal, vol 13, 1975, pp. 59-61.

- Gay, P.A., "Ecological studies of Elchhornia crassipes, Solms in the Sudan", Journal Ecology, vol. 48, 1960, pp. 185-191.
- Gerard, C., Ledesma, R. y Troncoso, H., "El lirio acuático en la alimentación animal", s.l, s.ed., s.f.
- Gutiérrez, L.E., Diaz, G. y Romero, F. Experiencias en México del control mecánico del lirio acuático, Informe técnico, IMTA-SARH, México, 1986.
- Haller, W. T. y Soutton, D.L., "Effect of pH and high phosphorus concentration on growth of waterhyacinth". Hyacinth Control Journal, vol. 11, 1973, pp. 59-61.
- Hanlsak, M. D., "Estimation of primary productivity from diel nitrate uptake measurements of the water hyacinth Elchhornia crassipes in and aquaculture system. Aquaculture, vol. 19, 1980, pp. 75-86.
- Holm, G. L., Plucknett, L.D., Pancho, V.J. y Herberger, P.J., The World's Worst Weeds Distribution and Biology, EUA, The East-West Center by the University Press of Hawaii, 1977, pp. 72-77.
- Kanikazu, U., "Habitat and nutrition of water hyacinth", JARQ, vol. 12, núm. 3, 1978, pp. 121-127.
- Knipling, E.B., West, S.H. y Haller, W.T., "Growth characteristics, yields potential, and nutritive content of water hyacinths". Proceedings, (Contributed paper |Soils and crops| J.G.A. Fiskell, Presiding), vol. 30, 1970, pp. 51-63.
- Mitchell, D.S., "Aqualitic weeds in Australia inland water", Dept. of Environment, Canberra, Housing and Community Australia Government Publishing Service, 1978, pp. 198-112.
- Musil, C.F. y Breen, C.M., "The influence of site and position in the plants community on the nutrient distribution in, and content of Elchhornia crassipes (Mart.) Solms", Hidrobiología, vol. 53, núm 1, 1977, pp. 67-72.
- , "The application of growth kinetics to the control of Elchhornia crassipes (Mart) Solms. through nutrient removal by mechanical harvesting", Hidrobiología, vol. 53, núm. 2, 1977, pp. 165-171.
- Niño, S. M y Lot, A., "Estudio demográfico del lirio acuático Elchhornia crassipes (Mart) Solms: dinámica de crecimiento en dos localidades selectas de México", Boletín de la Sociedad Botánica, vol. 11, núm. 45, México, diciembre, 1983.

- Ogwada, R. A., Reddy, K.R. y Graetz, D. A., "Effects of aeration and temperature on nutrient regeneration from selected aquatic macrophytes", Journal Environmental Quality, vol. 13, núm. 2, 1984, pp. 239-243.
- Olivera, V.V., Aspectos biológicos de tres malezas acuáticas (Hidrylla verticillata; Eichhornia crassipes y Typha, sp.), Informe técnico, CIECCA-SARH, México, 1985.
- , Estudio de eutroficación en la presa Valle de Bravo, Méx., Informe técnico, IMTA-SARH, México, 1987.
- Olivera, V.V. y Díaz, Z.G., Control y aprovechamiento de malezas acuáticas en México, Informe técnico, México, CIECCA-SARH, 1984.
- , "Experiencias de México en el control y aprovechamiento de malezas acuáticas", Memorias del tercer encuentro del proyecto regional. Desarrollo de metodologías simplificadas para la evaluación de la eutroficación en lagos cálidos tropicales, México, CIECCA-SARH, 1985.
- Penfound, W.T. y Earle, T.T., 1948, "The biology of the water hyacinth", Ecological Monographs, vol. 18, 1948, pp. 447-472.
- Rai, D.N. y Datta, J.S. "The influence of thick floating vegetation (water hyacinth: Eichhornia crassipes) on the physico-chemical environment of a fresh waterland", Hidrobiología, vol. 61, núm. 1, 1979, pp. 65-69.
- Reddy, K. R. y De Busk, W. F., "Growth characteristic of aquatic weeds cultured in nutrient-enriched waters: I. Water hyacinth, water lettuce, and pennywort", Economic Botany, vol. 38, núm. 2, 1984, pp. 229-239.
- Rico, M.M. y Agullar, M.A., "El lirio acuático como desionizante de aguas", IV Congreso de Ingeniería sanitaria y ambiental, México, s. ed., 1984.
- Rosas, I., Báez, A., Belmont, R. y Gómez, E., "Eichhornia crassipes como un indicador de la presencia de cadmio", Geografía núm. 12, México, Instituto Panamericano de Geografía e Historia, 1980.
- Sánchez, S.O., La Flora del Valle de México, México, Ed. Herrero, 1979.
- Sastroumoto, S. S., Ikisina, I. y Numata, M., "Ecological studies of waterhyacinth (Eichhornia crassipes Mart. Solms) with special emphasis on their growth", Japanese Journal Ecology, vol. 28, 1978, pp. 191-197.

Sculthorpe, C.D., The biology of aquatic vascular plants, s.l., Edward Arnold, 1976, 1810 pp.

Slamet, S. y Sokawati, S. "Interaction between pH and nutrient concentration on the growth of waterhyacinth Eichhornia crassipes (Mart.) Solms, 1975.

Wolverton, B.C. y McDonald, R.C., "Nutritional composition of water hyacinths grown on domestic sewage", Economic Botany, vol. 32, núm. 4, 1978, pp. 363-370.

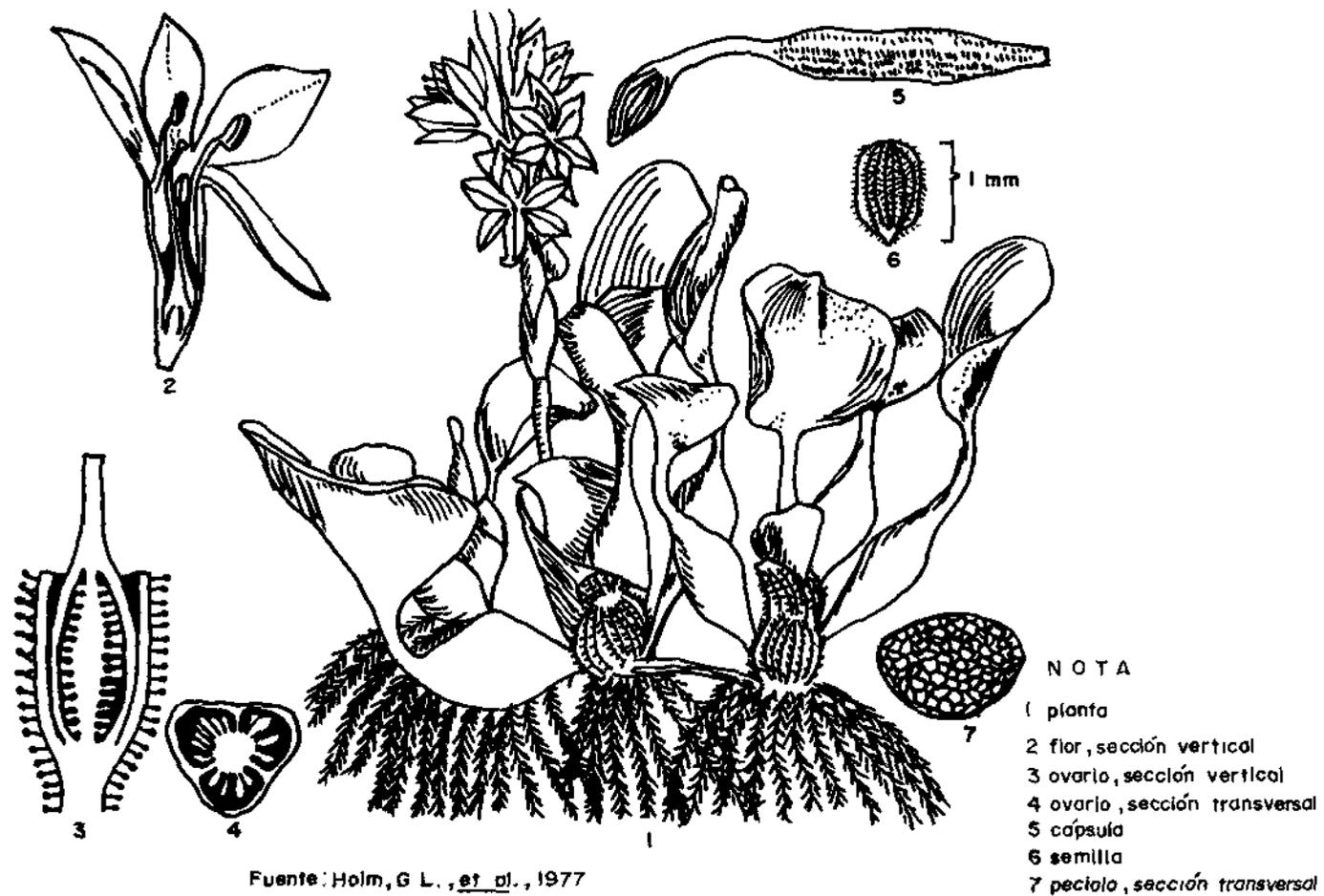
Wooten, J.W., Dodd, J.D., "Growth of water hyacinths in treated sewage effluent", Economic Botany, vol. 30, núm. 29, 1976, pp. 29-37.

Lámina 1. Distribución del lirio acuático en México



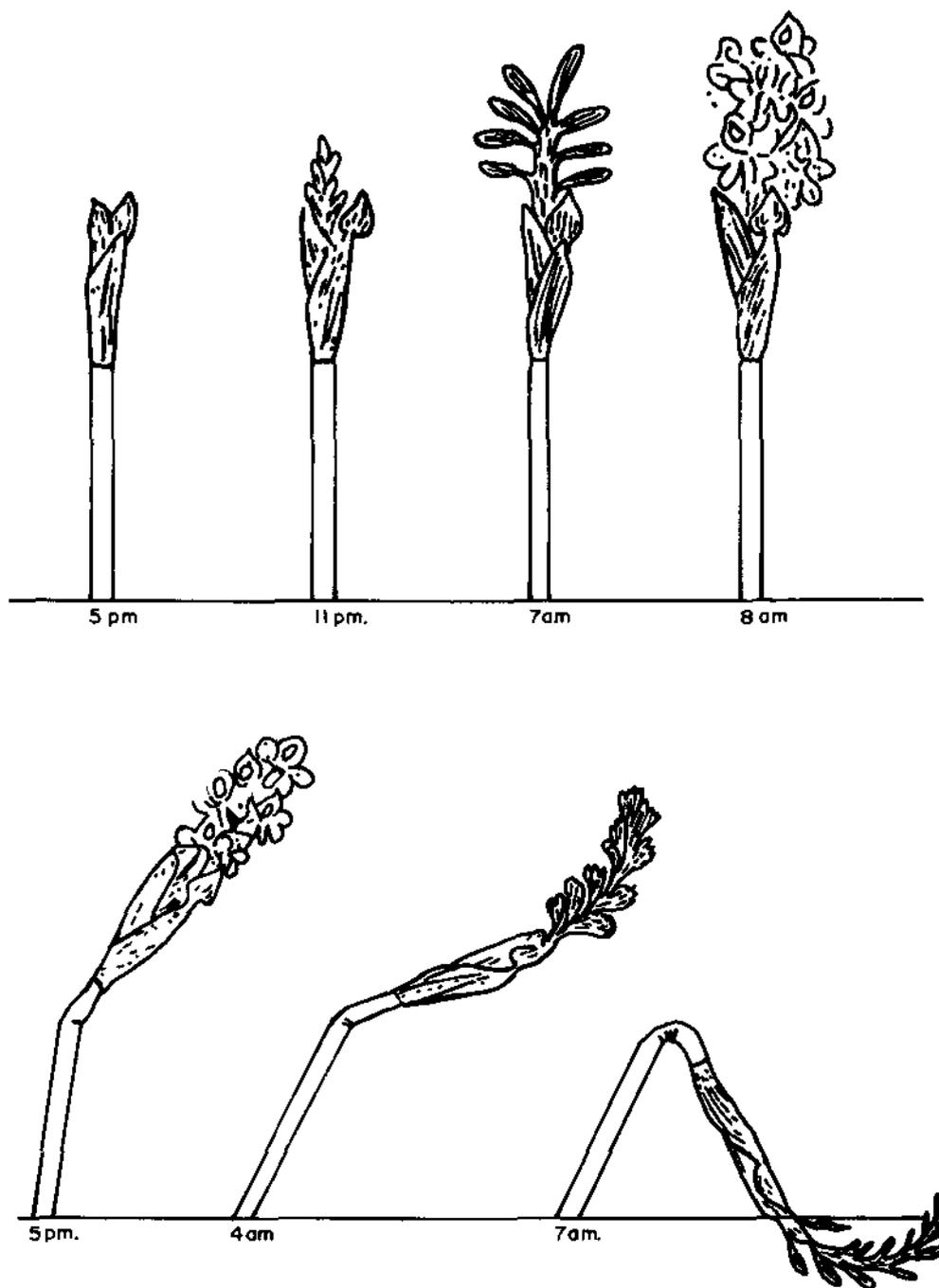
Fuente: Contreras y Carlos 1981

Lámina 2. Morfología de Eichhornia crassipes (Mart.) Solms



Fuente: Holm, G L., et al., 1977

Lámina 3. Ciclo antocinético que incluye fases de floración y doblez



Fuente Penfound y Earle, 1948

Lámina 4. Ciclo de vida del lirio acuático Eichhornia crassipes

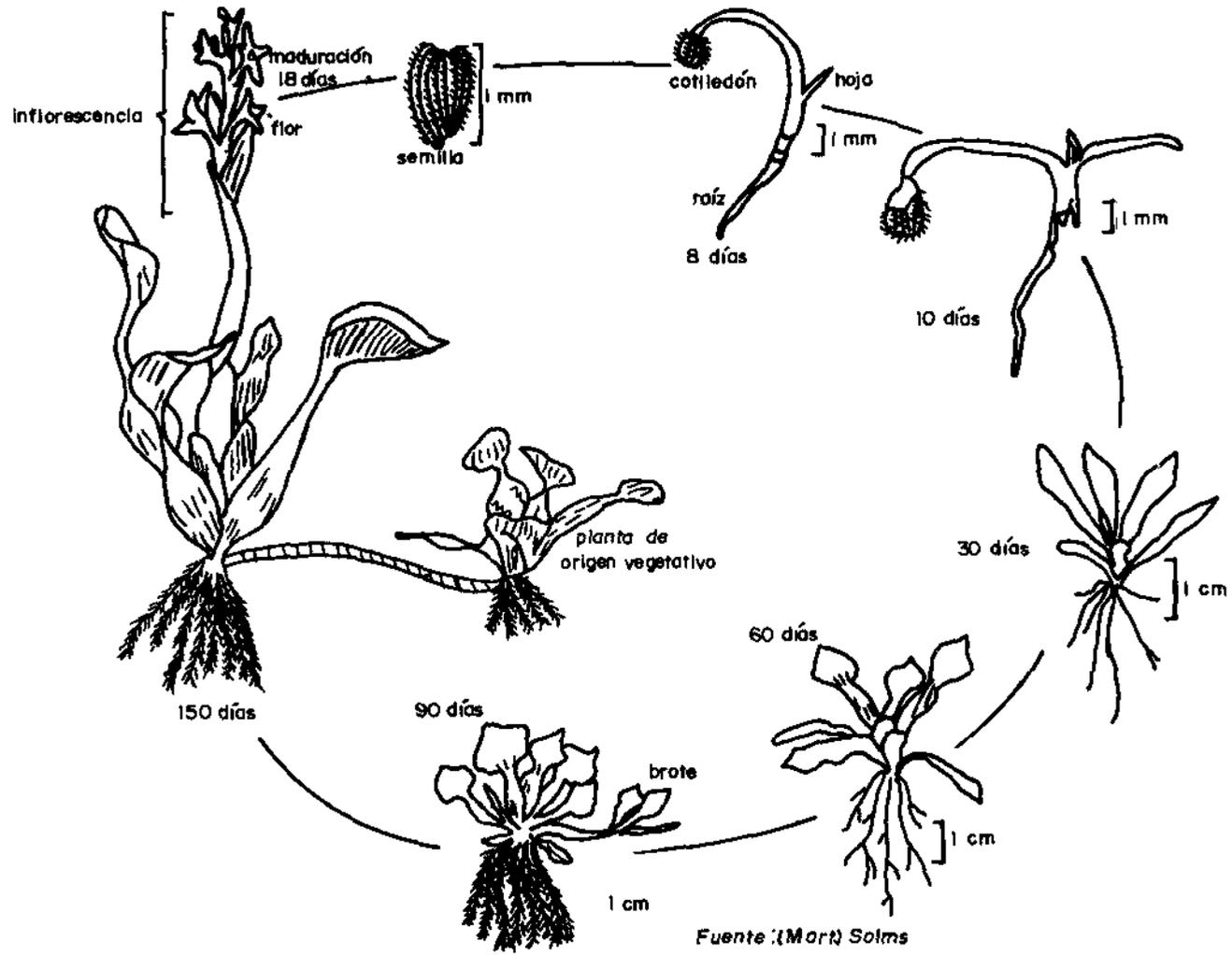
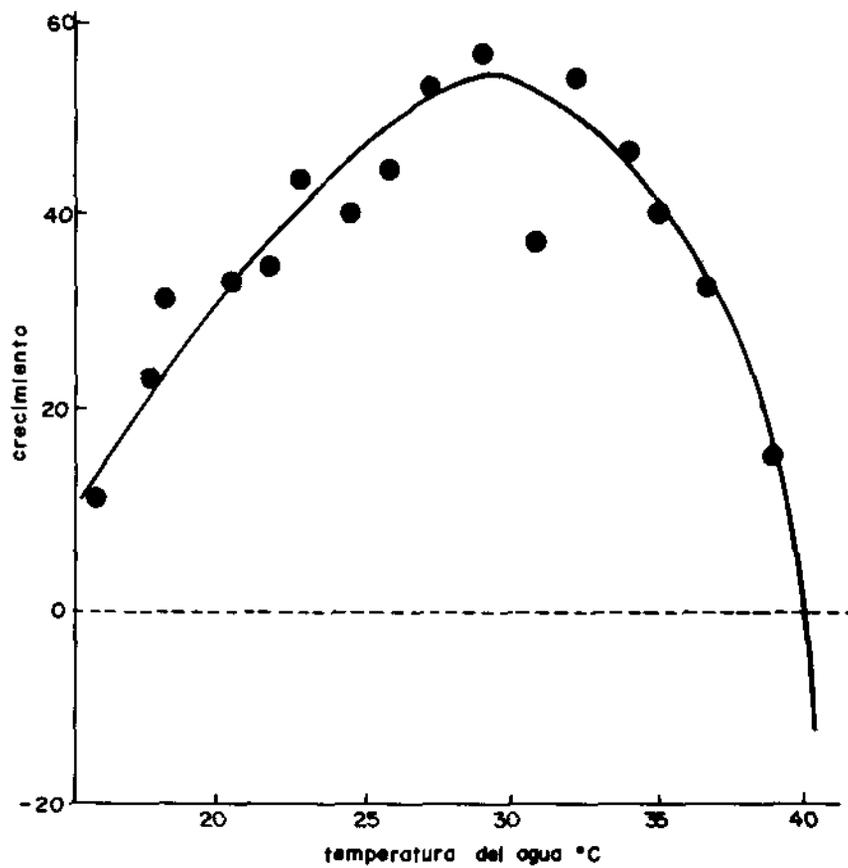
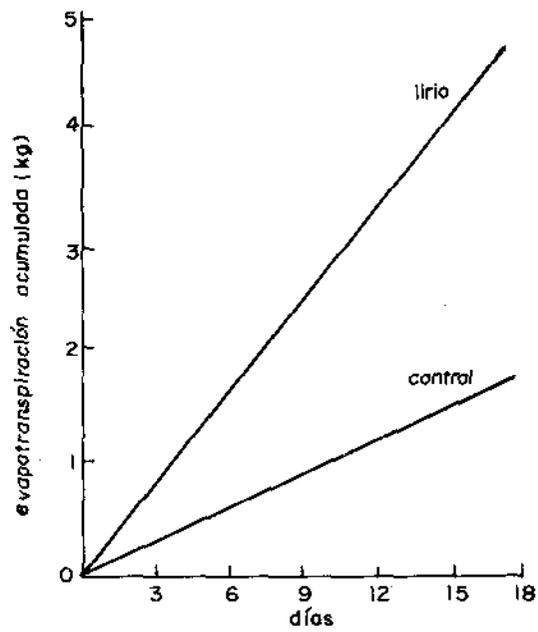


Lámina 5. Crecimiento del lirio acuático en peso húmedo durante 14 días a diferentes temperaturas del agua



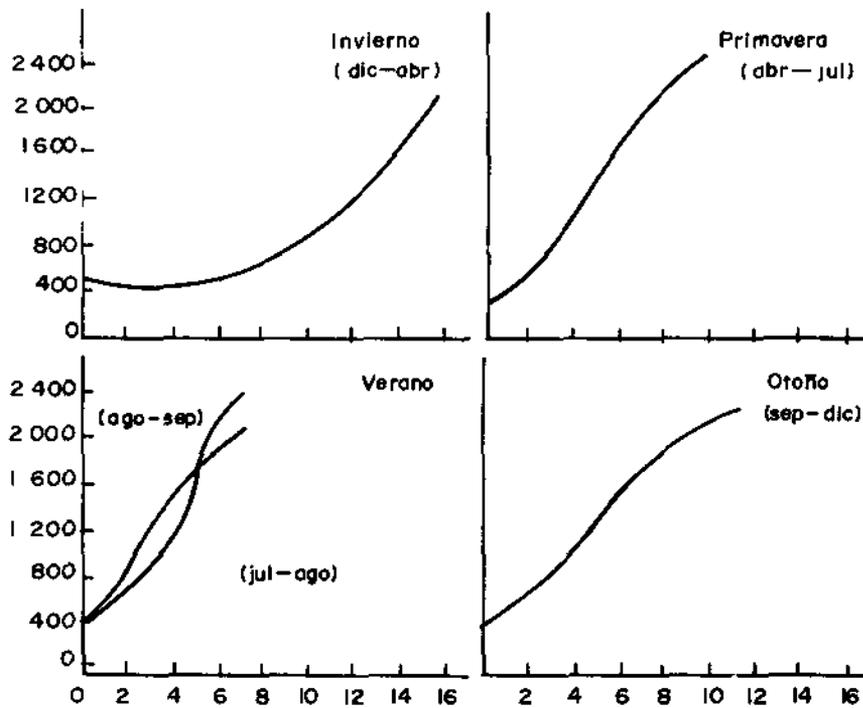
Fuente: Knippling, et al, 1970

Lámina 6. Evapotranspiración acumulada del lirio y solución control sin plantas



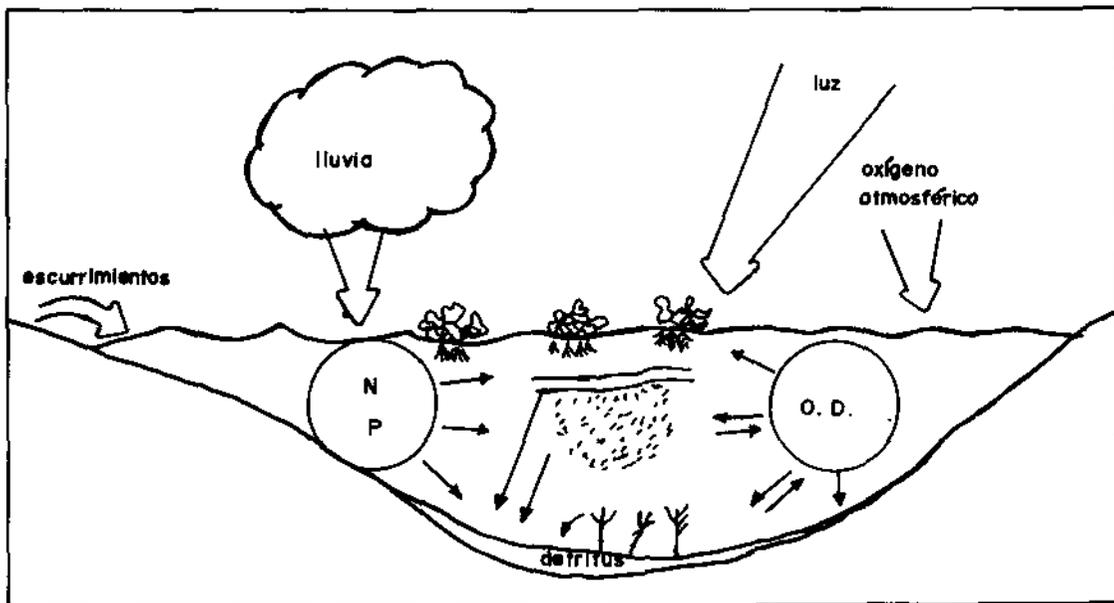
Fuente: Knipling, et al, 1970

Lámina 7. Curvas de crecimiento del lirio acuático a varios tiempos durante crecimientos estacionales



Fuente: Reddy y De Busk, 1984

Lámina 8. Principales componentes de un ecosistema acuático para su modelación



Fuente: Carter, et al, 1975

Cuadro 1. Transpiración del lirio acuático en relación con la evaporación.  
Fuente: Penfound y Earle, 1942

Fecha	Condiciones	Transpiración total ■■	Evaporación ■■	Transpiración Evaporación
Junio 17 - 19	Claro	8,650	1,900	4.5
Junio 20 - 28	Nublado Lluvia	27,400	10,500	2.6
Junio 29 Julio 2	Claro	11,700	2,800	4.2
Julio 3 - 9	Nublado Lluvia	26,900	13,200	2.0
Julio 10 - 20	Claro	31,700	4,800	6.6
Total	Claro 13 días Lluvias 21 días	106,350	33,200	3.2

Cuadro 2. Efecto del pH en el peso del lirio durante un periodo de 4 semanas

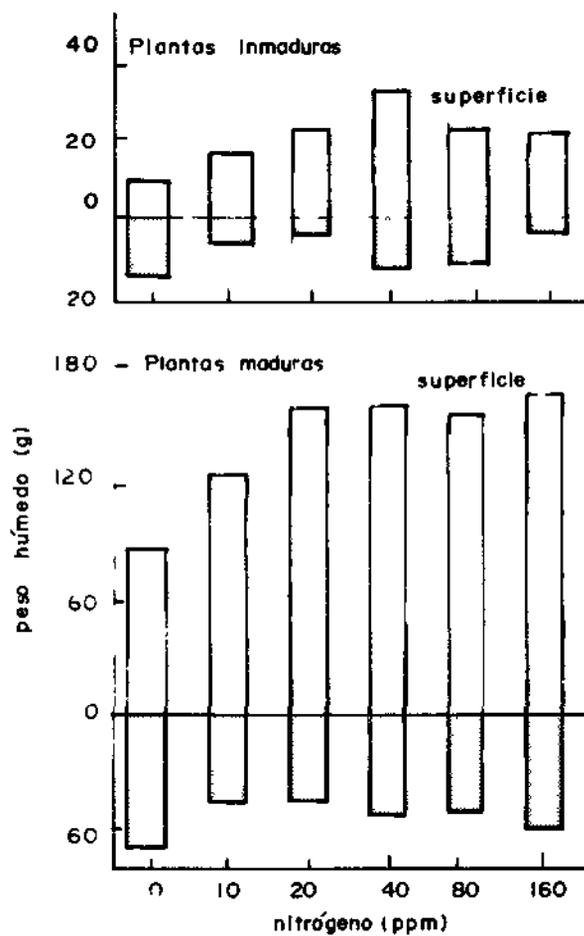
pH		(c)
Inicial	(a) Después de 4 semanas	Indice de peso húmedo g
2	1.9	---
3	---	60
4	4.6	54
5	---	89
6	6.8	74
7	7.6	103
8	7.3	96
10	8.7	---
12	9.4	(a, b) -2.1

a) Datos de Haller y Sutton, 1973

b) Peso seco en g

c) Datos de Kunikasu, 1978.

**Cuadro 3. Efecto del nivel de nitrógeno en el crecimiento del lirio**



Fuente: Kunikasu, 1976

**Cuadro 4. Peso seco del lirio acuático creciendo en soluciones con diferentes concentraciones de fósforo.**  
**Fuente: Haller y Sutton, 1973**

Concentración de fósforo (ppm)	Peso seco de la planta (g)			
	Hoja	Tallo	Raíz	Total
0	4.4	6.0	6.8	17.2
5	7.8	10.9	3.5	22.2
10	9.2	12.6	3.9	25.6
20	11.7	16.5	4.4	32.6
40	8.6	10.7	3.9	23.2

Cuadro 5. Comparación de pH, temperatura, oxígeno disuelto, CO<sub>2</sub> libre y bicarbonato en áreas infestadas y no infestadas de lirio. Fuente: Rai y Darra, 1979

Parámetro	Area	Invierno	Primavera	Verano	Otoño	Promedio
		Floración		Sin Floración		anual
Temperatura °C	Clara	17.1	19.8	29.1	28.6	23.4
	Cubierta	17.0	18.4	28.9	28.5	23.2
pH	Clara	8.60	8.01	7.75	7.98	8.08
	Cubierta	8.35	7.95	7.70	7.80	7.95
O.D. (ppm)	Clara	4.1	0.57	Nada	0.5	1.29
	Cubierta	0.8	0.37	Nada	Nada	0.29
CO <sub>2</sub> libre (ppm)	Clara	34.5	43.3	31.0	31.6	35.1
	Cubierta	38.3	42.6	34.2	31.4	36.6
Bicarbonato (ppm)	Clara	350.1	346.0	273.5	229.0	324.62
	Cubierta	360.0	332.5	259.2	324.0	344.0

Cuadro 6. Tasa relativa de crecimiento (TRC) y tiempo de duplicación (TD) del lirio acuático en número de plantas (NP) y peso húmedo (PH) en diferentes periodos de tiempo.  
Fuente: Sastroutomo, et al., 1978

Lugar	Periodo	TRC (% día)		TD (días)		Fuente
		PH	NP	PH	NP	
Chiba, Japón	Mayo - Junio '76					
a. estanque		3.4	2.2	20.4	32.2	
b. con fertil.		5.5	3.7	12.9	19.4	
Nilo, Egipto	Sep-Oct '74	6.8	7.5	10.2	9.2	Batanouny, El-F (1975)
Río Congo	4 meses	—	5.4	—	12.7	Evans (1973)
Australia	8 meses	—	3.6	—	19.1	Parsons (1963)
	1 año	—	3.1	—	22.0	McLean (1922)
Louisiana	Agosto	—	3.1	—	22.0	Penfound y Earle ('48)
Louisiana	Mayo - Junio	—	13.8	—	5.0	Penfound y Earle ('48)
Sudán	Verano	11.8	—	5.9	—	Petter (1964)
Jamaica	Jun, '65	9.9	—	7.0	—	Bock (1969)
Florida	Junio	4.7	—	14.8	—	Searman (1964)
California	Abril - Mayo 5	6.8	—	10.2	—	Bock (1969)
	Mayo 5 - 9 '65	8.0	6.4	8.0	10.8	Bock (1969)
	Mayo 9 - 21	—	4.8	—	14.5	Bock (1969)
	Mayo 21 Jun 7	—	5.4	—	12.7	Bock (1969)
	Jun 7 - 14	5.8	7.4	11.9	9.3	Bock (1969)
	6.5 meses '65	2.5	1.2	28.1	57.8	Bock (1969)

Cuadro 7. Concentración de nutrientes (% peso seco) en varios órganos de E. crassipes de diferentes posiciones en la comunidad. Promedio de tres sitios. Fuente: Musil y Breen, 1977

Nutrientes	Sitio de crecimiento	Partes de la planta		
		Raíces	Pedíolos	Pseudolámina
Na	Marginal	0.197	0.624	0.264
	Central	0.159	0.318	0.091
K	Marginal	1.222	3.089	2.655
	Central	1.611	7.055	2.978
Ca	Marginal	0.831	1.357	1.095
	Central	0.702	1.379	1.204
Mg	Marginal	0.641	0.897	0.503
	Central	0.321	0.672	0.539
P	Marginal	0.311	0.321	0.547
	Central	0.308	0.525	0.588
N	Marginal	1.806	2.503	5.057
	Central	1.774	1.839	4.765

## INFESTACION Y PROBLEMAS DEL LIRIO EN ECOSISTEMAS ACUATICOS

Guillermo Diaz Zavaleta  
Instituto Mexicano de Tecnologia del Agua-SARH

### Introducción

Las malezas acuáticas son el resultado y la manifestación del estado de envejecimiento o eutroficación de los embalses. Se define ésta como el exceso de nutrientes incorporados a los sistemas por descargas de aguas residuales y por los escurrimientos o aportes de las cuencas principalmente.

En la mayoría de las condiciones lacustres, los principales nutrientes causantes de la progresión de la eutroficación son el fósforo, nitrógeno y carbono; el de mayor importancia en lagos cálidos es el fósforo y es determinante del proceso evolutivo de envejecimiento de los embalses.

El concepto de maleza es definido de diversas formas. El término se aplica usualmente al conjunto de plantas acuáticas que constituyen un "problema" en los usos o explotación de los embalses, o bien cuando la población de las plantas acuáticas rebasa 35% de la superficie del embalse.

El lirio acuático en México es llamado "tamborcito", "pato", "jacinto", "pantano" y "hierba mala", entre otros nombres. Se dice que fue introducido a México en época de Don Porfirio Díaz; se discute que la planta es endémica en México de las zonas por debajo de los 1,500 mtsnm. Esta hidrófita vascular es notable por su capacidad de crecimiento, que en los embalses de México, al no tener controladores naturales y contando con exceso de nutrientes, ha proliferado considerablemente, al grado de admitirse como una plaga, constituyéndose en un problema para la administración, conservación y manejo del recurso hidráulico que infesta.

### Infestación del lirio en México

La infestación del lirio en México es difícil de precisar en un punto estático. La maleza invade nuevos cuerpos de agua; en algunos otros embalses se agudiza su crecimiento; en otros sistemas su infestación es crónica; pero en unos pocos se

erradica como fue el caso en la presa Madín, Edo. de México; o bien en algunos otros embalses disminuye su infestación como son en las presas Requena, Hgo., Malpaso, Chis. y la Boca, Nuevo León.

Los datos sobre la infestación del lirio en México se basan en el Inventario Nacional de Malezas Acuáticas y su Distribución, levantado en 1976 y actualizado en 1981 por el personal del CIECCA de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.

Con base en los datos que reporta el inventario, se admite que la superficie infestada es del orden de 120,000 hectáreas, cubiertas en 60% por el lirio acuático. 42,000 de las 72,000 hectáreas infestadas por el lirio corresponden a los estados de Veracruz, Tabasco, Hidalgo y Jalisco. Aquél se encuentra en 22 presas localizadas en 12 estados de la República; destacan Jalisco e Hidalgo, con presas invadidas por lirio en 100% de su superficie, como la presa Endhó, Hgo. y la Cajijitlán, Jal.

#### Antecedentes

El crecimiento desmedido de las malezas acuáticas puede evitar o disminuir el uso de los recursos acuáticos en una diversidad de formas. Si se tiene los medios económicos es factible su control o extinción, pero el balance económico de pérdidas e "inversiones" es sumamente difícil, y en ocasiones resulta especulativo.

Los problemas generados por la presencia de malezas acuáticas en los ecosistemas acuáticos son la evapotranspiración; la interferencia de los movimientos de botes con fines de recreación, transporte y pesca; impiden asimismo el flujo en canales y ríos; entorpecen el funcionamiento de las obras hidroeléctricas y de irrigación; evitan la operación de la pesca comercial; devalúan las propiedades ubicadas frente a embalses; crean condiciones de estancamiento de agua por la acumulación de grandes cantidades de materia orgánica y evitar la fotosíntesis debajo de densos cuerpos flotantes, y, finalmente, favorecen el desarrollo de poblaciones de animales vectores de enfermedades.

Algunos de los problemas mencionados se explican por sí mismos, por lo tanto se desglosarán sólo algunos de ellos:

#### Evapotranspiración

Una serie de estudios asumen que un grupo denso de plantas acuáticas aportan más agua a la atmósfera por transpiración de la que aportaría una superficie de agua de las mismas dimensiones

por evaporación. Sin embargo, es difícil hacer mediciones de la pérdida de agua por las plantas en su medio natural.

En un experimento elaborado por Penfound y Earle (1948) en Mitchell, D.S., (1974), que compararon la pérdida de agua por tubos con agua cubierta por Eichhornia crassipes y con tubos similares, con agua exclusivamente, encontraron, en un periodo de cinco semanas durante noviembre, que la relación de evapotranspiración a evaporación variaba de 1.66: 1 a 2.9: 1 con una media de 2.5: 1. La repetición del experimento durante el verano (Junio/Julio) por 33 días, de los cuales 21 llovió, la media de la tasa de evapotranspiración-transpiración fue de 3.2: 1. Al final del experimento, cuando las hojas alcanzaron 50 cm de longitud, la razón evapotranspiración-transpiración fue de 6.6:1.

#### Interferencia a embarcaciones y otros usos

La navegación con botes convencionales de propela con motor fuera de borda, en zonas invadidas por malezas acuáticas superficiales principalmente, se vuelve muy difícil o imposible.

En algunas regiones donde la infestación es muy densa, literalmente resulta impenetrable aún con barcos sumamente potentes. Por esta razón otros métodos de propulsión han sido desarrollados, por ejemplo, los botes con dispositivos semejantes a las aéreas con paletas mecánicas, entre otros.

Los botes se usan para una serie de actividades, como la pesca comercial. En esta actividad surge un problema adicional, consistente en la interferencia o inoperancia de las artes de pesca.

El uso recreacional de los embalses es seriamente inhibido, si no impedido completamente.

Otro problema económicamente serio es la devaluación de las propiedades adyacentes a un medio acuático. Toda la infraestructura urbano-turística construida en él baja automáticamente de valor simultáneamente con la infestación de malezas acuáticas, lo que representa la pérdida de millones de pesos.

#### Salud

Las plantas acuáticas proveen de hábitat y alimento a una serie de animales vectores de enfermedades humanas como malaria, filariasis, fascioliasis y esquistosomiasis. Los primeros dos son acarreados por mosquitos, cuyas larvas son criadas en la tranquilidad del agua intersticial de la vegetación flotante y

emergente. Los parásitos de la malaria son transmitidos por Anopheles, la presencia de cuyas larvas se correlaciona con altos valores de vegetación por unidad área.

La filariasis tiene como principales vectores Anopheles, Culex y Mansonia. Se ha notado que Pistia stratiotes es la principal planta acuática donde los mosquitos se crían. En los EUA, Mansonia es responsable de transmitir la encefalitis. (Mitchell, D.S., 1974).

La fascioliasis, enfermedad causada por Fasciola spp, también se asocia con la vegetación acuática. En este caso, el vector es el gasterópodo Limnae spp. La infección se adquiere cuando la planta es comida. En Asia se adquiere cuando se come Trapa spp.

La esquistosomiasis es transmitida por los gasterópodos acuáticos Bulinus, Bromphalaria y Oncomelania; este caracol acuático, igual que los demás, vive en microhábitats creados por la vegetación acuática, en los que se alimenta de algas epifitas y detritus. Sus huevos son colocados en la superficie de las plantas y su ciclo depende de la extensión y presencia de la vegetación acuática apropiada. Sin embargo, la relación caracol-planta es compleja y es difícil establecerla claramente.

#### Manejo del agua como recurso

Aunados al problema de la evapotranspiración, las malezas acuáticas producen taponamientos de las turbinas de las hidroeléctricas. Asimismo, afectan los grandes sistemas de riego al disminuir su capacidad de operación.

#### Antecedentes

La presencia de malezas acuáticas en nuestros embalses evidencian su eutroficación o "envejecimiento acelerado", con las consecuencias que este término implica en la calidad del agua.

Las malezas no únicamente sirven como índice de eutroficación, sino que también contribuyen a ella con exceso de materia orgánica cuando mueren, aumentando la demanda de oxígeno precedente al abatimiento de oxígeno disuelto, lo que da paso a los procesos anaeróbicos, que deterioran en demasía un sinnúmero de aspectos de los ecosistemas acuáticos.

En México tenemos claros ejemplos de todos los problemas mencionados en el capítulo anterior, entre ellos son de citarse los siguientes:

**Presa Endón.** Localizada en el estado de Hidalgo, tiene una superficie de 1,210 ha, infestadas en 100% por Eichhornia crassipes. Su fuente contaminante principal son las aguas residuales provenientes de la ciudad de México y la zona industrial al norte de ésta en el Estado de México. Sus aguas son utilizadas con fines de riego. Los principales problemas causados por las malezas son el azoivamiento; el que impiden la navegación, la actividad recreativa, turística, abaten el oxígeno y propician la proliferación de mosquitos.

**Lago de Pátzcuaro.** Situado en el estado de Michoacán, posee una superficie de 10,781 ha, 10% invadidas por las malezas acuáticas Eichhornia crassipes (4%) Typha sp (tule 4%) y Potamogeton sp (cola de caballo 2%). Este lago se dedica a la pesca y turismo; por lo tanto, estas dos actividades son las más afectadas.

**Presas Rodrigo Gómez y Vicente Guerrero.** Construidas en los estados de Nuevo León y Tamaulipas, cubren áreas de 454 y 50,000 ha respectivamente; ambas ha llegado a ser infestadas por Hydrilla verticillata en alrededor de 50% (227 ha), la primera, y 30 (15,000 ha) la segunda. Por ello, sus usos (abastecimiento de agua potable a la ciudad de Monterrey y recreativos en el caso de la Rodrigo Gómez, y de riego y turístico para la Vicente Guerrero) se han visto disminuidos, entre otros problemas.

**Presa Guadalupe.** Localizada en el municipio de Cuautitlán Izcalli, Edo. de México, a 30 km al noroeste de la ciudad de México, cuenta con un vaso de aproximadamente 300 ha, de las cuales 70-90% están cubiertas por malezas, principalmente Eichhornia crassipes, aunque en otros años se detectó Lemna spp (lenteja o chichicaxtle) y Limnoblum sp. Los principales usos del embalse son el control de avenidas, riego, turismo y recreación.

### Conclusiones generales

El esquema general de la infestación de lirio y los problemas que genera, evidencia la nocividad de la maleza acuática, sus relativos beneficios o aprovechamientos se verán en otros trabajos técnicos, presentados en este seminario. Sin duda alguna, las plantas acuáticas constituyen una comunidad biológica importante en el funcionamiento y productividad de los ecosistemas acuáticos; por consiguiente, en ocasiones no es necesario eliminar por completo el lirio acuático, en tanto el grado en que deberá ser controlado estará determinado por el uso de cada cuerpo de agua.

En análisis de los problemas que origina la infestación del lirio acuático debe efectuarse en cada embalse y considerar su impacto y efectos en la salud, así como los intereses y manejo de agua, para adoptar las medidas de control de la infestación requeridas en cada caso.

## BIBLIOGRAFIA

Contreras, R., Presa de almacenamiento y derivación como sistema de tratamiento de aguas residuales. Reporte técnico México, CIECCA-SARH,- 1984.

Escobar, E. y Col., Inventario de malezas acuáticas y su distribución en México, Reporte técnico, México, CIECCA-SARH, 1976.

Olivera, V. y Díaz, G., Control y aprovechamiento de malezas acuáticas en México, Reporte técnico, México, CIECCA-SARH, 1984.

## MODELOS MATEMATICOS DE CRECIMIENTO DEL LIRIO Y POLITICAS DE MANEJO

Francisco Romero Luna  
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua-SARH

### Introducción

El uso de los términos "control" y "aprovechamiento" en relación con el lirio acuático indican la naturaleza dual con que usualmente se percibe esta maleza: como plaga y como recurso. Sin embargo, es necesario tener presente que estos términos son relativos, consecuencia del punto de vista antropocéntrico, y que carecen de sentido en los ecosistemas; en éstos cada especie tiene una función necesaria. Por lo tanto, es el proyecto humano el que determina la consideración y operación de los sistemas en que el lirio es un elemento importante de acuerdo con los fines que se persiguen, sean éstos de control o de aprovechamiento.

Por supuesto, todo control y aprovechamiento racional (es decir el que supera la mera recolección, característica de las sociedades humanas primitivas) requiere el conocimiento de las relaciones funcionales entre los diversos elementos de los sistemas; éstas serán el fundamento de las tácticas y estrategias de operación y, tratándose de ecosistemas, son generalmente de naturaleza compleja. Para su determinación y utilización es muy importante el enfoque metodológico que se aplique, ya que con frecuencia existe la necesidad de recurrir a varios campos del conocimiento: de la biología, química, matemáticas, ingeniería, etcétera.

En este trabajo se presenta, en términos muy generales, un enfoque integral del estudio y operación de los ecosistemas y su aplicación al caso concreto del lirio en embalses.

Son numerosos los trabajos sobre el lirio acuático que hablan de la factibilidad técnica de su aprovechamiento; por ejemplo, para la fabricación de turba, chapines, papel, para alimento de ganado, etc. Pero debe reconocerse que generalmente dichos estudios no incluyen un análisis de factibilidad económica ni del crecimiento autosostenido congruente con la política de insumos seleccionada.

Por otra parte, también existe un buen número de trabajos que tratan del control del lirio usando técnicas químicas, biológicas y mecánicas que omiten referencia a la capacidad del lirio de contrarrestar el combate mediante su propia capacidad de

reproducción y adaptación bajo condiciones favorables y condiciones hostiles, de tal suerte que del balance de las dos tendencias anatómicas, reproducción y muerte, se puedan seleccionar las condiciones de una situación deseable.

Para proporcionar un mayor soporte a los trabajos mencionados, se ha recurrido a la modelación matemática apegada a la afirmación de A. Couonot: el empleo de los símbolos matemáticos es una cosa natural siempre que se trata de discutir las relaciones entre magnitudes; y se propone precisamente la clase de modelación que se deriva naturalmente del enfoque integral mencionado y que representa su parte cinética; es decir, las meras transformaciones de las masas sin atender los cambios energéticos que las acompañan; esto conviene porque las mediciones que se han realizado sólo representan la cuantificación de la materia y no se han efectuado aún estudios propiamente dinámicos o energéticos. De esta forma se pretende lograr un uso óptimo de la información recabada en campo y laboratorio mediante el diseño eficiente del trabajo por desarrollar.

La modelación mencionada es sencilla y se basa en el llamado "modelo logístico de crecimiento" desarrollado por Verhulst. Aunque la curva logística frecuentemente se adapta bien a las curvas de crecimiento observadas en poblaciones naturales (el lirio incluido) y de laboratorio, deben tenerse presentes las suposiciones altamente simplificadoras subyacentes. Seis suposiciones falsas con frecuencia son (Pielou, 1977):

- 1 Los factores ambientales abióticos (temperatura, luminosidad, nutrientes, movimiento del agua) son constantes, y la rapidez de nacimiento y muerte de los individuos no se ve afectada por ellos.

- 2 El hacinamiento afecta uniformemente a todos los miembros de la población. Esto es poco probable cuando los individuos se encuentran en grupos, tamandas en el caso del lirio, y no distribuido uniformemente en el espacio disponible.

- 3 Los nacimientos y muertes de los individuos responden instantáneamente a los cambios de densidad.

- 4 La rapidez de crecimiento de la población es dependiente de la densidad, aun para las densidades más bajas. Sería más razonable suponer una densidad umbral abajo de la cual los individuos no interfieren uno con otro.

- 5 La distribución de edades entre los individuos de la población es estable.

6 En una población que se reproduce sexualmente, las hembras siempre encuentran pareja, aun cuando la densidad sea baja.

A pesar de estas simplificaciones, el modelo logístico, como se verá más adelante, es sumamente útil. En efecto, en una primera fase, el modelo sirve para caracterizar un sistema acuático; esto se hace a través de los parámetros  $r$  (rapidez de crecimiento específico en  $\text{kg/kg-d}$ ) y  $K$ , la capacidad de carga del sistema en  $\text{kg/m}^2$ , o la densidad máxima posible en el sistema específico en cuestión. La determinación de  $K$  y  $r$  es experimental, pero el criterio para el diseño del experimento, la realización de las mediciones y la interpretación de los resultados es aporte del modelo logístico.

En la fase siguiente se plantea una ecuación cinética como la que da lugar al modelo logístico, sólo que entre sus términos se incluye uno que representa la extracción mecánica del lirio; la solución de esta ecuación, que se llamará "modelo de crecimiento logístico con extracción" y que se obtiene fácilmente con un sencillo esquema de diferencias finitas, representa el comportamiento del lirio en el sistema según las condiciones de operación y las propiedades intrínsecas del sistema,  $K$  y  $r$ .

El objetivo de este trabajo es ilustrar las diferentes fases enunciadas con datos reales (obtenidos en la Subcoordinación de Calidad del Agua, del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua para la presa Requena en el estado de Hidalgo) desde la generación de  $r$  y  $K$  hasta la elaboración de un modelo prospectivo del comportamiento del lirio en el embalse según varias tasas de extracción mecánica. El comportamiento predicho por el modelo concordó razonablemente con el que se observó en campo.

Porque la descripción adecuada de un ecosistema requiere la participación de varios campos del conocimiento (química, biología, física, etc.), es fundamental la elección del marco de referencia que permita la conveniente integración de los conceptos, aparentemente ajenos, provenientes de las diversas disciplinas, a modo de lograr proyectos descriptivos de amplia utilidad.

Ello resulta aún más necesario cuando se pretende no sólo describir los ecosistemas, sino también administrarlos y operarlos con propósitos de explotación; en este caso deben considerarse también las técnicas y métodos de la ingeniería, investigación de operaciones y otras.

Para esto, según Lotka (Lotka, 1956), la biología física debe formar parte de una mecánica general de la evolución, o mecánica de los sistemas que sufren cambios irreversibles en la

distribución de la materia entre sus componentes. Consiste en la aplicación de los principios físicos al estudio de los sistemas vivos (lámina 1).

Muchos de los componentes de estos sistemas a su vez están formados de un gran número de individuos, pequeños comparados con aquellos. Se puede decir entonces que la macromecánica estudia los fenómenos que tienen lugar en los componentes agregados y la micromecánica los que tienen lugar en los individuos. Es evidente que entre estas dos ramas o aspectos de la disciplina general hay una relación inherente que surge del hecho de que los efectos que se observan a gran escala son de naturaleza tal que resultan de la manifestación estadística, o resultante, del trabajo de detalle de los microindividuos. El estudio de esta conexión inherente es del dominio de la mecánica estadística. El término estequiometría, que aparece en la lámina 1, denota la rama de la ciencia que se ocupa de las transformaciones naturales, respetando las relaciones entre las masas de los componentes de los sistemas vivos; y con el término energética o dinámica se designa la parte de la ciencia que se ocupa de los cambios energéticos que acompañan a los cambios materiales.

La modelación que se desarrolla en este trabajo se circunscribe a la vertiente cinética de la rama estequiométrica. Se considerará inicialmente la ecuación fundamental de la cinética de la evolución:

$$\frac{dX_1}{dt} = F_1 (X_1, \dots, X_n; P, Q) \quad (1)$$

La ecuación (1) expresa para las velocidades de transformación y exhibe la relación de éstas y las masas  $X_1$ , de varios componentes y los parámetros P (ambiente) y

Q (especies consideradas).

El ejemplo más simple posible de aplicación numérica de las ecuaciones (1) es aquel en que hay una sola variable X y donde se supone que P y Q son constantes o que varían tan lentamente que pueden considerarse constantes. Entonces el sistema fundamental de ecuaciones se reduce a

$$\frac{dX}{dt} = F (X) \quad (2)$$

Al expandir la ecuación (2), según el teorema de Taylor, se obtiene una serie que carece del término absoluto, de otro modo (dX/dt) no se desvanecería con X, es decir:

$$\frac{dX}{dt} = F(X) = a'X + b'X^2 + c'X^3 \quad (3)$$

de la cual el caso más simple es:

$$\frac{dX}{dt} = a'X + b'X^2 \quad (4)$$

donde a', b' son constantes cuya determinación fija el carácter o forma de la función F que especifica cómo depende el crecimiento del componente X de su propia masa presente.

Si en la ecuación (4) se hace a' = r y b' = -b, donde r es la rapidez de crecimiento específica y b refleja el grado con el cual la densidad contrarresta la rapidez del crecimiento de la población; y si, además, en lugar de usar la masa X se usa la densidad N, se obtiene la expresión diferencial:

$$\frac{dN}{dt} = rN - bN^2 \quad (5)$$

cuya integración permite obtener el modelo logístico:

$$N = \frac{KN_0}{N_0 + (K-N_0)e^{-rt}} \quad (6)$$

donde N<sub>0</sub> es la densidad inicial

Esta integración se presenta con detalle en el anexo 1.

Nótese que, en el caso logístico, el paso de la forma general (4) a la específica (5), se basa en el razonamiento de que la población aumenta con el tiempo, pero a densidades mayores la rapidez de crecimiento decrece; y existe una densidad máxima, la capacidad de carga del sistema, K, en la cual ya no hay crecimiento.

En el anexo 2 se describe el uso de la información empírica de campo para obtener la rapidez de crecimiento específico, r en 1/d, y la capacidad de carga del sistema K en Kg/m<sup>2</sup>. El procedimiento para realizar las mediciones experimentales necesarias puede verse en Díaz Zavaleta, 1987.

Puesto que se trata de modelar el comportamiento del lirio cuando existe control o aprovechamiento, y no sólo su crecimiento natural, el modelo logístico representado por la ecuación (6) es insuficiente (anexo 3). Para obtener el modelo adecuado es necesario introducir un término de extracción o cosecha, h, en la expresión (5) para obtener, haciendo uso de la igualdad  $b = r/K$  (anexo 1),

$$\frac{dN}{dt} = rN - \frac{r}{K} N^2 - \frac{h}{A} \quad (7)$$

donde h es la cantidad de lirio en kg/d que se extrae o cosecha del sistema; y A es el área superficial del embalse en m<sup>2</sup>.

Aunque es difícil obtener una representación explícita de la solución N(t), es fácil bosquejar su forma analizando los puntos de equilibrio de (7), es decir las soluciones de

$$rN - \frac{r}{K} N^2 - \frac{h}{A} = 0 \quad (8)$$

las cuales son

$$N_1 = \frac{K}{2} + \sqrt{\left[ \frac{K^2}{4} - \frac{Kh}{rA} \right]}, \text{ kg/m}^2 \quad (9)$$

$$N_2 = \frac{K}{2} - \sqrt{\left[ \frac{K^2}{4} - \frac{Kh}{rA} \right]}, \text{ kg/m}^2 \quad (10)$$

El comportamiento de la solución de (7) está dictado por sus puntos críticos  $N_1$  y  $N_2$  y, según estos, se ve que puede surgir

cualquiera de las tres situaciones siguientes:

a) Si  $\frac{K^2}{4} - \frac{K}{r} \frac{h}{A} > 0$ , se tienen dos puntos críticos para (7),

a saber:  $N_1$  y  $N_2$

b) Si  $\frac{K^2}{4} - \frac{K}{r} \frac{h}{A} = 0$ , hay exactamente un punto crítico,  $(K/2)$

c) Si  $\frac{K^2}{4} - \frac{K}{r} \frac{h}{A} < 0$ , no hay puntos críticos.

Por lo tanto, el valor clave de la extracción o cosecha,  $h$ , se tiene cuando

$$\frac{K^2}{4} - \frac{K}{r} \frac{h}{A} = 0 \quad (11)$$

es decir, cuando

$$h = \frac{ArK}{4}, \text{ kg/d} \quad (12)$$

valor que se representa por  $h^*$  y que se llama el rendimiento máximo sostenible; éste es la máxima cantidad de lirio que se puede extraer o cosechar diariamente sin que la población desaparezca en un tiempo finito.

Como ya se mencionó, no es fácil obtener una solución analítica de (7); sin embargo, es muy sencilla la obtención de una solución numérica utilizando algún esquema de diferencias finitas como el que se propone a continuación.

Escribiendo la ecuación (7) en la forma

$$\left[ \frac{dN}{dt} \right]_n = rN_n - \frac{r}{K} N_n^2 - \frac{h}{A} = f_n \quad (13)$$

$$\left[ \frac{dN}{dt} \right]_{n+1} = rN_{n+1} - \frac{r}{K} (N_{n+1}^2) - \frac{h}{A} = f_{n+1} \quad (14)$$

donde el subíndice  $n$  significa que el valor de la variable indicada corresponde al paso de cálculo  $n$ .

Haciendo uso de la regla trapezoidal (ver por ejemplo Lambert, 1973) se obtiene

$$N_{n+1}^{(s+1)} = N_n + \frac{\Delta t}{2} (f_{n+1}^{(s)} + f_n) \quad (15)$$

donde  $\Delta t$  es el incremento del tiempo tomado para cada paso de cálculo; el esquema (15) es implícito y el superíndice indica el número de iteración en el proceso de obtener  $N_{n+1}$  conociendo  $N_n$ . el valor de  $N_{n^0+1}$  es arbitrario.

La solución de (15), usando (13) y (14), se obtiene mediante el programa que se presenta en el anexo 4. Una aplicación del mismo se presenta y discute a continuación.

El uso del modelo logístico con cosecha, solución de la ecuación (7), se ilustra con el análisis de la situación observada en la presa Requena, en el estado de Hidalgo, durante los años 1986-1987 (Díaz Z., 1987). A mediados de 1986 la presa mencionada estaba totalmente cubierta con lirio y en menos de un año fue limpiada completamente mediante control mecánico.

En el ejercicio que se presenta se hace uso de la siguiente información, correspondiente a la presa Requena en el verano de 1986:

Area del émbalse:	A = 5,100,000 m
Coefficiente de crecimiento específico:	r = 0.073 1/día
Capacidad de carga:	K = 39.6 Kg/m <sup>2</sup>
Capacidad de extracción o cosecha:	h, elegible
Densidad inicial de lirio:	N <sub>0</sub> , variable

Debe notarse que, de acuerdo con este modelo, el comportamiento del lirio queda completamente determinado por los valores que asuman estos cinco parámetros, de los cuales cuatro son característicos del sistema y uno, la cosecha h, depende de la política de manejo elegida.

Para la selección de dicha política debe observarse el comportamiento del sistema de acuerdo con los valores relativos de h y h\*.

En efecto, se ve que para los valores presentados

$$h^* = \frac{ArK}{4} = \frac{(5,100,000) (0.073) (39.6)}{4}$$

$$h^* = 3,685,770 \text{ kg/d}$$

Este es, como ya se mencionó, el rendimiento máximo sostenible, que es una característica de cada sistema. Entonces se puede elegir el valor de la extracción o cosecha, h, de cualquiera de las siguientes tres maneras.

$$a) 0 < h < h^*$$

$$b) h = h^*$$

$$c) h > h^*$$

Si se elige el caso a), es decir el caso en el que se tiene una extracción inferior al rendimiento máximo sostenible, el crecimiento del lirio es como se indica en la lámina 2 en donde se ilustra el comportamiento para h = 1,260,000 kg/día.

Debe observarse que éste depende, de manera importante, de la densidad inicial del lirio, o sea la densidad presente en el momento en que se decide realizar la extracción; en estas condiciones sólo es posible erradicar el lirio cuando la densidad inicial es inferior a  $N_2 = 3.8 \text{ kg/m}$ ; de otro modo el lirio tiende siempre a alcanzar su densidad de equilibrio  $N_1 = 35.8 \text{ kg/cm}$  por lo que el control resulta pobre.

La extracción anterior no es la óptima como cosecha, ya que ésta se logra cuando se opera según el caso b), es decir cuando  $h = h^* = 3,685,770 \text{ kg/d}$ , esto siempre y cuando el valor de la densidad inicial sea mayor al valor de equilibrio o de  $k/2 = 19.8 \text{ kg/m}^2$ ; de otra manera se llegará a la extinción del lirio en un lapso alrededor de los cinco meses (lámina 3).

Finalmente, en el caso c), la extracción excede al rendimiento máximo sostenible; en que siempre se logra la erradicación del lirio aún para los valores más altos de densidad inicial. En la lámina 4 se ilustra el comportamiento del lirio cuando la extracción es de  $4,000,000 \text{ kg/d}$ ; se observa que el lirio erradica antes de ocho meses.

Este último caso reproduce con razonable aproximación la situación de la presa Requena y es esta coincidencia entre el análisis matemático y las observaciones de campo la que alienta respecto de las perspectivas del enfoque presentado.

La aplicación del modelo logístico con cosecha al análisis de la situación observada en la presa Requena en el periodo 1986-1987 requiere fuertes simplificaciones: se considera una distribución uniforme del lirio a través de todo el embalse a pesar de que se sabe que esto no sucede así, entre otras causas, por la acción del viento; asimismo se suponen constantes la capacidad de extracción mecánica,  $h$ , la rapidez del crecimiento específico,  $r$ , y la capacidad de carga del sistema,  $K$ , aún sabiendo que la primera depende de la densidad y distribución del lirio en el embalse, que son variables, y que las dos últimas son altamente dependientes de la época del año.

Sin embargo, a pesar de estas limitaciones, el modelo propuesto permite un análisis general del comportamiento del lirio en función de su extracción. Este análisis hace vislumbrar situaciones de supuesto control o cosecha en las que una inadecuada selección de la capacidad del equipo empleado impide alcanzar el objetivo planeado.

## BIBLIOGRAFIA

Diaz Zavaleta Guillermo, Control de malezas acuáticas, México, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 1987.

Lambert, J.D., Computational Methods on Ordinary Differential Equations, New York, John Wiley & Sons, 1973.

Lotka, Alfred J., Elements of Mathematical Biology, New York, Dover Publications, 1956.

Martin, Robert H., Jr., Ordinary Differential Equations, México, McGraw Hill, 1983.

Pielou, E. C., Mathematical Ecology, Nueva York, John Wiley & Sons, 1977.

Lámina I. Marco de referencia

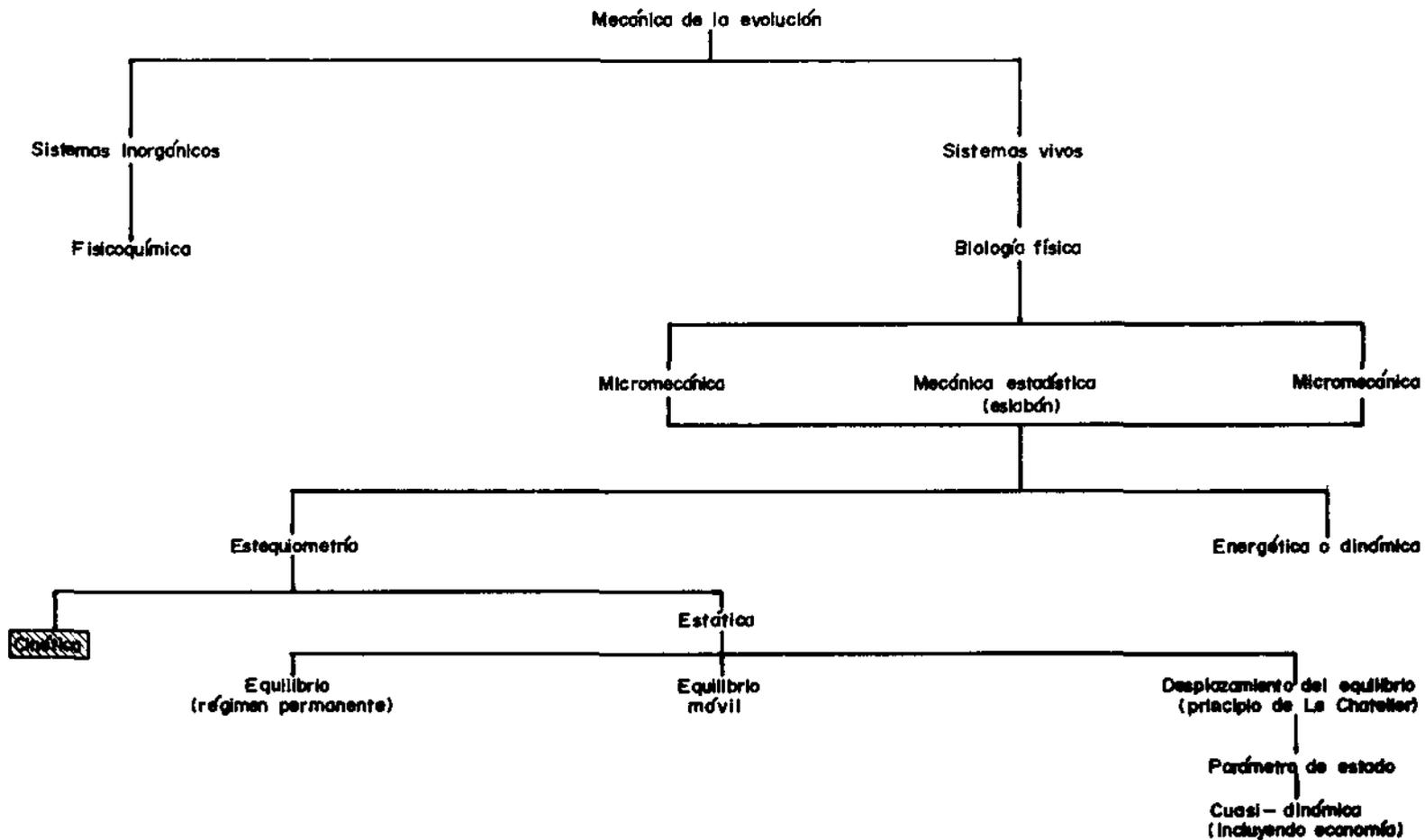


Lámina 2. Caso a)  $0 < h < h^*$

Condiciones Requena – Verano

$k = 39.6 \quad \text{kg/m}^2$   
 $r = 0.073 \quad \text{d}^{-1}$   
 $a = 5100\,000 \quad \text{m}^2$   
 $h = 1280\,000 \quad \text{kg/d} \quad (10 \text{ máquinas})$   
 $h^* = 3685\,770 \quad \text{kg/d}$

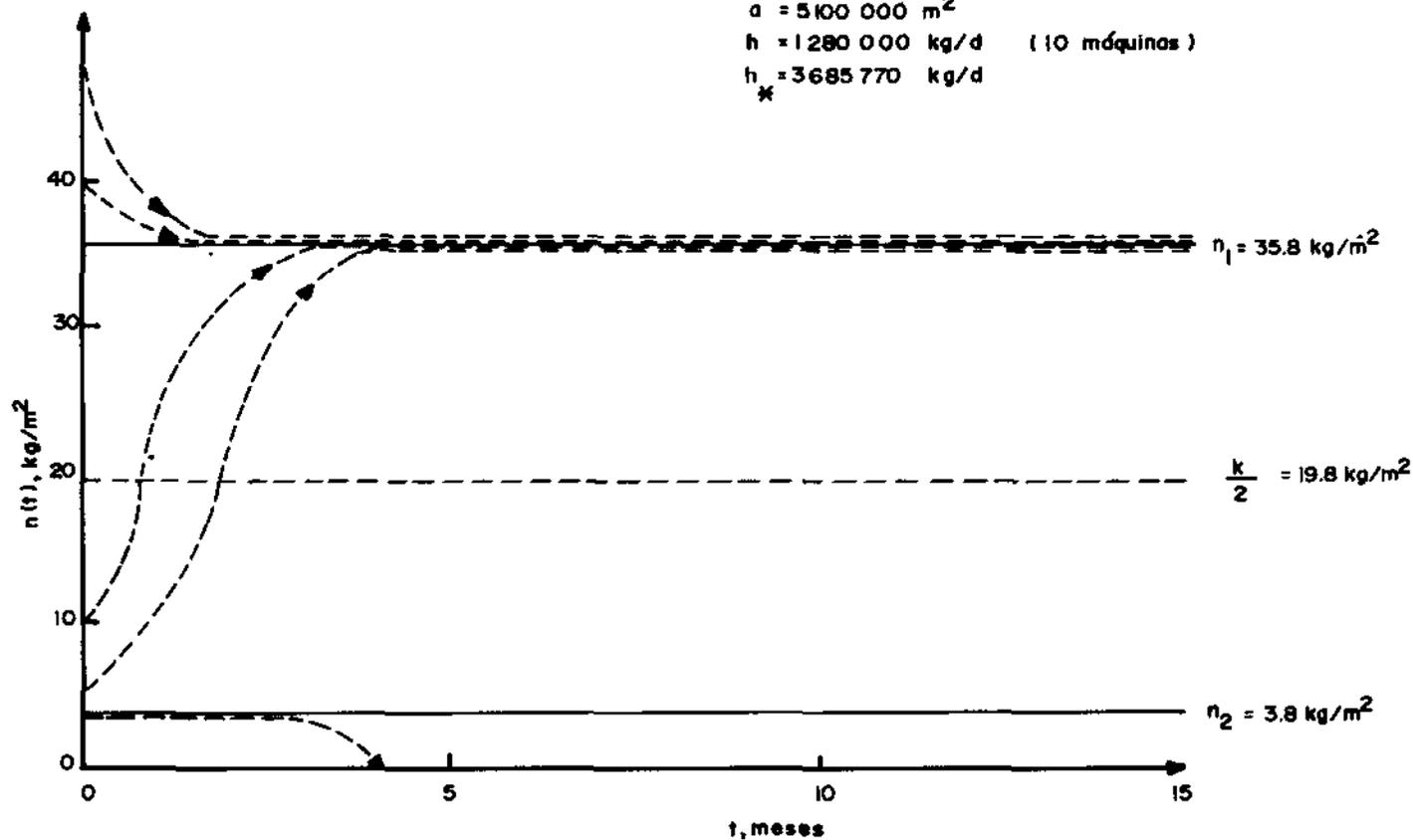


Lámina 3. Caso b)  $h = h_*$

Condiciones Requeno - Verano

$$k = 39.6 \text{ kg/m}^2$$

$$r = 0.073 \text{ d}^{-1}$$

$$a = 5\,100\,000 \text{ m}^2$$

$$h = 3\,685\,770 \text{ kg/d}$$

$$h_* = 3\,685\,770 \text{ kg/d}$$

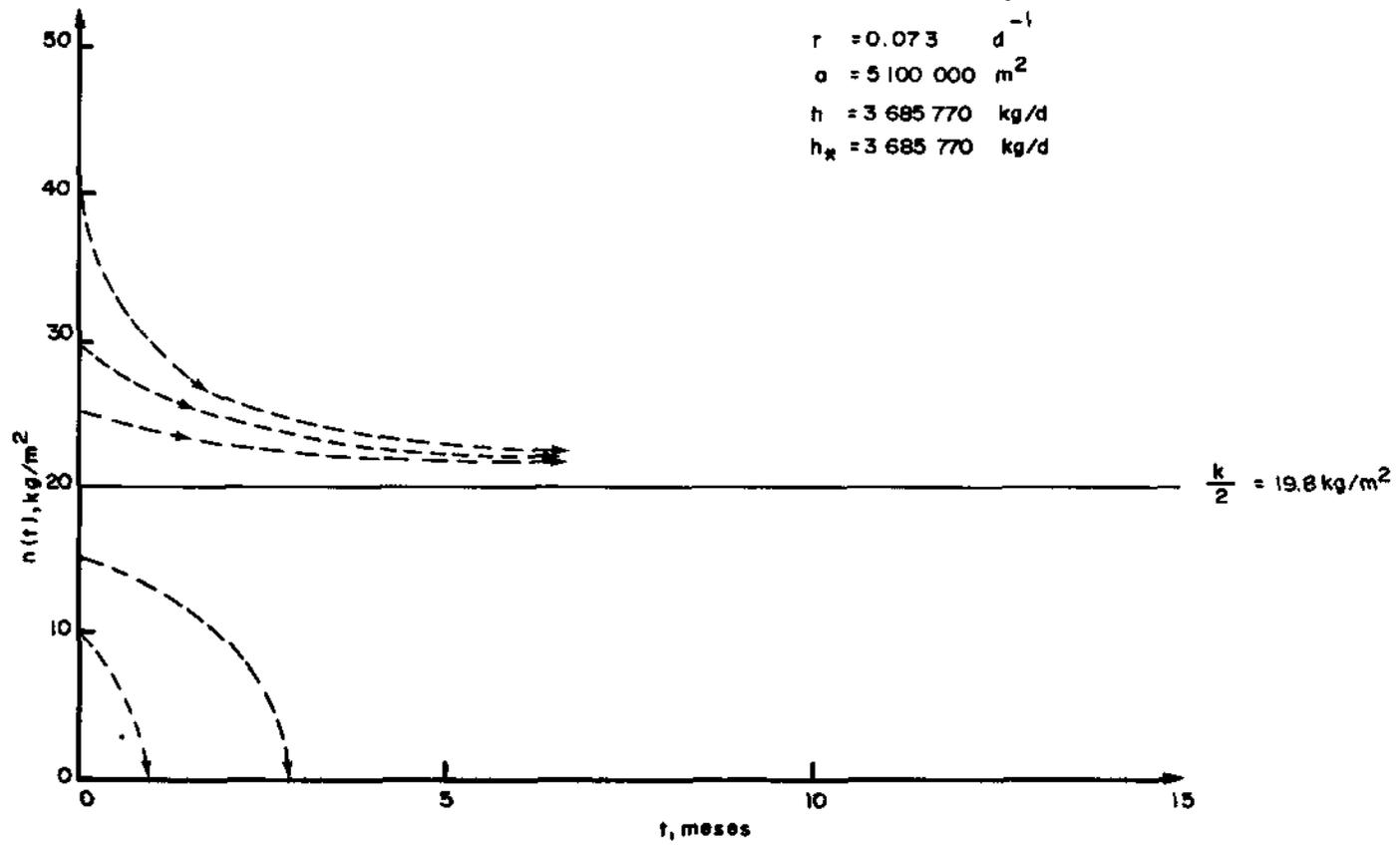
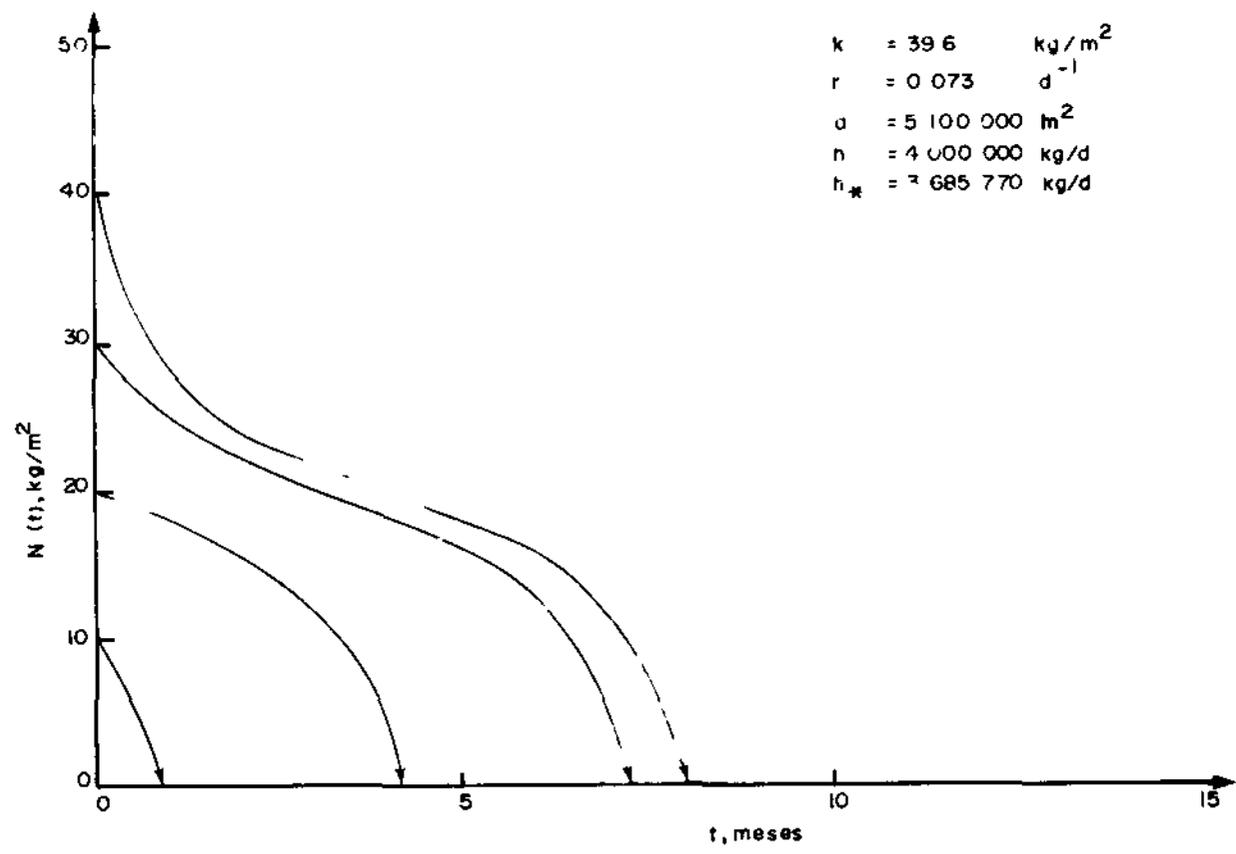


Lámina 4. Caso c)  $h < h^*$

Condiciones Requena - Verano

- $k = 39.6 \text{ kg/m}^2$
- $r = 0.073 \text{ d}^{-1}$
- $a = 5.100.000 \text{ m}^2$
- $n = 4.000.000 \text{ kg/d}$
- $h^* = 2.685.770 \text{ kg/d}$



## ANEXO 1. Solución del modelo logístico

La ecuación logística

$$\frac{dN}{dt} = rN - bN^2 \quad (\text{A1-1})$$

tiene una expresión alternativa. En efecto, teniendo presente que cuando la densidad  $N$  alcanza el valor de saturación  $K$ , el crecimiento es nulo, se tiene:

$$rK - bK^2 = 0 \quad (\text{A1-2})$$

de donde:

$$b = \frac{r}{K} \quad (\text{A1-3})$$

sustituyendo (A1-3) en (A1-1) se obtiene

$$\frac{dN}{dt} = rN - \frac{r}{K} N^2 \quad (\text{A1-4})$$

o bien,

$$K \frac{dN}{dt} = rN (K - N) \quad (\text{A1-5})$$

para resolver (A1-5) se observa que es una ecuación de variables separables, por lo que:

$$K \frac{dN}{N(K-N)} = r dt \quad (A1-6)$$

la integración del miembro izquierdo de (A1-6) se puede hacer por fracciones parciales

$$\frac{K}{N(K-N)} = \frac{A}{N} + \frac{B}{(K-N)} = \frac{AK - AN + BN}{N(K-N)}$$

es decir:

$$AK = K; -A + B = 0 \quad (A1-7)$$

de donde  $A = 1$  y  $B = .1$

Entonces

$$\frac{K dN}{N(K-N)} = \frac{dN}{N} + \frac{dN}{K-N} = \ln(N) - \ln(K-N) \quad (A1-8)$$

usando este resultado en la integración de (A1-6) e introduciendo la variable de integración  $-c$ , se obtiene

$$\ln \frac{N}{K-N} = rt - c \quad (A1-9)$$

$$\frac{N}{K-N} = e^{(rt-c)}$$

$$\frac{K - N}{N} = e^{(c-rt)} \quad (A1-10)$$

$$\frac{K}{N} - 1 = e^{(c-rt)} \quad (A1-11)$$

$$N = \frac{K}{1 + e^{(c-rt)}} \quad (\text{A1-12})$$

para  $T = 0$  ,  $N = N_0$

$$N_0 = \frac{K}{1 + e^c} \quad (\text{A1-13})$$

$$1 + e^c = \frac{K}{N_0} \quad (\text{A1-14})$$

$$e^c = \frac{K}{N_0} - 1 = \frac{K-N_0}{N_0} \quad (\text{A1-15})$$

$$c = \ln \frac{K-N_0}{N_0} \quad (\text{A1-16})$$

entonces la ecuación (A1-12) queda, usando (A1-16)

$$N = \frac{K}{1 + e^c e^{-rt}} = \frac{K}{1 + \frac{K-N_0}{N_0} e^{-rt}} = \frac{KN_0}{N_0 + (K-N_0)e^{-rt}}$$

$$N = \frac{KN_0}{N_0 + (K-N_0)e^{-rt}} \quad (\text{A1-17})$$

ANEXO 2. Determinación empírica de K, r

Como se vio en el anexo 1, que la solución del modelo logístico es:

$$N = \frac{K}{1+e^{c-rt}} = \frac{K}{1+e^c e^{-rt}} = \frac{K}{1+me^{-rt}} \quad (\text{A2-1})$$

donde

$$m = e^c = \frac{K-N_0}{N_0} \quad (\text{A2-2})$$

Si se mide la densidad del lirio en tres tiempos  $t_0 = 0, t_1, t_2$  y  $t_2 = t_1$  siendo las mediciones correspondientes  $N_0, N_1$  y  $N_2$ , se tienen tres relaciones.

$$N_0 = \frac{K}{1+me^{-rt_0}} \quad (\text{A2-3})$$

$$N_1 = \frac{K}{1+me^{-rt_1}} \quad (\text{A2-4})$$

$$N_2 = \frac{K}{1+me^{-rt_2}} \quad (\text{A2-5})$$

Despejando  $rt_0$  de (A2-3) y  $rt_1$  de (A2-4) se obtiene

$$1 - me^{-rt_0} = \frac{K}{N_0} \quad (\text{A2-6})$$

$$e^{-rt_0} = \frac{K-N_0}{N_0} \quad (\text{A2-7})$$

$$-rt_0 = \ln \frac{K-N_0}{N_0} \quad (\text{A2-8})$$

$$-rt_1 = \ln \frac{K-N_1}{N_1} \quad (\text{A2-9})$$

Restando (A2-9) de (A2-8) se tiene

$$r(t_1 - t_0) = \ln \frac{K-N_0}{N_0} - \ln \frac{K-N_1}{N_1} \quad (\text{A2-10})$$

$$r(t_1 - t_0) = \ln \frac{N_1(K-N_0)}{N_0(K-N_1)} \quad (\text{A2-11})$$

$$r = \frac{1}{\epsilon_1} \ln \frac{N_1 (K - N_0)}{N_0 (K - N_1)} \quad (\text{A2-12})$$

Para encontrar el valor de K se sustituye (A2-12) en (A2-5)

$$N_2 = \frac{K}{1 + m e^{-\left(\frac{1}{\epsilon_1} \ln \frac{N_1 m}{K - N_1}\right) t_2}} = \frac{K}{1 + m e^{2 \ln \frac{K - N_1}{N_1 m}}} \quad (\text{A2-13})$$

$$N_2 = \frac{K}{1 + m \left[ \frac{K - N_1}{N_1 m} \right]^2} = \frac{K}{1 + \frac{(K - N_1)^2}{N_1^2 m}} \quad (\text{A2-14})$$

$$N_2 = \frac{K N_1^2 \left( \frac{K - N_0}{N_0} \right)}{K - N_0 + N_1^2 \left( \frac{K - N_0}{N_0} \right) + (K^2 - 2N_1 K + N_1^2)} \quad (\text{A2-15})$$

$$N_2 \left( N_1^2 \left( \frac{K - N_0}{N_0} \right) + N_2 K^2 - 2N_1 N_2 K + N_1 N_2^2 \right) = \frac{K^2 N_1^2}{N_0} - KN_1^2 \quad (A2-16)$$

$$\frac{N_2 N_1 K^2}{N_0} - N_2 N_1^2 + N_2 K^2 - 2N_1 N_2 K + N_1 N_2^2 = \frac{K_1 N_2^2}{N_0} - K_1 N \quad (A2-17)$$

$$N_2 N_1^2 K - N_0 N_1^2 N_2 + N_0 N_2 K^2 - 2 N_0 N_1 N_2 K + N_0 N_1^2 N_2 = N_1^2 K^2 - N_0 N_1^2 K \quad (A2-18)$$

$$(N_0 N_2 - N_1^2) K^2 + (N_1^2 N_2 + N_0 N_1^2 - 2 N_0 N_1 N_2) K = 0 \quad (A2-19)$$

$$K = \frac{2 N_0 N_1 N_2 - N_1^2 (N_0 + N_2)}{N_0 N_2 - N_1^2} \quad (A2-20)$$

Ejemplo:

Se obtuvieron los siguientes datos de mediciones de campo:  
densidad inicial  $N_0 = 0.250 \text{ kg/m}^2$ ; densidad a los 63 días,

$N_1 = 15.5 \text{ Kg/m}^2$ ; densidad a los 126 días

$N_2 = 39.0 \text{ Kg/m}^2$

Aplicando (A2-20)

$$K = \frac{2 (0.250)(15.5)(39.0) - (15.5)^2 (0.250+39.0)}{(0.250)(39.0) - (15.5)^2}$$

$$K = 39.6 \text{ Kg/m}$$

Aplicando (A2-12)

$$r = \frac{1}{63} \ln \frac{15.5(39.6 - 0.250)}{0.250(39.6 - 15.5)}$$

$$r = 0.073 \text{ 1/dia}$$

### ANEXO 3. Solución del modelo de Malthus o de crecimiento logarítmico

En el caso ideal en que la población dispone de suficiente alimento y espacio, no existen depredadores o parásitos, ni se presenta alguna catástrofe, climática por ejemplo, se puede pensar en un crecimiento irrestricto de aquella, representable mediante el modelo maltusiano o logarítmico que se obtiene de la siguiente ecuación diferencial.

$$\frac{dN}{dt} = rN, N(t=0) = N_0 \quad (A3-1)$$

La ecuación (A3-1) implica la suposición de que la rapidez de crecimiento en cualquier época es proporcional a la población presente; y en el inicio, tiempo cero, se parte con una densidad  $N_0$ , especificación que recibe el nombre de condición inicial.

La solución de (A3-1) es:

$$N(t) = N_0 e^{rt} \quad (A3-2)$$

De esta expresión se puede despejar el tiempo,  $t$

$$t = \frac{1}{r} \ln \frac{N(t)}{N_0} \quad (A3-3)$$

Y si se designa con  $T$  al tiempo para el cual  $N(t) = 2 N_0$  es decir el tiempo de duplicación, se tiene

$$T = \frac{1}{r} \ln 2 \quad (A3-4)$$

Por ejemplo, el valor de  $r = 0.073 \text{ d}^{-1}$ , encontrado para la presa Requena en el estado de Hidalgo (Díaz Zavaleta, 1987) indica que en este embalse el lirio se duplica cada 10 días aproximadamente.

La representación matemática de la situación resultante de introducir la extracción o cosecha en el caso ideal descrito arriba es:

$$\frac{dN}{dt} = r N - \frac{h}{A}, \quad N(t=0) = N_0 \quad (A3-5)$$

$$\frac{dN}{dt} - rN = - \frac{h}{A} \quad (A3-6)$$

La expresión (A3-6) es una ecuación lineal ordinaria no homogénea con la forma

$$\frac{dy}{dx} + p(x)y = f(x) \quad (A3-7)$$

Para resolverla se integra la ecuación homogénea correspondiente

$$\frac{dN}{dt} - r N = 0 \quad (A3-8)$$

$$\frac{dN}{N} = r dt \quad (A3-9)$$

$$\ln(N) = rt + \ln C \quad \circ \quad N = c e^{rt} \quad (A3-10)$$

donde C es una constante de integración.

Considerando C como función de t en (A3-10) se obtiene

$$N = C(t) e^{rt} \quad (A3-11)$$

Derivando (A3-11) y sustituyendo  $\frac{dN}{dt}$  en (A3-6) queda

$$\frac{dN}{dt} = e^{rt} \frac{dC(t)}{dt} + C(t) r e^{rt} \quad (\text{A3-12})$$

$$e^{rt} \frac{dC(t)}{dt} + C(t) r e^{rt} - r C(t) e^{rt} = - \frac{h}{A} \quad (\text{A3-13})$$

$$\frac{dC(t)}{dt} = - \frac{h}{A} e^{-rt} \quad (\text{A3-14})$$

$$dC(t) = - \frac{h}{A} e^{-rt} dt \quad (\text{A3-15})$$

$$C(t) = \frac{h}{Ar} e^{-rt} + C_1 \quad (\text{A3-16})$$

donde  $C_1$  es una constante de integración. Sustituyendo (A3-16) en (A3-10) se obtiene

$$N = \left( \frac{h}{rA} e^{-rt} + C_1 \right) e^{rt} \quad (\text{A3-17})$$

$$N = \frac{h}{rA} + C_1 e^{rt} \quad (\text{A3-18})$$

Puesto que  $N = N_0$  para  $t = 0$ , se tiene

$$C_1 = N_0 - \frac{h}{rA} \quad (A3-19)$$

por lo que finalmente se tiene

$$N = \left(N_0 - \frac{h}{rA}\right) e^{rt} + \frac{h}{rA} \quad (A3-20)$$

La expresión (A3-20) indica, al igual que la (A3-2), que la densidad del lirio crece permanentemente, con excepción de los casos en que la densidad inicial del lirio,  $N_0$ , es menor o igual

a  $h/rA$ . Sin embargo, las observaciones de campo en diversos cuerpos de agua demuestran que aparentemente la densidad del lirio tiene un valor tope alrededor de los  $60 \text{ kg/m}^2$ , por lo que se puede decir que no existe el crecimiento permanente mencionado y que los modelos (A3-2) y (A3-20) no son adecuados para describir el crecimiento del lirio sin y con cosecha, respectivamente.

### Definiciones

K, Capacidad de carga,  $\text{kg/m}^2$

r, Rapidez de crecimiento específico,  $1/\text{día}$

H, Extracción o cosecha,  $\text{kg/día}$

A, Área del embalse  $\text{m}^2$

D, Incremento de tiempo, días

N (1), Condición inicial de densidad del lirio,  $\text{kg/m}^2$

N (3), Densidad en el paso  $n + 1$ , iteración s

N (5), Densidad en el paso  $n + 1$ , iteración  $s + 1$

T, Tiempo, días.

ANEXO 4. Programa para PC FX-730P Casio para resolver la ecuación diferencial ordinaria (7) por la regla trapezoidal

```
10 READ K, R, H, A, D
20 DATA 39.6, 0.073, 4 000 000, 5 100 000, 2
30 INPUT "CONDICION INICIAL, NO", N (1)
40 N (2) = N (1)
50 N (3) = N (1)
60 FOR I = 0 TO 1980
70 F (15) = R * N (3) - R/K * N (3)^2 - H/A
80 F (16) = R * N (2) - R/K * N (2)^2 - H/A
90 N (5) = N (2) + D/2 * (F (15) + F (16) )
100 IF ABS (N (5) - N (3) )/N (3) ≤ 0.01 THEN 130
110 N (3) = N (5)
120 GOTO 90
130 N (2) = N (5)
140 N (3) = N (5)
150 T = INT (I * D)
160 IF INT (T/30) * 30 = T THEN 180
170 PRINT "MES"; T/30, "DENSIDAD="; N (5)
180 NEXT I
190 END
```

## TECNICAS DE EVALUACION DEL LIRIO ACUATICO: DENSIDAD, COBERTURA Y CRECIMIENTO

Eric Gutiérrez López  
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua-SARH

### Introducción

La política hidráulica de los últimos 50 años en el país ha traído como consecuencia la construcción de un gran número de obras de almacenamiento, tanto para riego como para generar energía eléctrica, con lo que se han multiplicado los ambientes en que se desarrollan las malezas acuáticas.

Las plantas acuáticas se convierten en malezas cuando se reproducen de modo explosivo, lo que frecuentemente ocurre en México, con el lirio acuático (Eichhornia crassipes) cuyas propiedades estructurales y de adaptación, así como la inexistencia de enemigos naturales, ha propiciado que se desarrollen en forma desmedida.

Se considera mundialmente al lirio acuático como una de las malezas más dañinas por los efectos adversos que causa en los cuerpos de agua que, sin duda, están asociados a su extraordinario potencial de desarrollo y facilidad de dispersión (Penfound y Earle, 1948). Los extensos tapetes móviles no sólo modifican la calidad del agua, sino que su efecto trasciende a otros aspectos del medio, desde los ecológicos y de salud pública hasta los sociales, económicos y políticos (Niño y Lot, 1983). Ante la gravedad del problema, se ha intentado controlar esta maleza mediante métodos físicos, químicos y biológicos. La experiencia internacional y nacional permite afirmar que el control mecánico puede ser el método más adecuado para resolver el problema (Sassic, 1982, Bonilla, et al., 1985).

Las ventajas del control mecánico son, entre otras, que no representan riesgos de alterar significativamente la calidad del agua, como ocurre mediante el control con herbicidas, que produce beneficios en el corto y mediano plazos, que es aplicable a ecosistemas de grandes extensiones, que la maleza extraída puede ser aprovechada, y que su cosecha remueve nutrientes y metales pesados, además de que no representa una modificación sustancial al sistema ecológico, como puede ocurrir con el control biológico, (Bates y Hentges, 1976).

En México se han efectuado algunos esfuerzos respecto del control mecánico con resultados no del todo satisfactorios; en parte son que no se sustentan en una premisa científico-técnica que evite la pérdida económica invertida para esta actividad.

Por esto es necesario enfatizar que cualquier proyecto que pretenda establecer un control mecánico o de otro tipo tendrá que tomar en cuenta necesariamente la siguiente información: Dimensiones del cuerpo de agua, área infestada por la maleza (cobertura); dinámica o patrón de crecimiento, y densidad en diferentes épocas del año. Parámetros dinámicos que son función de las condiciones ambientales de cada sitio.

Con base en los resultados de los estudios realizados en la presa Requena, en este trabajo se propone una metodología para obtener datos básicos en el campo que, en conjunto y con un análisis integral que considera la eficiencia de las máquinas, la época del año, los nutrientes y otros aspectos, darán las bases técnicas de soporte al control mecánico que evite que la tasa de extracción o cortado sea inferior a la del crecimiento del lirio.

### Metodología, evaluaciones y resultados

#### Densidad

El lirio acuático, igual que cualquier población de organismos, tiene características o atributos que lo definen. Una de estas características es la densidad, definida como el número de individuos (o biomasa) de la población que existen en una determinada área o volumen (Odum, 1972; Rabinovich, 1980). El efecto que ejerce una población de lirio sobre el ecosistema acuático depende evidentemente de su abundancia.

Aunque la densidad de cualquier población es muy variable, no es un modo alguno infinitamente variable, sino que hay límites (superiores e inferiores) que se observan en la naturaleza y en cualquier lapso considerado (Odum, op.cit.). Estos límites de densidad son función de la acción conjunta tanto de factores físicos, como la luz y espacio disponibles; químicos como los nutrientes y el pH, y biológicos, como la competencia y los organismos patógenos. El lirio acuático es un buen ejemplo de una planta introducida al país que cumple efectivamente por el espacio en que crece.

Respecto del control mecánico, Hutto y Sabol (1986) mencionan que la efectividad de un sistema de cosecha, (medido como toneladas o hectáreas cosechadas por hora) depende de la interacción de todos los procesos que intervienen en la operación, y consideran la densidad de las plantas como uno de los factores que más la condicionan. La densidad de una maleza depende de la especie de

la planta de que se trate, además de ser una variable específica de cada sitio. Es importante en los programas de control mecánico como factor responsable de la capacidad de extracción o cortado de las máquinas, y del transporte de la biomasa cosechada. La densidad del lirio acuático determina la tasa de movimiento de las máquinas a través del sitio de trabajo y el número de cargas que deben transportarse a la orilla. Hutto y Sabol, op.cit., ilustran con la lámina 1 la dependencia de la velocidad y eficiencia del cosechado con respecto de la densidad de las plantas, en que en un momento dado se supone como un factor limitante de la operación.

Por todas estas consideraciones es notoria la necesidad de medir la densidad del lirio en los cuerpos de agua infestados donde se pretenda establecer un programa de control.

La forma más directa de calcular la biomasa del lirio por unidad de área (densidad), es pesarlo en el campo. Sin embargo, se tendrá que tomar una pequeña porción de la población y usar esta muestra para estimar el total. La técnica más aplicada es el muestreo con cuadros de tamaño standard. El cuadro es simplemente un área de muestreo de cualquier forma y el mecanismo general es en este caso pesar el lirio presente en varios cuadros de tamaño conocido y con ello extrapolar el promedio al área general.

La técnica evaluada en la presa Requena incluye el siguiente material: Un cuadro con una área interior de un metro cuadrado según las especificaciones de la lámina 2; bieldos, dinamómetro calibrado de 50 a 1 kg de capacidad, costales entretejidos de plástico, y tijeras o machete.

Con un recorrido de reconocimiento se seleccionan los sitios de muestreo, que podrán definirse en función de la accesibilidad del cuerpo de agua y considerando indicadores como áreas de compactación del lirio por el viento, tamaño de los tapetes de plantas, áreas de confinamiento de la maleza por la morfometría del sistema y otros. Una vez seleccionados los sitios de muestreo se lleva a cabo el siguiente procedimiento:

Se coloca el metro cuadrado en el tapete de lirio seleccionado procurando introducirlo lo más posible en la base de las plantas.

Se procede a cortar el lirio por abajo del perímetro exterior del cuadro, aislándolo en el interior del mismo.

Se extraen las plantas de interior con la ayuda de los bieldos cuyos mangos deberán ser largos.

- Se depositan en los costales de plástico y se dejan escurrir siete minutos.

- Se pesan para obtener la densidad en peso húmedo expresada en  $\text{kg}/\text{m}^2$ .

La confiabilidad de estas determinaciones según Krebs (1985), depende de tres factores:

1 Se debe conocer con exactitud la biomasa de cada cuadro, lo que se obtiene pesando la biomasa del lirio cortado por fuera del cuadro.

2 Es necesario conocer con precisión el área de cada cuadro, que con el método utilizado es susceptible de medición exacta, y

3 Los cuadros deben ser representativos del área total.

En la presa Requena se realizaron 44 determinaciones bajo el procedimiento descrito en el periodo de marzo de 1986 a agosto de 1987 (generalmente, tres por mes), y se obtuvieron los resultados que se presenta en el cuadro 1. Estos fueron sometidos a la prueba de selección estadística del tamaño de muestra dada en Brower y Zar, (1977), y se analizaron los datos de dos formas: por estación del año y considerando los 44 datos. De este procedimiento se dedujo que es necesario analizar no menos de tres puntos de muestreo por mes, y que cinco puntos son la magnitud óptima, y llevar a cabo las evaluaciones en un ciclo anual. En la presa se detectó una densidad promedio de  $36 \text{ g}$   $10.74 \text{ kg}^2/\text{m}$ , con un valor máximo en las zonas compactadas de  $51 \text{ kg}/\text{m}^2$  y un mínimo de  $11 \text{ kg}/\text{m}^2$ .

#### Cobertura y biomasa total

En relación con la abundancia del lirio acuático, es conveniente conocer la cantidad total de maleza existente en un determinado sistema, por lo que se utiliza el concepto de cobertura, que debe estimarse simultáneamente con la densidad.

La cobertura se define como la proporción de espacio ocupado por las partes aéreas de las plantas, tomando en cuenta una proyección perpendicular al espacio total donde éstas crecen (Brower y Zar, op.cit.); es decir, es la proporción de un espacio cubierto por la maleza visto desde arriba. De acuerdo con esa definición, el procedimiento recomendado para estimar la cobertura y posteriormente la biomasa total existente es:

1 Desde el punto más alto sobre el horizonte, se ubican en forma visual puntos de referencia lo más cercanos a las costas del lago o embalse en estudio; posteriormente, se ubican y localizan en un mapa.

2 Con la ayuda del mapa y los puntos establecidos en él, se estima la superficie ocupada por el lirio en porcentaje respecto del área total. Esta determinación es más precisa si se realiza cuando no hay viento. La SARH tiene levantamientos topográficos de la mayoría de los embalses del país, en que se presentan las curvas de nivel de acuerdo con el volumen de agua en un momento dado, de manera que existen cuadros donde para cada nivel de agua registrado en relación con la escala en la obra de toma corresponde a un área de espejo de agua.

3 Se obtiene la determinación de la biomasa total de lirio multiplicando la densidad promedio por la superficie infestada. En el cuadro 1 se presenta esta estimación para la presa Requena en cada mes de muestreo.

Ejemplo: Agosto; área infestada: 7% = 315 ha;

dens.  $\bar{X}$  = 43.3 kg/m<sup>2</sup>; maleza x ha = 43.3 x 10,000 = 433.33 x 10<sup>3</sup> kg/ha;

área del embalse = 43 kg/m<sup>2</sup>; biomasa total = 315 x 433.3 x 10<sup>3</sup> kg/ha = 136,500 toneladas.

En la lámina 2 se presenta un ejemplo donde se ubican los puntos de referencia en un embalse hipotético donde se efectuó la estimación en porcentaje de la superficie infestada de lirio con respecto al área total.

### Crecimiento

Otra de las características importantes de los organismos vivos es su crecimiento. Para el control mecánico es importante, ya que su cuantificación permitirá establecer programas de control que eviten que el lirio nulifique la eficiencia de las máquinas repoblando las áreas despejadas.

La dinámica de crecimiento de la maleza está sujeta a diversos factores, como los nutrientes, clima, espacio y compactación, por lo que el crecimiento varía de lugar a lugar de acuerdo con el clima local y la calidad del agua que deben determinarse en cada sitio.

El crecimiento por evaluar en el campo se desprende del concepto manejado por la fisiología vegetal en lugar del utilizado por la ecología de poblaciones. Por tanto, se define el crecimiento como el aumento en peso en un tiempo determinado (Bidwell, 1979).

Ahora bien, si se considera el aumento en peso por unidad de área y por unidad de tiempo, se podrá estimar la productividad, lo que se considera más correcto (Westlake, 1963).

La metodología que a continuación se presenta tiene como objeto estimar los cambios de biomasa por unidad de área y por unidad de tiempo (productividad), y determinar en cada cuerpo de agua la biomasa máxima posible por m. Para lograr tal objetivo es necesario confinar la planta en corrales de área conocida y con una biomasa inicial conocida también. Posteriormente, medir el aumento en peso con una determinada frecuencia. Para llevar a cabo este procedimiento deben construirse cuando menos dos corrales de 4 m<sup>2</sup>, según las especificaciones descritas en las figuras 4 y 5, con lo que se dispondrá de ocho áreas de un m<sup>2</sup>.

### Procedimiento

Los corrales de confinamiento del lirio, una vez instalados en un lugar accesible, se manejarán de la siguiente forma:

- 1 Se extrae todo objeto de su interior.
- 2 Se seleccionan plantas jóvenes visualmente sanas, sin retoños y de tamaño uniforme. Se aconseja separar plantas sin ningún daño físico y de 3 a 5 hojas.
- 3 Se depositan 1 kg por cada m<sup>2</sup> de este tipo de plantas.
- 4 Al término de 30 días, se mide el peso húmedo en 4 m<sup>2</sup>, siguiendo el mismo procedimiento de determinación de la densidad por cuadros.
- 5 A los 60 días se repite la misma medición, pero en otros dos metros cuadrados; y a los 90 días con los dos metros cuadrados restantes. Esto tiene la finalidad de determinar los promedios de cuando menos dos réplicas.

Con este manejo se dispondrá de cuatro mediciones (a los 0, 30, 60 y 90 días) que, de preferencia, considerarán las estaciones del año. La justificación de estos tiempos se mencionan en Romero, et al. (1988).

Los incrementos del peso encontrados utilizando este método en cada periodo de medición evaluado se presentan en los cuadros 2, 3 y 4. Los datos del cuadro 2, del periodo en que resultaron más abundantes, se expresan gráficamente en la lámina 6, que relaciona el incremento de la biomasa con el tiempo. Esta relación mostró un crecimiento que bien puede ajustarse al logístico del tipo:

$$W_t = \frac{K}{1 + e^{-a-rt}}$$

donde:

$W_t$  = peso húmedo para cada determinado tiempo  $\text{kg/m}^2$

$r$  = tasa de crecimiento (días<sup>-1</sup>)

$K$  = valor límite de crecimiento de la población o capacidad de carga ( $\text{kg/m}^2$ )

$t$  = tiempo

Suponiendo un crecimiento de este tipo, se estimaron los parámetros  $r$  y  $a$ , por transformación de la ecuación logística a su forma rectilínea:

$$\ln \frac{K - N}{N} = a-rt$$

Los resultados de este ejercicio se encuentran en el cuadro 2. Aun cuando la correlación de los puntos es muy alta (-0.986), se aplicó una prueba de significancia de la regresión según Zar (1974). Esta prueba rechazó con una probabilidad mayor de 99% la posibilidad de que los puntos sobre la recta se ajusten por azar. La misma prueba fue aplicada a los datos de los cuadros 5 y 6 con el mismo resultado; asimismo se rechaza la posibilidad de que los puntos se ajusten a una recta por azar. En ambos casos el nivel de confianza fue de 95 por ciento.

Esta evidencia sustenta la premisa de que el crecimiento del lirio acuático obedece a un patrón logístico. Antecedentes de este resultado son los trabajos de Sato y Kondo (1983), quienes establecieron que el incremento de biomasa (peso fresco por unidad de superficie de agua) se aproxima estrechamente a la ecuación logística, y los de Del Viso, et al. (1968) quienes, estudiando la productividad de Elchhornia crassipes, demostraron que el ciclo de crecimiento anual de esta planta puede ser representado por la curva sigmoide, donde las limitantes del crecimiento dependen de un gran número de variables.

Para obtener la capacidad de carga del sistema ( $K$ ), se consideran dos criterios: Uno es tomar  $K$  como la máxima densidad por  $\text{m}^2$  encontrada en la presa, que fue de  $51 \text{ kg/m}^2$  (criterio aplicado a los datos de los cuadros 2 y 3); el segundo, tomar  $K$  como la

máxima densidad de lirio por m<sup>2</sup> en los corrales, que para el caso del cuadro 4 fue de 55 kg, valor que no aparece en la tabla en tanto los valores que ahí se representan son promedios.

Para fines comparativos, es apropiado calcular la tasa relativa de crecimiento porcentual (TRC) y el tiempo de duplicación (TD) de la biomasa del lirio según la fórmula de Mitchell, (1974):

$$\text{TRC} = \frac{\ln (X) - \ln (X_0)}{t} \times 100 \text{ y } \text{TD} = \frac{\ln (2)}{\text{TRC}}$$

donde:

X<sub>0</sub> = peso inicial

X<sub>t</sub> = peso después de t días

La TRC y el TD fueron calculados para la primera medición de cada lote experimental y se presentan en los cuadros 2, 3 y 4. En los valores puede observarse que la tasa porcentual de incremento diario en el invierno (cuadro 3) fue tan baja que la biomasa necesita 346.5 días para duplicarse. Por el contrario, en la primavera (cuadro 4) la TRC alcanzó su valor más alto porcentual/día, del orden de 9%, con un tiempo de duplicación de ocho días. En el verano (cuadro 2), la TRC es menor a la de la primavera, necesitando casi nueve días para duplicarse la población.

Con la información de campo aquí obtenida, Romero, et al. (1988) generaron un modelo matemático que relaciona la dinámica del lirio con las capacidades de extracción de las máquinas cosechadoras. Evidenciaron que el conocimiento de la velocidad de crecimiento del lirio es fundamental para el control o manejo de la planta. Como la tasa de crecimiento es diferente en cada embalse infestado, debe obtenerse en cada uno de ellos. Para esto es recomendable difundir en el nivel nacional las técnicas de evaluación de la dinámica del lirio que aquí se proponen.

### Conclusiones

La metodología de confinamiento de una biomasa conocida de lirio acuático en corrales para medir su crecimiento es una técnica apropiada, capaz de aplicarse en la mayoría de cuerpos de agua infestados del país. Con ella se conocerían las potencialidades de crecimiento con base en los límites geográficos y calidades de agua, lo que permite establecer políticas de control basadas en premisas técnicas.

- Las evaluaciones de campo del crecimiento del lirio acuático en la presa Requena demostraron que esa maleza se ajusta a un crecimiento logístico con los parámetros  $a$ ,  $r$  y  $K$ .

- Se determinó que en invierno la tasa relativa de crecimiento porcentual disminuye hasta en 90%, por lo que es la etapa ideal para su control.

## BIBLIOGRAFIA

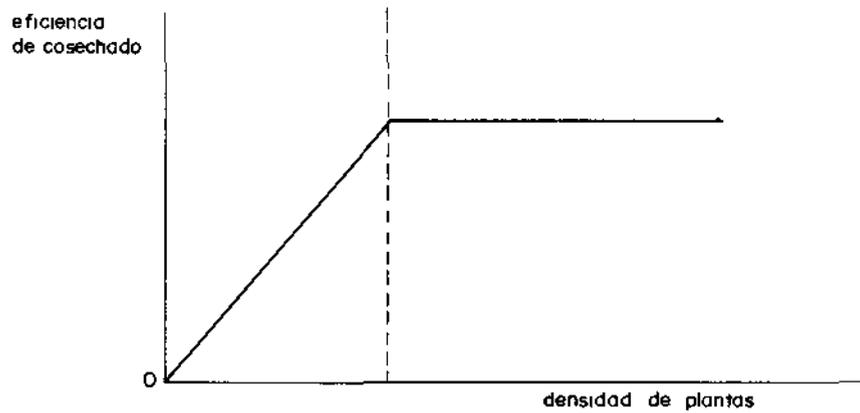
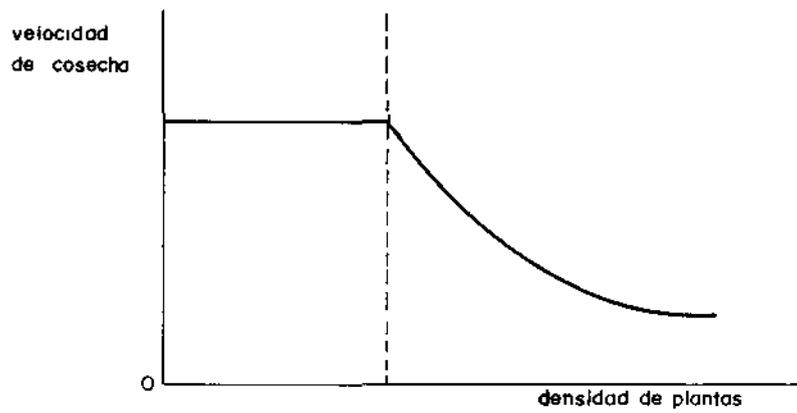
- Bates, P.R. y Hentes, F.J., "Aquatic weeds-eradicate or cultivate", Economic Botany, México, vol. 30, 1976, pp. 39-50.
- Bidwell, S.G.R., Fisiología vegetal, México, AGT Editor, 1979.
- Bonilla, D.U., Contreras, M.R., Carlos, H.G., y Oliva, P.J., Alternativas para el control mecánico de malezas acuáticas. Estimación de costos, Informe técnico, México, CIECCA-SARH, 1985.
- Brower, E.J. y Zar, H.J., Field and laboratory methods for general ecology, Iowa, Brown Company Publishers, 1977.
- Del Viso, R.P., Tur, N.M. y Mantovan y, V., "Estimación de la biomasa de hidrófitas en cuencas isleñas del Paraná medio", Physis, vol. 28, Buenos Aires, 1968.
- Hutto, D.T. y Sabol, M.B., "Application of harvest, mechanical simulation model, as an operational aquatic macrophyte management decision toll", Fifth Annual Conference and International Simposium on Applied Lake and Watershed Management, vol. 11, Lake and Reservoir Management, 1986, pp. 267-279.
- Krebs, C.J., Estudio de la distribución y abundancia, México, Harla Harper y Row Latinoamericana, 1985.
- Mitchell, D.S., Aquatic vegetation and its use and control, París, UNESCO, 1974.
- Niño, S.M. y Lot, A., "Estudio demográfico del lirio acuático Eichhornia crassipes (Mart) Solms: "Dinámica de crecimiento en dos localidades selectas de México", Boletín de la sociedad botánica de México, vol. 11, núm. 45, México, 1983.
- Odum, P.E., Ecología, México, Interamericana, 1971.
- Penfound, W.T. y Earle, T.T., The biology of water hyacinth, Ecol. Monogr., vol. 18, núm. 4, 1948, pp. 447-472.
- Rabinovich, E.J., Introducción a la ecología de poblaciones animales, México, CECSA, 1980.
- Romero, L.F., Gutiérrez, L.E. y Díaz, Z.G., Experiencias del control del lirio acuático en México, México, IMTA-SARH, 1987, (en prensa).
- Sassic, M.N., Harvesting, "The future of aquatic plant control", Aquatics, vol. 4, núm. 1, 1983, pp. 16-17.

Sato, H. y Kondo, T., "Biomass production of water hyacinth and its ability to remove inorganic minerals from water II, further experiments on the relation between growth and concentration of culture solution". Jap. J. Ecol. vol, 33, 1982, pp. 35-46.

Westlake, D.F., "Comparisons of plant productivity", Biol. Rev. vol, 38, 1963, pp. 385-425.

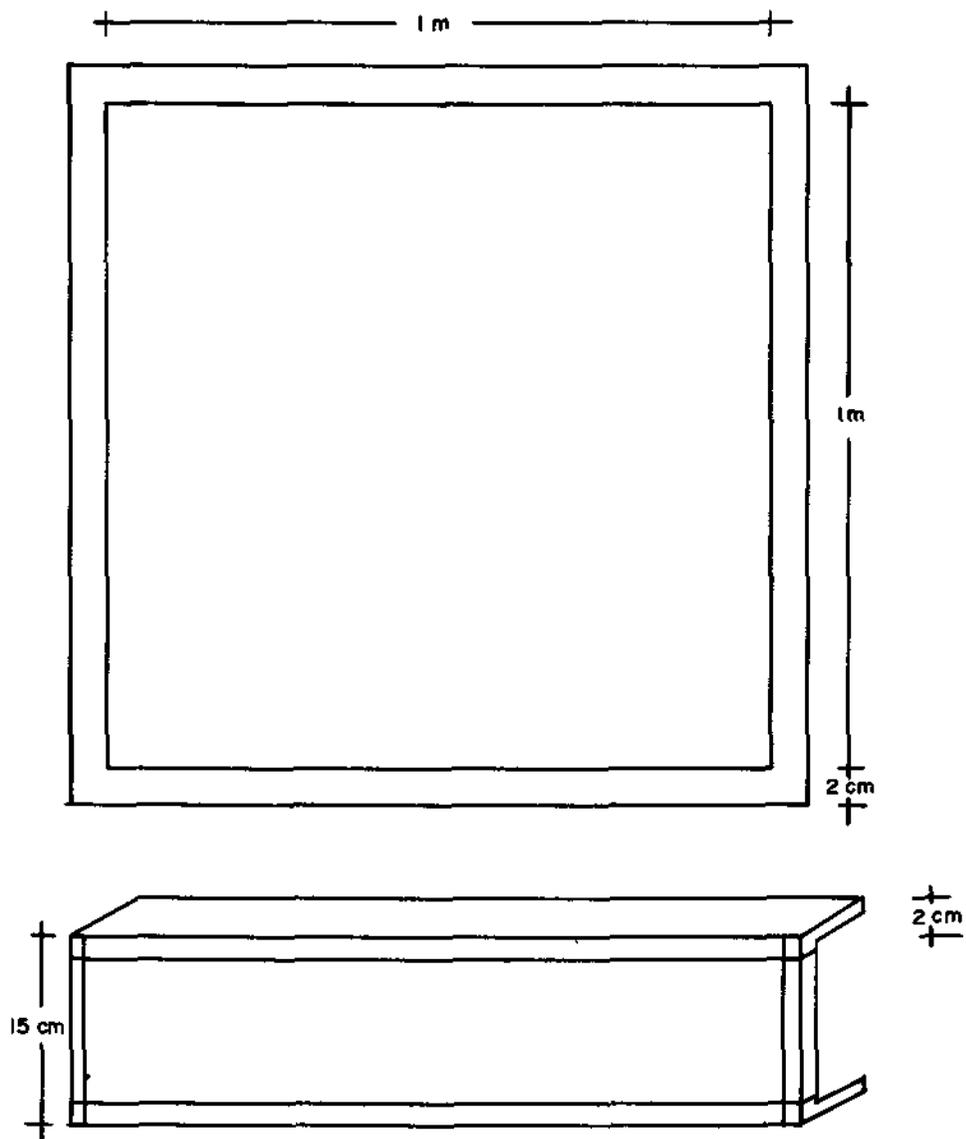
Zar, J.H., Biostatistical analysis, EUA, Prentice-Hall, 1974.

Lámina I. Densidad de la maleza como un factor limitante de la velocidad y eficiencia del cosechado



Fuente Hult y Sabol, 1980

Lámina 2. Cuadrante. Marco de madera o de otro material ligero de  $1\text{ m}^2$  de área interior, reforzado en los ángulos



### Límina 3. Evaluación de cobertura

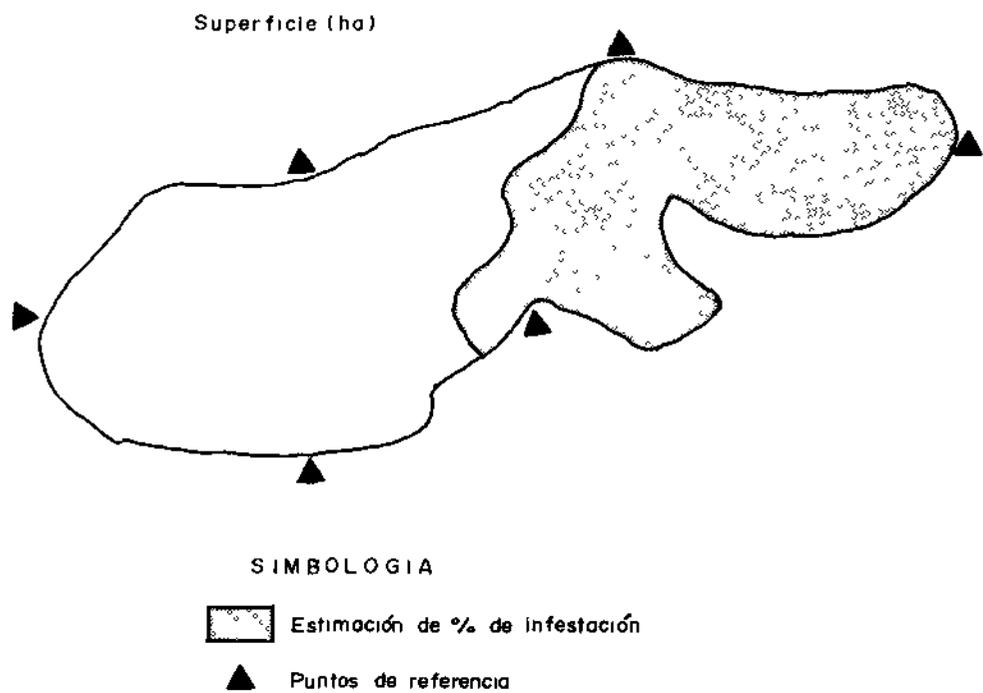


Lámina 4. Corrales para confinamiento del lirio acuático

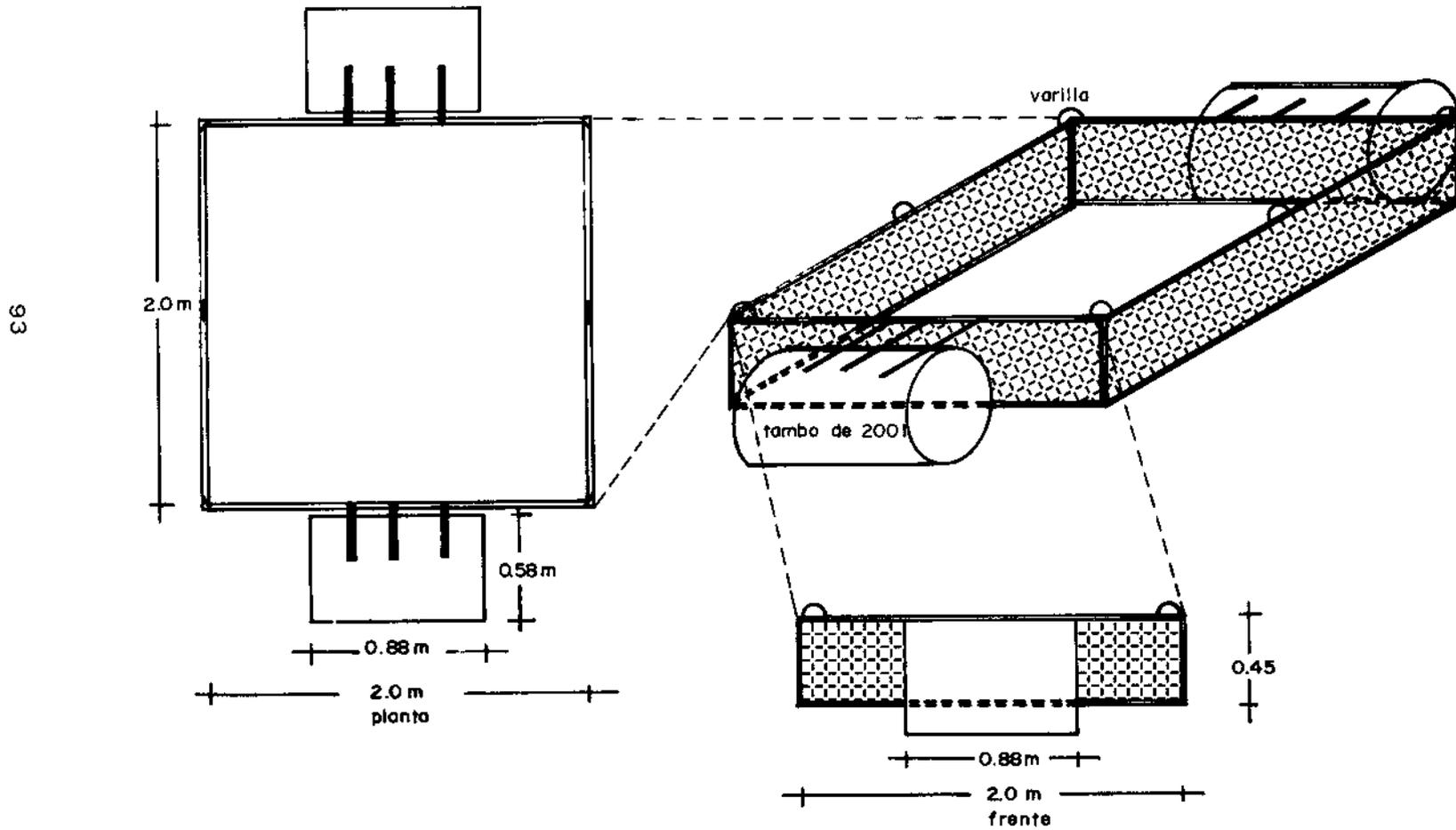


Lámina 5. Características internas de los corrales de confinamiento

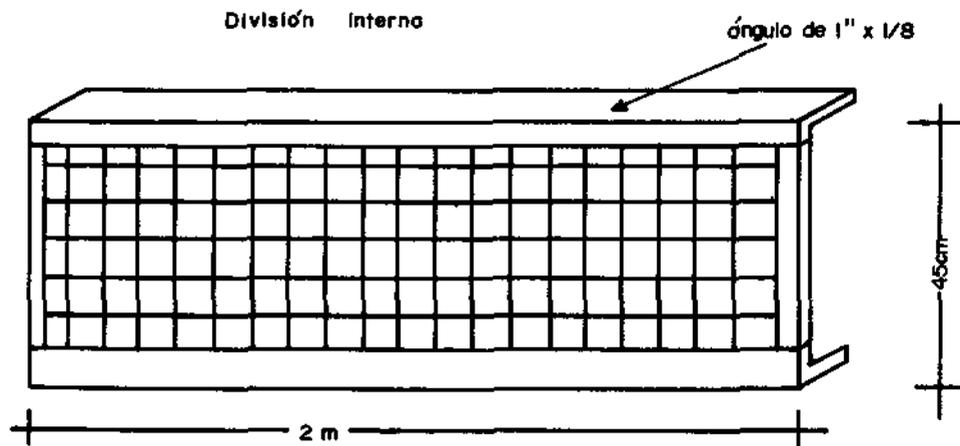
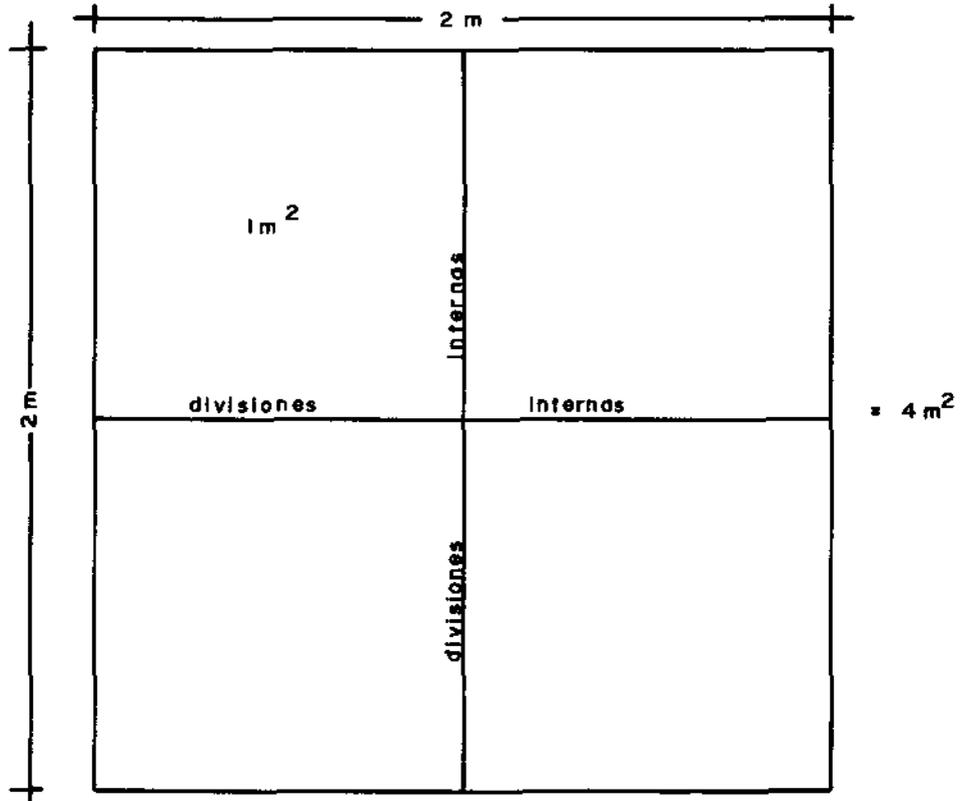
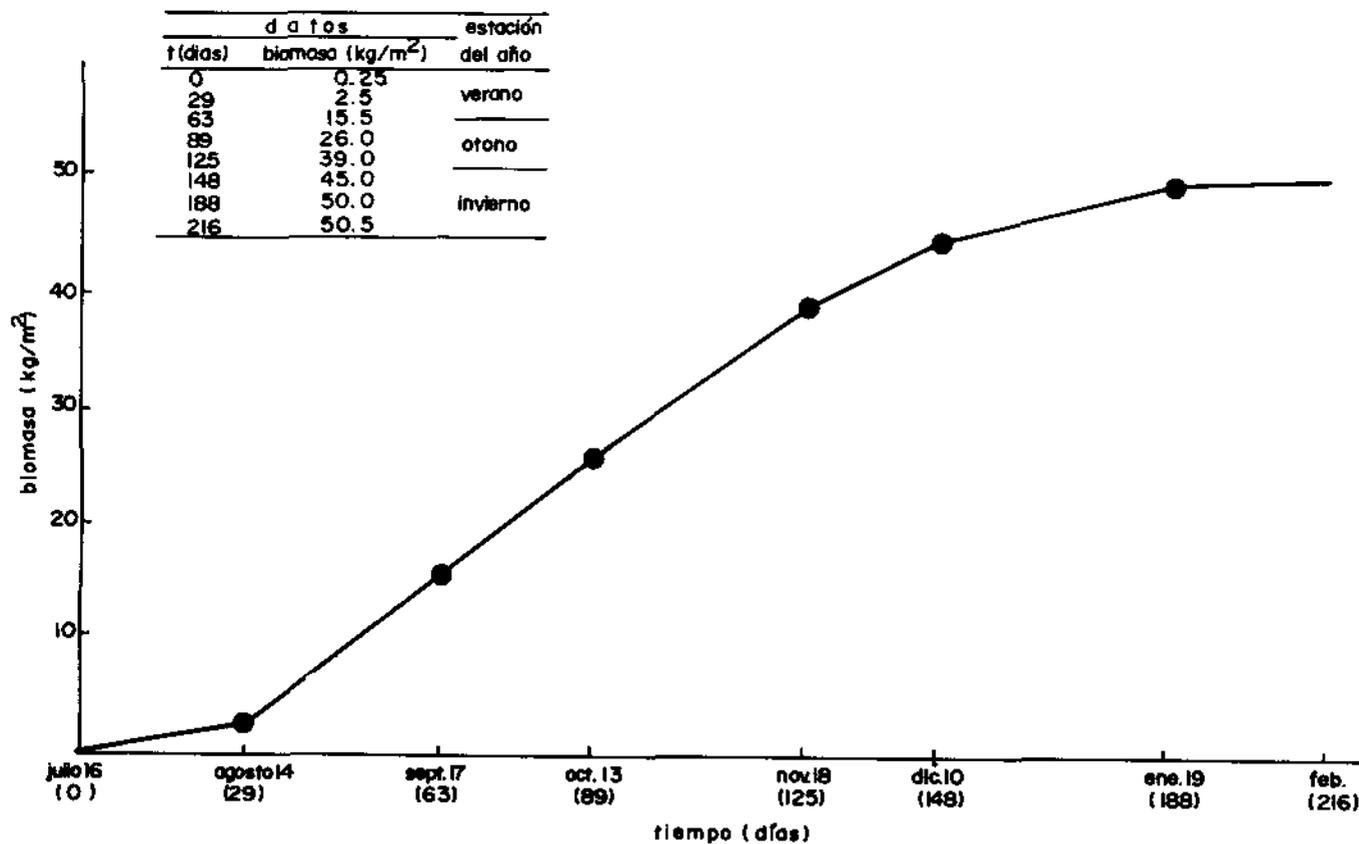


Lámina 6. Incrementos en peso registrados en la presa Requena de julio de 1986 a febrero de 1987



Fuente: Reddy y De Busk, 1984

Cuadro 1. Densidad promedio, área del embalse, cobertura y biomasa del lirio en la presa Requena, Hgo., 1986 - 1987

MES	ESTACION DE MUESTREO	DENSIDAD DEL LIRIO (kg/m <sup>2</sup> )	AREA DEL EMBALSE ( ha )	COBERTURA DEL LIRIO ( % )	BIOMASA ( ton )	
	TEPEJI DEL RIO	31				
MARZO	MUELLE	48	381	60	96,776.4	
						prom = 42.33
	CORTINA	48				dstd = 9.81
	MUELLE	27				
MAYO	COSECHADORA	32	86	80	18,117.3	
						prom = 26.33
	CORTINA	20				dstd = 6.03
	MUELLE	49				
JULIO	CORTINA	17	435	70	106,575	
						prom = 35.00
	FRACC.	39				dstd = 16.37
	CORTINA DER.	49				
AGOSTO	CORTINA IZQ.	42	450	70	136,500	
						prom = 43.33
	MUELLE	39				dstd = 5.13
	FRACC.	30				
SEPTIEMBRE	MUELLE	40	489	70	122,087	
						prom = 35.67
	CORTINA	37				dstd = 5.13
	MUELLE	49				
OCTUBRE	FRACC.	36	531	70	166,026	
						prom = 46.67
	CORTINA	49				dstd = 7.51
	MUELLE	39.5				
NOVIEMBRE	FRACC.	47	548	70	175,816.7	
						prom = 45.83
	CORTINA	51				dstd = 5.84

Cuadro 1. Continuación

MES	ESTACION DE MUESTREO	DENSIDAD DEL LIRIO (kg/m <sup>2</sup> )	AREA DEL EMBALSE (ha)	COBERTURA DEL LIRIO (%)	BIOMASA (ton)
DICIEMBRE	MUELLE	36			
	FRACC.	50	539	70	162,239
		prom = 43.00			
		dstd = 9.90			
ENERO	CORTINA	39			
	COSECHADORA Y CORTINA	30	530	50	91,425
		prom = 34.5			
		dstd = 6.36			
FEBRERO	FRACC.	32			
	CORTINA	38	515	50	85,833.3
		prom = 33.33			
		dstd = 4.16			
MARZO	CORTINA	30			
	MUELLE	43.5	479	30	56,324.5
		prom = 38.5			
		dstd = 5.27			
ABRIL	SALTO	33			
	MUELLE	36	346	10	13,494
		prom = 39.00			
		dstd = 4.24			
MAYO	MUELLE	37			
	FRACC.	29	499	20	34,930
		prom = 35.00			
		dstd = 5.29			
JUNIO	CORTINA	39			
	FRACC.	51	486	20	25,920
		prom = 26.67			
		dstd = 21.36			
JULIO	MUELLE	11			
	CORTINA	39	460	20	23,000
		prom = 25.00			
		dstd = 19.80			
AGOSTO	MUELLE	32			
	MUELLE	17	477	10	11,607
		prom = 24.33			
		dstd = 7.51			
	TEPEJI	24			

TOTALES: Núm. de datos = 44; densidad promedio = 36 g 10.74  
 valor máximo = 51; valor mínimo = 11

**Cuadro 2. Crecimiento de lirio acuático medido en la presa Requena, periodo julio de 1986 a febrero de 1987**

ESTACION	FECHA	TIEMPO (días)	BIOMASA (kg)
VERANO	16/7/86	0	.25
	14/8/86	29	2.7
	17/9/86	63	15.4
OTOÑO	13/10/86	89	26
	18/11/86	125	39
	10/12/86	147	45
INVIERNO	19/1/87	187	50
	17/2/87	216	50.5

PARAMETROS UTILIZADOS EN LA ECUACION LOGISTICA DESCRITA EN EL CUADRO 14, A EFECTO DE OBTENER LOS VALORES DEL CUADRO SUPERIOR:

$$a = 4.707$$

$$r = 0.05$$

$$K = 51 \text{ kg}$$

tasa relativa de crecimiento (%) de 0 a 29 días = 8

tiempo de duplicación (días) = 8.7

correlación -0.986

confiabilidad mayor: 99%

Cuadro 3. Crecimiento de lirio acuático medido en la presa Requena, periodo diciembre de 1986 a marzo de 1987

ESTACION	FECHA	TIEMPO (días)	BIOMASA (kg)
INVIERNO	10/07/86	0	.250
	19/01/87	40	.563
	17/02/87	69	.675
	17/03/87	97	1.288

PARAMETROS UTILIZADOS EN LA ECUACION LOGISTICA DESCRITA EN EL CUADRO 14, A EFECTO DE OBTENER LOS VALORES DEL CUADRO SUPERIOR:

$$a = 3.8806$$

$$r = 0.0168$$

$$K = 51 \text{ kg}$$

tasa relativa de crecimiento (%) de 0 a 40 días = 2.03

tiempo de duplicación (días) = 34

correlación = -0.9845

confiabilidad: 95%

Cuadro 4. Crecimiento de lirio acuático medido en la presa Requena, periodo abril hasta junio de 1987

ESTACION	FECHA	TIEMPO (días)	BIOMASA (kg)
PRIMAVERA	28/04/87	0	1.00
	12/05/87	14	3.70
	12/06/87	48	22.00
	30/07/87	93	53.50

PARAMETROS UTILIZADOS EN LA ECUACION LOGISTICA DESCRITA EN EL CUADRO 14, A EFECTO DE OBTENER LOS VALORES DEL CUADRO SUPERIOR:

$$a = 3.2746$$

$$r = 0.0722$$

$$K = 55 \text{ kg}$$

tasa relativa de crecimiento (%) de 0 a 14 días = 9

tiempo de duplicación (días) = 8

correlación -0.9598

confiabilidad: 95%

## EXPERIENCIAS DE LA PICADORA PARA EL CONTROL MECANICO DEL LIRIO EN LA PRESA REQUENA, HGO.

Enrique Soto Reséndiz  
Sore, Cia. Constructora Hgo, S.A. de C.V.

El problema que el lirio acuático representa en México es importante no sólo porque azolva gradualmente y reduce la capacidad de almacenamiento de las presas, lagos y bordos; ni tampoco porque disminuye por evapotranspiración la cantidad que se almacena año tras año; sino fundamentalmente por los trastornos ecológicos que origina: donde esta plaga llega y se enseñorea se extingue la vida acuática; ha invadido ya poco más de 13% de nuestros mantos acuáticos; y, fundamentalmente por el daño que causan los millones de moscos que proliferan en esta planta y porque al deteriorar los espacios de la vida acuática, también se cierran innumerables fuentes de ingresos de las familias que antes vivieron de la pesca. Consecuentemente, también disminuyen los recursos alimenticios de la población y, en otros casos, cancela además importantes centros turísticos al obstruir o eliminar todo género de deportes acuáticos.

Las experiencias que a continuación se mencionan están relacionadas con la presa Requena y el "Retador", como hemos denominado a la planta móvil destructora de malezas acuáticas flotantes ideada y realizada, en un principio, con el único y deliberado propósito de acabar con el lirio en la presa, ubicada en la jurisdicción de Tepeji del Río, Hidalgo.

El manto acuático de referencia se localiza a 75 km de la ciudad de México, al que se accede transitando la desviación del Km 68 de la autopista México-Querétaro. Tiene una capacidad de almacenamiento de 71 millones de m<sup>3</sup>, reducidos en la actualidad, por azolve, a sólo 51 millones. Sus aguas cubren a máximo nivel una extensión de 724 hectáreas que colindan por el suroeste con el norte de la ciudad de Tepeji del Río, Hgo.

Como es sabido, en esa maleza proliferan los moscos, que hasta hace un año se multiplicaban en el corazón mismo de esa población haciendo la vida humana poco menos que imposible. Se controló esta plaga a base de insecticidas, que a la larga también dañan la salud, pero el acoso de los insectos no solo afectó a todas las poblaciones ribereñas, sino a todos los seres vivos habitantes de la zona situada en un radio de varios kilómetros a la redonda. La vida animal, y especialmente las especies menores, fue gravemente dañada: los cerdos, ovinos y caprinos que no

recibieron una adecuada protección, particularmente en sus primeros días, perdieron en principio la vista y muchos de ellos, unos cuantos días después, también la vida.

La virtual imposibilidad de vivir en esas condiciones nos condujo a luchar sistemáticamente durante ocho años... Ocho años de continuos esfuerzos y reiterados experimentos que concluyeron en el fracaso y el convencimiento de que la única solución era el empleo de medios mecánicos para combatir eficazmente lo que para los moradores de Tepeji del Rio, no era sino una dolorosa plaga.

Los intentos emprendidos en esos ocho años, como quedó asentado, se iniciaron con el empleo útil de esa maleza. Todos los esfuerzos de darle una aplicación rentable, todos sin excepción, demostraron que el lirio en su estado natural (entre otras causas por su elevado porcentaje de agua -más de 94%) es totalmente inaprovechable y tal parece que, aún hoy, no existe una fórmula, por lo menos en México, que le dé una sola aplicación que no resulte antieconómica.

Frente a esas experiencias (el creciente acoso de los moscos y todos nuestros intentos fallidos, durante los ocho años anteriores, incluyendo el uso de una máquina de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, con gran capacidad de carga, que trató de resolver el problema y que desde entonces se encuentra alojada en una de las márgenes de la presa) se procedió a solicitar a la mencionada Secretaría la no introducción de aguas negras a la presa Requena, lo cual se logró a partir del 13 de agosto de 1985, y con ello se dio otro vigoroso impulso para realizar el paso final que por fortuna culminó con el éxito que todo mundo puede confirmar en la presa Requena que, de estar totalmente invadida de lirio, hoy se encuentra totalmente libre de él.

Todos los pueblos asediados por el mosco han retornado a la vida tranquila y apacible de la provincia mexicana; la vida animal en todos sus rangos prolifera normalmente; y no tenemos necesidad de afectar nuestra salud ni de alterar la ecología mediante el uso de insecticidas.

La vida acuática ha retornado en todo su esplendor. Desde hacía 10 años no se veía un solo pato en la presa Requena. Aunado a esto la Secretaría de Pesca ha sembrado 1 millón 800 mil carpas de diferentes especies; cuyo éxito se ha comprobado al encontrar carpas hasta de dos kilogramos.

La SARH, por conducto del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, celosa de sus responsabilidades, desde hace más de un año vigila el avance de la recuperación de dicho manto acuático y

monitorea la calidad del agua en la presa para detectar posibles cambios originados por la destrucción del lirio, para lo cual se efectúan muestreos sistemáticos y periódicos.

Se emprendió en Tepejl una lucha de titanes, impulsada, antes que nada por el afán de supervivencia (sólo quien haya sufrido la molestia de millones de moscos que ahí proliferan comprenderá que no se trata de una hipérbole); fueron determinantes, no obstante, el esfuerzo de la Secretaría al través de la máquina mencionada y la acción definitiva que nos liberó de las aguas negras. Influyó también el aliciente del interés con que la administración estatal anterior, y especialmente el gobernador, tuvo la voluntad de ayudar, como lo expresó en la reunión del 3 de julio de 1984, fecha relevante en este relato de experiencias. Se solicitó en esa reunión, encabezada por el gobernador y con la asistencia de dos subsecretarios, varios directores y subdirectores y destacados técnicos, la máquina que se encuentra en las márgenes de la Requena en calidad de préstamo y el apoyo técnico para acondicionarle una picadora para destruir el lirio. La respuesta no se hizo esperar. Las personalidades más destacadas en esta materia coincidieron en afirmar que en lugar de acabar con el lirio se pretendía multiplicarlo, porque cada trozo de él sería una nueva planta.

En más de un año no se intentó nada; después se experimentó durante seis meses en un pequeño estanque y en una rinconada de la propia presa, aislados con malla, con lirio picado en diferentes tamaños y se encontró con agrado, porque era lo que se deseaba, que, en contra de lo dicho, de todas las plantas picadas, no retoñó ni una sola.

Hoy podemos agregar que de los miles de toneladas y los millones de trozos de lirio depositados en la presa Requena, no retoñó ni una sola mata; concluimos la jornada en pleno y esplendoroso verano y que ocho días después de que enmudecieron los motores del "Retador" no quedaba ni un trozo de lirio flotando sobre las limpias aguas.

Con el propósito de acabar con esta plaga nos dimos a la tarea de buscar opciones. Se nos propuso una máquina extranjera capaz de recoger del agua y en condiciones óptimas hasta 200 toneladas por día, y de depositarlas en una orilla o, como se hace comúnmente, en el agua, ya que se trata de una máquina acuática.

Considerando que el lirio en la presa tenía un peso de 80 kg por m<sup>2</sup> y que lo duplicaba cada 19 días, el empleo de la máquina extranjera suponía destruir, multiplicados esos 80 kg por los más de siete millones de metros cuadrados de la presa Requena, más de 500 mil toneladas en números redondos, lo cual representaba una tarea irrealizable, aún cuando al momento de empezar a sacar el lirio cesara totalmente su reproducción y crecimiento; eran

necesarias 10 máquinas como esa durante 250 días, trabajando en condiciones óptimas, situación imposible. Hubiera sido necesario, adicional al equipo de carga, el transporte capaz de cambiar de lugar 2 mil toneladas diarias, producto de 10 máquinas, también durante 250 días de trabajo. Si se considera el volumen del lirio, un camión de volteo no podría transportar más de dos toneladas por viaje; pero suponiendo de nuevo condiciones óptimas, idealmente cargaría cuatro por viaje, lo que significaba un requerimiento de 50 viajes diarios.

El costo fabuloso de todo ese equipo, más su mantenimiento y operación, hacían de nuestro empeño un objetivo totalmente inalcanzable. De ahí el retorno a la idea original de destruir el lirio en su propio medio considerando:

1. El elevado costo de la carga y transportación terrestre.
2. La pérdida de tiempo y el costo de medio viaje vacío por camión, para regresar con la carga y depositarla en el lugar preestablecido.
3. La dificultad de conseguir condiciones óptimas para la operación del equipo.

El lirio, como sabemos, es una planta flotante de gran movilidad, según el viento. En la experiencia que relato, por las características de la presa Requena, las condiciones generalmente son pésimas para el sistema propuesto. Sobre el particular, existen amargas experiencias. A la inversa, al estar preparados para las condiciones pésimas, las óptimas son ganancia. Por último, la necesaria capacidad de destrucción (increíble para los desconocedores del problema) para enfrentar la reproducción y el crecimiento del lirio.

De estas consideraciones nace el "Retador", que tiene un frente de corte de 4m y un avance promedio de 2 km por hora, es decir, tiene una capacidad de destrucción de 8,000 m por hora sin el requerimiento de "condiciones óptimas", ni regulares, ni malas: esta máquina convierte las aparentemente peores en las mejores.

La opción que nos fue propuesta era recoger del agua y devolver a ella, en montoncitos y en alguna parte plana, 200 toneladas por día.

El "Retador" tiene una capacidad de destrucción de 8,000 m por hora. La Requena tenía 80 kg de lirio por m<sup>2</sup> (según datos del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua tenía 50, consideremos un promedio de 65 kg por m<sup>2</sup>). Multiplicada esta media por la capacidad de destrucción de la máquina, supusimos el proceso de

520 toneladas de lirio por hora. Nuestro trabajo efectivo durante los tres turnos fue de 20 horas, por lo que estimamos una destrucción de 10,400 toneladas.

Cuando el viento arreea y aprisiona el lirio en algún lugar, el "Retador" va sobre él y el volumen destruido se acrecienta. Para el "Retador" no es impedimento la lluvia, ni las heladas, ni las noches. Tenemos conciencia de que la reproducción del lirio no da tregua; con el relevo de los encargados de los mandos de esta máquina, tampoco dimos tregua; es decir, no hubo días inhábiles.

En la presa Requena no hubo milagros. Las heladas dañan el lirio, lo mismo en ésta que en la presa Endhó y la Rojo Gómez, separadas sólo por unos cuantos kilómetros. La primera, gracias al "Retador", está totalmente limpia; las otras están totalmente infestadas.

Se ha dicho en contra del "Retador" que la pedacería azolva las presas. En la misma reunión, se dijo: "Sí, pero lo hace una sola vez. Mientras el lirio no sea destruido por algún medio, como su ciclo de vida es de 63 días, estará azolvando en forma continua." No hay que perder de vista que sólo 4% es materia orgánica, el resto es agua.

La concentración del lirio en la presa Requena, fertilizada con aguas negras, y su acelerada reproducción y crecimiento hicieron más prolongada la lucha del "Retador". Deberá considerarse que el tonelaje inicial se multiplicó para valorar que, desde el punto de vista del azolvamiento y gracias a que más de 94% de lirio es agua, los desechos orgánicos en la presa Requena son imperceptibles, por lo menos a simple vista. Esta circunstancia permite percibir también la eficiencia del "Retador": si en lugar de una máquina hubiese podido contar con dos, el tiempo se habría reducido en más de 50%, tal vez hasta 70%, y en la misma proporción se habría disminuido la reproducción y crecimiento de la planta y, consecuentemente, desvanecido el fantasma del azolvamiento.

Sin falsas modestias es posible afirmar que el "Retador" constituye una esperanza para México. Lo atestiguan las presas Requena en Hidalgo y Valle de Bravo en el estado de México. Ya no hay lirio en ninguna. En la primera no hubo más intervención que la del "Retador". En la segunda trabajan cuatro máquinas extranjeras y éste fue contratado porque el problema, según los contratantes, iba en aumento. En 55 días, entre marzo y mayo de 1987, el "Retador" cumplió su compromiso; destruyó aproximadamente 90% de la plaga. La máquina llegó hasta donde había capacidad de flotación. El 15 de mayo trabajaban la cuatro máquinas extranjeras y 10% del lirio que quedaba se multiplicó. Los primeros días de noviembre el lirio suspendió una regata. De nuevo contratado, el "Retador" a Valle de Bravo el 15 de

noviembre; 90% del lirio fue destruido. El trabajo fue entregado a satisfacción de la parte contratante el 12 de diciembre. En una segunda etapa el "Retador" está al acecho de 10% sobrante en rinconadas y lugares carentes de profundidad; cuando se esté leyendo este trabajo, la presa Valle de Bravo estará totalmente limpia.

Si las máquinas pudieran narrar lo que ven, las extranjeras que están en Valle de Bravo dirían lo que ha hecho una del Valle del Mezquital.

EXPERIENCIAS DEL CONTROL MECANICO DEL LIRIO EN LA  
PRESA VALLE DE BRAVO, MEX.

Absaión Domínguez  
Comisión de Aguas del Valle de México-SARH

El Sistema Cutzamala es uno de los principales proveedores de agua potable de la zona metropolitana de la ciudad de México. Se abastece de aguas superficiales de las presas Villa Victoria, Valle de Bravo, Colorines, El Bosque, Tuxpan y Chilesdo; de éstas, la del Valle de Bravo es la principal por su capacidad e inmejorables condiciones hidrológicas.

La presa Valle de Bravo tiene una capacidad de almacenamiento de 420 millones de metros cúbicos y una superficie de 1,888 hectáreas; a la cota, que es la cresta del vertedor, 1,783.34 metros sobre el nivel del mar

Hace aproximadamente cuatro años el lirio acuático apareció en esa presa. Al año siguiente (1985) la superficie cubierta por esta planta se incrementó considerablemente, por lo que se solicitó a las autoridades responsables de la Comisión de Aguas del Valle de México, los equipos necesarios para controlar el crecimiento del lirio.

Los equipos (tres máquinas) fueron importados de Estados Unidos; sus características son las siguientes:

Máquina 1

Marca: Aqua Marine

Modelo: H7-400

Longitud: 10.50 m

Altura: 2.56 m

Ancho: 2.45 m

Peso total: 4,650 ton (sin carga)

Capacidad de tolva: 11.5 m. cúbicos

Amplitud de corte: 2.15 m

Profundidad de corte: 1.50 m

Propulsión: Dos paletas de 1.63 m de diámetro y 0.76 m de ancho  
con velocidad entre 0 y 50 RPM  
Motor Diesel de 35 HP

Consumos

Combustible: 3.75 litros de diesel por hora  
Aceite de lubricación: 0.1575 litros por hora  
Aceite hidráulico: 0.40 litros por hora  
Tiempo de llenado de tolva: 25 min.

NOTA: Esta máquina entró en operación el 27 de agosto de 1985.

Máquinas 2 y 3

Marca: Aqua Marine

Modelo: H10-800

Longitud: 12.40 m

Altura: 2.87 m

Ancho: 3.05 m

Peso total: 6,700 ton (sin carga)

Capacidad de tolva: 22.73 m cúbicos

Amplitud de corte: 3.05 m

Profundidad de corte: 1.50 m

Propulsión: Dos paletas de 1.80 m de diámetro y 0.92 m de ancho

Motor Diesel de 45 HP

Consumos

Combustible: 5 litros de diesel por hora  
Aceite de lubricación: 0.17 litros por hora  
Aceite hidráulico 0.533 litros por hora  
Tiempo de llenado de tolva: 30 min

NOTA: La máquina 2 entró en operación el 20 de noviembre de 1985, y la 3, el 30.

### Procedimiento

El motor diesel es la principal fuente de fuerza de estos equipos; impulsa dos bombas de alta presión para propulsores (paletas) y para cortar y elevar el lirio. Cuenta con motores hidráulicos que a su vez hacen funcionar las tres bandas transportadoras: la primera puede inclinarse hasta una profundidad de 1.50 m, recoge el lirio del agua, lo traslada hacia la segunda; ésta forma parte del fondo de la tolva de almacenamiento y, finalmente, la última sirve para descargar. La recolección se lleva a cabo mientras la máquina se mueve, mediante propulsores hacia la mancha del lirio; lo levanta, llena la tolva y se dirige a la orilla más cercana para descargar directamente en tierra, debido a que no se cuenta con camiones transportadores. Esta operación la ejecuta cada una de estas máquinas varias veces al día, que dependen del número y de la distancia de acarreo. Se busca que este trayecto sea el más corto posible.

### Rendimiento

Si se consideran los retrasos por reabastecimiento de combustible y los del personal de operación, el mantenimiento preventivo y las condiciones meteorológicas, se estima un rendimiento efectivo de 80% del tiempo de trabajo. Ese porcentaje podría mejorarse si se contara con personal especialmente dedicado a suministrar combustible oportunamente y, sobre todo, con mecánicos al pendiente de cualquier falla de las máquinas. Ello es difícil por la falta de ese personal y de un vehículo, y por la lejanía de la presa, localizada a 40 km del centro de operaciones del Sistema Cutzamala.

### Logros

A pesar del rendimiento anotado, se avanzó considerablemente, con los tres equipos trabajando, y se ha logrado erradicar el lirio casi por completo. Sin embargo, el paro de una o más máquinas, hace que el material por extraer se incremente, como sucede actualmente (octubre de 1987), debido a que una de las máquinas está en reparación, y otra está parada por fallas mecánicas. Se ha concluido, por tanto, que tres equipos son suficientes, pero que debe contarse con un equipo adicional, con objeto dar mantenimiento preventivo a los demás, sin permitir que la producción sea mayor que la extracción.

## Costo

Los precios de combustibles, lubricantes y refacciones menores, y los sueldos del personal (al 20 de octubre de 1987) son los siguientes:

Diesel: 241 pesos por litro

Aceite de lubricación: 1,170 pesos por litro

Aceite hidráulico: 3 mil pesos por litro

Filtro de aceite: 5 mil pesos por pieza

Sueldo mensual de un operador: 259,255 pesos

Se anota asimismo el importe de las refacciones menores de los tres equipos.

Modelo H7-400

3,562 pesos por hora; 127.25 por metro cúbico

Modelo H10-800

4,285.20 por hora; 94.30 pesos por metro cúbico

Las reparaciones mayores (al casco, motor, sistema hidráulico, sistema eléctrico, pintura, cambio de mallas transportadoras, etc.) que se están llevando a cabo tendrán un importe global, para las tres máquinas, de 76 millones 684 mil pesos.

Como antes se mencionó, el lirio extraído se deposita en la orilla de la presa y no fuera de la zona, como se debe; esto puede efectuarse con camiones de volteo cargados mecánicamente (se requiere un tractor con cargador frontal y seis camiones de siete metros cúbicos de capacidad para un tiro de cinco km y 14 camiones de la misma capacidad para un tiro de 10 km de distancia). A los costos de extracción deben agregarse los de acarreo.

Como información complementaria, se menciona el importe propuesto en 1986, para la extracción y acarreo en forma programada y sistemática del lirio que se produce en la presa Valle de Bravo: 680 millones 430 mil pesos.

## Ventajas

Al extraer el lirio por completo del vaso de almacenamiento no hay residuos que queden sumergidos y que al entrar en descomposición produzcan color y olor en el agua almacenada, ya que ese líquido está destinado al consumo humano. Por tanto, no habrá necesidad de agregar reactivos químicos e implementar sistemas de aereación en el tratamiento de agua, con lo que se evita el aumento de los costos de potabilización.

## Desventajas

La firma estadounidense que vendió los equipos no cuenta con refacciones disponibles de inmediato, por lo que éstas se entregan con dos o tres meses de dilación, previo pedido. Las mallas transportadoras, por ejemplo, se deterioran con más frecuencia, por lo que actualmente se está gestionando que firmas que se dediquen a la fabricación de máquinas para hacer tortillas fabriquen la malla de acuerdo con su estructura y con material duradero.

Otra desventaja deriva del dispositivo de carga de un camión: Las bandas y mangueras de una banda transportadora anclada a tierra con conexión mecánica e hidráulica a la cosechadora, debido a los continuos movimientos de la máquina provocados por el oleaje, se desconectan y rompen ya que la energía (hidráulica) que mueve la banda procede del mismo motor de la cosechadora. Esto se ha resuelto separando físicamente los dos dispositivos, accionando las bandas en tierra (cada máquina cuenta con una) con una fuente (motor) de energía separada y cuya capacidad es suficiente para los sistemas hidráulicos de las tres bandas.

## Recomendaciones

El rendimiento de los equipos puede mejorarse con la atención debida del personal de mantenimiento y con el suministro de combustible suficiente para que no se paren por fallas o por falta de carburante; también deben adquirirse camiones de volteo para trasladar el lirio extraído fuera de la zona de reproducción.

Se concluye que la extracción mecánica completa del lirio de un vaso de almacenamiento debe aplicarse en los casos en que el agua va a ser tratada y, por tanto, destinarse al consumo humano.

Se sabe de una compañía que está fabricando un equipo con materiales del país, sería conveniente alentarla a producirlo.

# EXPERIENCIAS EN EL APROVECHAMIENTO DEL LIRIO ACUÁTICO COMO ALIMENTO PARA GANADO EN LA PRESA VALSEQUILLO, PUEBLA.

José Monsalvo Trujano  
Dirección General de Normatividad Pecuaria-SARH

## Introducción

Este documento describe el Programa de Innovaciones Tecnológicas de la delegación en la presa de Valsequillo, Puebla, de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, respecto del uso del lirio acuático como alimento para ganado.

El objetivo de este trabajo es, por tanto, dar a conocer el valor nutritivo del lirio acuático y acondicionarlo para aprovecharlo como forraje.

## Consideraciones

El Programa Nacional de Aprovechamiento Forrajero se diseñó en 1973 con el fin de controlar el lirio acuático y convertirlo en forraje para ganado, idea originada en la costumbre de las comunidades ribereñas de pastorear su ganado donde lo hay.

La potabilidad y digestibilidad del lirio como forraje están probadas con el "pastoreo ribereño". El análisis bromatológico del lirio demuestra que el valor nutricional de su materia seca es equivalente a la del forraje, que el exagerado porcentaje de humedad (92.5% en promedio) es el problema principal de su aprovechamiento por las diarreas mecánicas que el lirio provoca en el ganado, y su bajo contenido de materia seca (7.5% en promedio).

La exagerada humedad del lirio acuático se tradujo en la necesidad, al agroindustrializarlo, de aumentar su sequedad a 20% para igualarlo, este aspecto, con los forrajes tradicionales. Para satisfacer esa necesidad se determinó la tecnología con que se inició el programa de actividades de este centro de trabajo, dependiendo del Pronafor, ahora de Innovaciones Tecnológicas, del que conserva el objetivo.

Se sabe que el lirio asimila metales pesados (contaminantes) y que los acumula, por lo que no se debe correr riesgos innecesarios. El uso del lirio tiene que considerar el grado de contaminación, y al consumirlo no sólo como forraje, sino también

como abonó o estructurador de suelos de Invernadero o tierra para macetas, como combustible, material para producir conglomerados, papel, etcétera.

Para el consumo forrajero, se recomienda aprovechar tentativamente el lirio de los embalses menos contaminados y procesar lirio joven, que tiene mayor posibilidad de cumplir con las normas de calidad. La selección de edades del lirio se facilita con el sistema de confinación.

El aprovechamiento del lirio como alimento para ganado se practica en China de manera tradicional. Debe notarse que en ese país no se considera plaga al lirio, sino que se cultiva con un costo muy alto debido a que tienen que conservar la planta de reproducción en invernaderos a partir de octubre, en febrero lo multiplican por amacollamiento (pacholes) y en abril lo transplantan en los ríos. Lo abonan con fertilizante foliar y controlan rigurosamente sus plagas.

Para que la corriente no se lo lleve, y para cultivarlo y cosecharlo, los chinos han desarrollado un referido sistema de confinación que les sirve también para que queden canales profundos de navegación pluvial, importante sistema de transportación en China, en las plantaciones de lirio.

Lo aprovechan como ingrediente proteínico de la alimentación de 300 millones de cerdos y, en menor escala, de patos y otros animales. Lo cosechan y maceran para agregarlo a los caldos de fermentación, sistema habitual de alimentación. Se estima que no conviene aplicar ese sistema por la gran cantidad de mano de obra requerida.

Como el lirio no tiene costo de producción, su consumo como forraje dependerá del costo de su agroindustrialización y valor alimenticio.

#### Valor alimenticio del lirio

La determinación del valor alimenticio del lirio se inició observando el pastoreo ribereño, propio de la época de sequía y en que el ganado bovino pasa la mayor parte del tiempo confinado en corrales domésticos. Su alimento principal consiste en esquilmos tales como el rastrojo entero de maíz. Meten el ganado al agua para que se coma el lirio alrededor de las 8 de la mañana y como a las 2 de la tarde.

Este pastoreo provoca en los animales una diarrea mecánica generalizada, producida por el exagerado porcentaje de humedad del lirio. Se ha observado también que al ingerir ese lirio, los animales se mantienen vivos, pero sin reproducirse adecuadamente

porque no entran en calor, paren una o dos veces en todo su ciclo biológico y consumen en la época de sequía las reservas acumuladas en época de lluvias, y pierden peso. El pastoreo tradicional en la época de lluvias dura unos cuatro meses y es más o menos el mismo proceso que se observa durante la sequía.

Dado que no se aprecia con claridad el valor alimenticio del lirio, en febrero de 1975 se modificó el manejo del pastoreo ribereño de las becerras Charbray flacas con 150 kilos de peso en promedio y de unos dos años de edad. Se les obligó a comer únicamente lirio sin ningún complemento alimenticio, y se mantuvieron desparasitadas y con un adecuado control de sanidad.

Comían únicamente la parte aérea del lirio; duraban horas dentro del agua comiendo y retozando. No tuvieron problemas en las patas, como era de esperarse, pero tuvieron permanentemente diarrea mecánica generalizada, no muy intensa.

Las becerras entraron en calor durante los primeros ocho meses (menos una que salió horra), parieron, lactaron y volvieron a entrar en calor. Su incremento de peso fue muy bajo, ya que aumentaron un promedio de 200 gramos diarios (este manejo puede modificarse de muchas maneras para mejorar sus resultados).

El primer intento de manejo de pastoreo permanente de bovinos empleando el lirio acuático definitivamente fue malo, pero mucho menos que el pastoreo ribereño habitual. Lo importante es que probó fehacientemente que es necesario deshidratar parcialmente el lirio para ser empleado como alimento. Es indispensable bajar la humedad, cuando menos, a 92.5 promedio de los forrajes frescos tradicionales, para evitar las diarreas mecánicas y, al mismo tiempo aumentar su materia seca de 7.5 a 20%, con lo que mejora significativamente su valor nutritivo.

En mayo de 1975 se probó el manejo de "pastoreo permanente en lirio acuático" también con ganado porcino. Se soltaron 82 cerditos de siete razas, 40 kilos de peso en promedio y unos tres meses de edad, en los cuerpos de agua con lirio día y noche, se les dio un kilo diario de alimento de engorda en promedio y se mantuvieron desparasitados, y con un adecuado control de sanidad. En las tardes, los moscos los molestaban mucho. Siete meses después pesaron 80 kilos en promedio.

Se observó que las razas que mejor se adaptan a estas condiciones son la Ham, Duroc, York, y sus cruza. Daban la impresión de que las condiciones en que estaban eran las ideales para su desarrollo por su cerda lustrosa; su exagerada limpieza (al grado de que no oían a cerdos ni había moscas a su alrededor); y su comportamiento apacible (entraron y salieron del agua tranquilamente). Los cerdos son buceadores expertos y se hunden

en el agua para alcanzar las cepas del lirio, que es la parte que más les gusta. Este ensayo, malo para la engorda, resultó positivo en el manejo de vientre.

En 1977 se inició el manejo del lirio forrajero con 80% de humedad y 20% de materia seca. Una tonelada de lirio natural rinde 375 kilos de lirio forrajero. El escurrimiento del lirio extraído y su deshidratación parcial se hizo tendiéndolo al sol en capas delgadas (de unos 40 centímetros de grueso) y volteándolo diariamente durante cuatro días en promedio. Ese lirio entero, picado y ensilado, se dio a los animales. El mejor ensilaje fue de lirio forrajero picado con 5% de melaza como preservador; tiene el mismo olor y la misma aceptación por el ganado que los ensilajes de maíz y sorgo.

Varias pruebas de incremento de peso de bovinos, cerdos, borregos y conejos demostraron que los mejores resultados se obtienen con el lirio forrajero ensilado, que se comporta como cualquier otro forraje.

Se analizaron muestras de vísceras de esos animales para determinar el grado de contaminación con los metales pesados que se encuentran en el lirio. Los resultados fueron negativos. No se encontró huella alguna de contaminantes. Es pertinente aclarar, sin embargo, que el ganado prueba comió el lirio en diferentes formas sin cuidado alguno respecto de su contaminación, salvo los análisis de toxicidad a los animales.

El aprovechamiento del lirio acuático constituye un recurso altamente renovable, con posibilidad de varios usos, de acuerdo con su calidad y sin límite de cantidad.

La cantidad de su materia orgánica disponible supera con mucho la demanda del futuro.

Los diferentes grados de contaminación por metales pesados decidirán su uso. El lirio puede emplearse como material para producir conglomerados, papel, combustible, tierra para macetas, estructurador de suelos de invernadero, abonos, alimento animal, entre otros, una vez que se aprenda a controlarlo mediante una sección de edades del lirio, o embalses menos contaminados, desarrollando manejos específicos, aplicando la genética vegetal, etcétera.

Con el aprovechamiento del lirio se obtendrá un recurso material y será posible controlar, sin costo alguno una plaga.

Se está diseñando y construyendo la maquinaria para agroindustrializar el lirio, con un proceso que tenga un costo igual o menor de 50% del que tenga el producto con el que compita, de modo que se pueda consumir el lirio con ventaja en la actividad ganadera, agrícola o industrial.

## APROVECHAMIENTO DEL LIRIO ACUÁTICO COMO MEJORADOR DE SUELO

Gabriela Carlos Hernández  
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua-SARH

### Introducción

El suelo, como un recurso natural o medio físico donde crecen las plantas, está formado por una mezcla de material fragmentado de origen rocoso, parcial o totalmente intemperizado, compuesto de minerales, materia orgánica, agua y aire, en proporciones variables de acuerdo con las características propias del material madre, los factores físicos, químicos y biológicos que intervienen; el clima, el relieve y la forma en que el hombre, le saca provecho.

El hombre explota el suelo en la agricultura, por ejemplo, debido a que los horizontes A y B son los más superficiales y donde se localizan los elementos nutritivos para las plantas, y que más fácilmente se pierden cuando el suelo no es utilizado en forma moderada o adecuada.

En el horizonte A se localiza la materia orgánica, que incluye todos los materiales de origen vegetal o animal en diferentes estados de descomposición en el suelo, entre los que se hallan los materiales orgánicos, como estiércoles y abonos verdes residuo de las cosechas, raíces de las plantas, algas y lirio acuático (Elchornia crassipes).

En México y en otras partes del mundo, ha sido necesario agregar al suelo fertilizantes químicos o naturales ya que cuando se utiliza para la agricultura, pierde la capa de materia orgánica o se vuelve improductivo por la falta de nutrientes que deriva de la erosión hídrica, eólica o la acelerada que se produce en lapsos muy cortos cuando se destruye o deteriora la cubierta vegetal por la aplicación de técnicas agrícolas inadecuadas.

Por ello, el hombre aporta artificialmente los elementos que las plantas precisan y que extraen naturalmente del suelo; con el estiércol se beneficia el suelo mejorando su estructura, aumentando su contenido orgánico y de nitrógeno, y estimulando el crecimiento y reproducción de bacterias y hongos, ya que permite que las partículas sueltas de arena se unan, se incrementa la retención del agua y la aereación; el lirio acuático, como fertilizante orgánico, provee nutrientes a las plantas en mayor cantidad que los fertilizantes minerales, ocasiona que la superficie del suelo sea menos compacta, y con ello mejora el

ambiente de la raíz e incrementa la actividad microbiana debido a la alta energía de compuestos carbonosos que contribuyen a la disminución de la lixiviación de los nutrientes de las plantas (Parra y Hortenstine, 1976).

En México, Bastidas, et al. 1980 observaron que adicionando lirio acuático al suelo se incrementan elementos como el magnesio, sodio, potasio, cloruros, materia orgánica, nitrógeno y fósforo, con lo que el maíz no careció de nutrientes y se alcanzó un mayor rendimiento en las parcelas a las que se adicionó lirio acuático-fertilizante; siguieron en orden decreciente, las que se adicionaron sólo con fertilizante, lirio acuático y testigo.

Por lo anterior, la SARH a través de su Dirección General de Calidad del Agua y ésta de su Subdirección de Investigación y Entrenamiento, realizó en 1983 en una zona de temporal la aplicación de lirio acuático para determinar la factibilidad técnica y económica de su aprovechamiento, incorporado en una parcela de temporal ubicada en San Mateo Xalpa, Xochimilco, D.F.

La evaluación de la productividad que aquí se presenta consta en un reporte experimental inédito; los resultados edafológicos fueron recopilados e interpretados por la autora.

### Metodología

Se aplicó el lirio acuático en una parcela cercana al poblado de San Mateo Xalpa, con un área de 2,678.75 m<sup>2</sup> y bajo contenido de materia orgánica, y dividida en 18 lotes de aproximadamente 144 m<sup>2</sup> con camellón divisorio de aproximadamente un metro (lámina 1).

Antes de dividir el terreno en lotes se niveló y se barbechó. En seguida se procedió a lotificarlo y, en forma ordenada, escoger seis lotes para incorporarles el lirio acuático, seis para adicionarles además del lirio-estiércol y los seis restantes para testigo (lámina 2).

La incorporación de lirio acuático (334 kg) y estiércol (157 kg) a cada lote correspondiente se hizo con ayuda de carretillas y bieldos en cantidad determinada con base en los análisis de contenido de materia orgánica de lirio, estiércol y suelo realizados en forma preliminar.

Una vez incorporado el abono, se hicieron los surcos y se sembró papa, frijol y avena forrajera por duplicado en cada tratamiento. La distribución de los tratamientos y cultivos se puede observar en el cuadro 1.

Se cosechó la papa y el primer corte de la avena forrajera cuatro meses después de la siembra. La cosecha de frijol se perdió por plaga.

En los cultivos de papa y frijol se aplicó lazínón, para combatir el tizón tardío, en dosis de 1/2 litro de agua por ha. Cinco días después se les aplicó lucathion, en una dosis de un litro en 200 de agua por ha, para combatir la palomilla blanca. Después de cinco días, se roció DMA-3 a los lotes de avena para combatir la maleza de hoja ancha (tres cucharadas soperas en 10 litros de agua por ha). Estos plaguicidas son organofosforados.

Las muestras de suelo se tomaron con una pala recta, en un volumen aproximado de 25 x 25 x 30 cm, que se colocaron en bolsas de plástico etiquetadas previamente y se transportaron al laboratorio edafológico para determinar los parámetros de textura, pH, por ciento de materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio. Efectuaron los análisis los laboratorios de suelo de la SARH en Xochimilco, D.F., y Mixquiahuala, Hgo.

Antes de incorporar el abono verde se analizaron muestras compuestas de toda la parcela, una en febrero y otra en marzo. Después de la incorporación del lirio acuático se llevaron a cabo tres muestreos, el primero luego de tres meses de la incorporación de abono, el segundo a los cinco meses, y el tercero un año más tarde. Cada muestreo comprendía 18 muestras, una por lote.

El lirio acuático se obtuvo de la presa San Lucas, que se encuentra 100% cubierta de esta maleza; se extrajo con bieldos, y se trasladó en camión de redillas al lote 16, donde permaneció una semana. Después se aplicó a los lotes correspondientes. El estiércol se obtuvo de un establo particular de San Mateo Xalpa y se transportó y depositó en el lote 17.

### Resultados

La parcela de San Mateo Xalpa tiene las siguientes características:

- Suelo agrícola de aptitud forestal,
- relieve plano, con ligeras ondulaciones y una pendiente de 5% hacia el norte,
- drenaje externo moderado,
- vestigios de bosque de pino en los alrededores,

- material parental, basáltico olivínico, y
- cultivos de temporal.

En el cuadro 2 se muestran las características físicas y químicas de la parcela experimental antes de incorporar la materia orgánica y preparar el suelo para la siembra. Se puede observar que éste corresponde a un subhorizonte Cámbrico, A2p por prácticas culturales del hombre; su color en seco es 10 YR 5/3 pardo, y en húmedo 10 YR 3/4 pardo amarillento oscuro; su densidad aparente es de 1.2 y la densidad real de 2.3. Su textura es arcillo-migajón-arenosa con macro y microporos, con estructura que va de prismática a granular con terrones de 2 a 20 mm, y es adhesivo y plástico cuando húmedo. Su pH con agua es fuertemente ácido (5.4). Su contenido de materia orgánica es medianamente pobre (1.24), el porcentaje de nitrógeno es medianamente pobre (0.06), y la relación de carbono-nitrógeno es mediana (11.8); el fósforo es pobre (3.9 ppm) el calcio es medianamente pobre (410 ppm); el magnesio asimilable es rico (110 ppm) y el potasio pobre (24.6 ppm).

Antes de adicionar el abono verde se determinó el contenido de materia orgánica: suelo, 1.7%; lirio acuático (base húmeda), 66.6%; y estiércol 51.8%. Con estos datos se determinó adicionar al suelo 2.3 ton/ha de lirio acuático, o sea 334 kg/ lote y de estiércol 1.2 ton/ha, es decir 167 kg/lote.

En los cuadros 3-5 se presentan los resultados de las determinaciones edáficas del suelo después de incorporado el abono; los resultados se agruparon por tratamiento y se promediaron para facilitar su manejo y dar una mayor confiabilidad a su interpretación. Se aprecia que no hay cambios significativos en las propiedades físicas y químicas de los suelos, con color en seco y húmedo, densidad aparente (D.A.), densidad real (D.R.), y porcentaje de espacio poroso (% E.P.) similares.

- Textura. Estos suelos son migajón-arcilloso-arenoso, principalmente por sus diferentes grados de erosión, debida a la geoforma del terreno y a la nivelación que se realiza antes de la siembra.

- pH. Antes de efectuar el experimento, el pH era de 5.4. Durante el experimento se observó en los lotes testigo una mejora de 5.9 a 6.2; en los lotes con lirio acuático se determinó entre 6.2 y 6.3; y en los lotes con lirio acuático-estiércol de 6.2 a 6.4, lo que indica una mejora significativa, ya que el pH pasó de fuertemente ácido a ligeramente ácido.

- **Materia orgánica.** En el lote testigo el porcentaje de materia orgánica oscila entre 1.2 y 1.4, que corresponde a un suelo medianamente pobre, y en los lotes con lirio acuático varía entre 1.5 y 1.8, mientras que en el tratamiento lirio acuático-estiércol fue de entre 1.5 y 1.9, o sea con un mayor contenido de materia orgánica donde se adicionó abono verde.

- **Relación carbono-nitrógeno.** Tenía un valor de 11.23 antes de preparar el suelo para el cultivo. Comparando con los obtenidos en el suelo testigo no se nota mejora significativa, pero con el lirio acuático hay un ligero incremento de 10.75 a 12.42 y 11.0.

- **Fósforo asimilable.** El fósforo se incrementó: la muestra previa al tratamiento contenía 2.9 ppm y el testigo, mostró un ámbito entre 5.5 y 10.2 ppm; el lirio acuático 4.4 y 10.6 ppm; y el lirio acuático-estiércol entre 5.2 y 10.2 ppm, ello indica que al adicionar residuos orgánicos mejoran en forma significativa el contenido de fósforo asimilable para las plantas.

- **Capacidad de intercambio catiónico.** Tiene, antes del cultivo, un valor de 11.84, y en los lotes testigo de 11.8 a 15.7; en los lotes con lirio acuático de 11.5 a 16.1; y en el lirio acuático-estiércol de 14.9 a 18.1, con esto se observa que la capacidad de intercambio catiónico se incrementa en proporción directa con el contenido de materia orgánica adicionada; además, revela que durante el periodo de agosto de 1983 a julio de 1984 la cantidad de materia orgánica disponible fue mayor, lo que nos hace suponer que ese lapso se integró el estiércol y después en el lirio, ya que contiene mayor número de organismos descomponedores como hongos y bacterias.

- **Calcio asimilable.** En la muestra antes del cultivo y en el testigo la concentración de calcio fue de 580 ppm. Con el tratamiento de lirio acuático se nota una variación de 650 a 600 y con el tratamiento de lirio acuático-estiércol de 630 a 610 ppm, lo que representa un incremento favorable.

- **Magnesio asimilable.** El magnesio en las muestras antes del cultivo y testigo se encuentra en concentración medianamente rica (85-90 ppm), mientras que en los cultivos con el lirio acuático y lirio acuático-estiércol varía dentro de la concentración de rico 85-100 ppm.

- **Potasio asimilable.** Se registra mediano (60-65 ppm), antes del tratamiento y en los lotes testigo; con lo que respecta a los lotes con lirio acuático y lirio acuático-estiércol se hallan en el ámbito de medianamente rico (85-100 ppm).

Estas tres últimas determinaciones demuestran que la incorporación del lirio acuático y estiércol favoreció la concentración de dichos elementos en el suelo.

Respecto del contenido de materia orgánica del suelo antes y después de la incorporación, se observó que no hay gran diferencia, probablemente por la escasa cantidad adicionada.

En cuanto a la productividad de los cultivos, se observó que:

Después de cuatro meses y medio se cosechó la papa y en seguida se hizo un corte de avena para observar la productividad. En el cuadro 6 se observa que la producción unitaria promedio de la papa, con el tratamiento con lirio acuático, es mayor que en el testigo; fue de 1.208 kg/m y 1.55 kg/m respectivamente. Igual que la de la papa, la producción unitaria de la avena fue mayor con el tratamiento de lirio (3.06 kg/m) que en el testigo (1.83 kg/m), o sea, que la producción aproximada se incrementó en 70% con respecto de la obtenida en el testigo.

Con el tratamiento con lirio acuático-estiércol, la producción de la papa y avena fue menor y casi igual que los testigos respectivos, posiblemente por el ataque de plagas y malezas que obligaron la aplicación de plaguicidas organofosforados.

No fue posible medir la productividad del frijol debido a que la cosecha se perdió por el ataque de plagas y falta de mano de obra.

### Conclusiones

- El lirio acuático y estiércol, por aportar materia orgánica, se comportan igual que cualquier otro abono natural en el suelo.

- El lirio acuático no causa daños al suelo en el corto plazo, pero es necesario realizar estudios de largo plazo, con aplicaciones frecuentes, que lo comprueben, ya que por su capacidad de absorber metales pesados podría afectar de algún modo al suelo o las plantas de cultivo.

- Con la adición de lirio y estiércol cambiaron levemente, en forma favorable, algunas de las propiedades físicas y químicas del suelo.

- Para inducir cambios reales de la concentración de materia orgánica y otros parámetros del suelo, es necesario agregar mayores cantidades de lirio acuático y estiércol, y aplicarlo periódicamente.

## BIBLIOGRAFIA

SAG., Conservación del suelo y agua, México, Secretaría de Agricultura y Ganadería, 1975.

Bastidas, R. V., Contreras, R. et al., Investigación sobre aprovechamiento de malezas acuáticas en la reestructuración de suelos "La Viña", Valle del Mezquital, Hgo., Informe técnico 1, México, SARH, 1980.

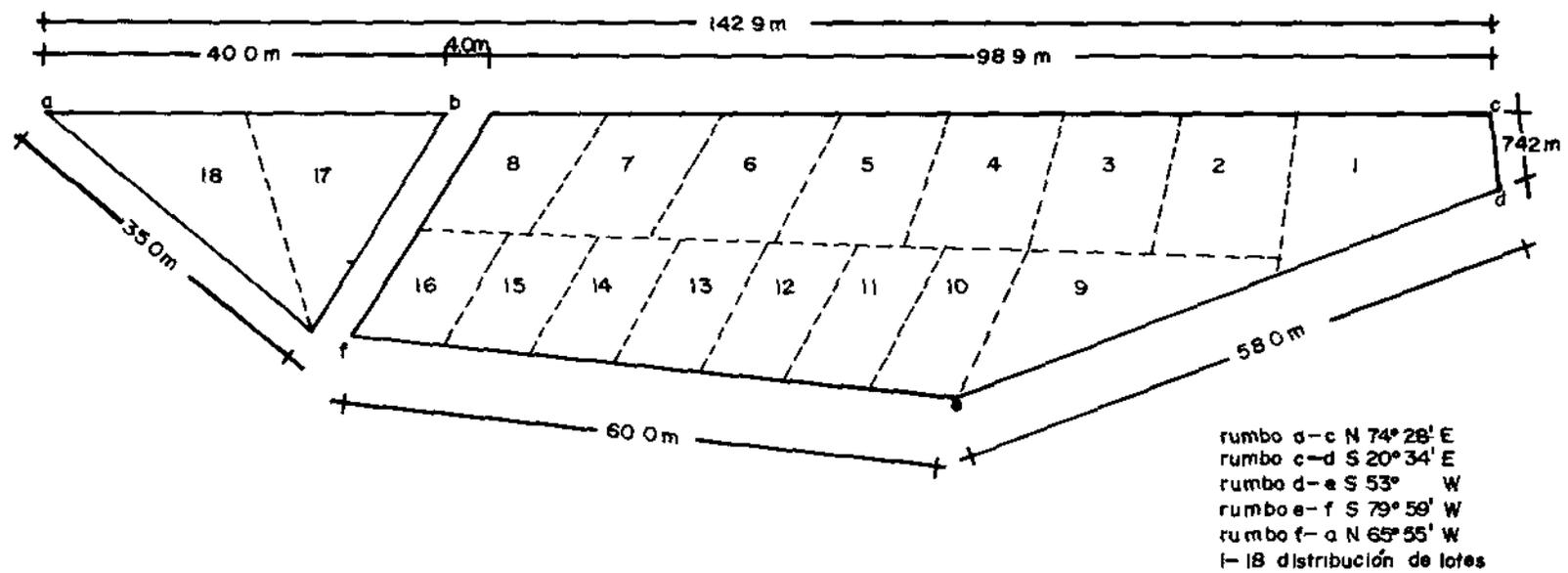
Thompson, L. M., Troeh, F.R. Los suelos y su fertilidad. México, Reverte 1980.

Parra, J. V., Hortenstine, Ch., "Response by Pearl Millet to Soil Incorporation of Waterhyacinths", Journal Aquatic Plant Management, vol. 6, núm. 14, 1976, 75-78 pp.

Lámina I. Distribución de la parcela experimental



126



**Cuadro 1. Distribución de los tratamientos en la parcela**

LOTE	T R A T A M I E N T O S		
	Testigo	Lirio acuático	Lirio + estiércol
1		Avena	
2			Frijol
3		Papa	
4	Frijol		
5			Papa
6		Avena	
7			Papa
8	Frijol		
9	Papa		
10			Avena
11		Frijol	
12	Avena		
13			Frijol
14	Papa		
15		Frijol	
16			Avena
17		Papa	
18	Avena		

Cuadro 2. Resultados de las determinaciones físicas y químicas del suelo de la parcela experimental, antes de aplicar el abono verde, en San Mateo Xalpa, Xochimilco, D. F.

Fecha muestreo	Prof	Color		DA	DR	%EP	Textura			pH		% M.O	% C	% N	R C/N	P ppm	CICT meq 100g/s	Ca <sup>++</sup> ppm	Mg <sup>++</sup> ppm	K <sup>+</sup> ppm
		Seco	Húmedo				% Arena	% Limo	% Arcilla	H <sub>2</sub> O	KCL									
14-III-83	0-20	10 YR 5/3 pardo	10YR 3/4 pardo amarillo oscuro	1.2	2.3	47	53	25	22	5.4	5.1	12	0.7	0.06	12	4	12	580	85	60

Cuadro 3. Resultados de las determinaciones físicas y químicas del suelo de los lotes testigo en la parcela experimental de San Mateo Xalpa, Xochimilco, D.F.

Fecha muestreo	Prof cm	Color		D A	D R	%EP	Textura			pH		% M.O	% C	% N	R C/N	P ppm	CICP meq 100g/s	Ca <sup>++</sup> ppm	Mg <sup>++</sup> ppm	K <sup>+</sup> ppm
		Seco	Húmedo				% Arena	% Limo	% Arcilla	H <sub>2</sub> O	KCL									
10-VI-83	0-20	10 YR 5/3 pardo	10YR3/4 pardo amarillo oscuro	1 2	2 1	42.8	55	25	20	5.9	5.2	12	0.7	0.1	11.7	10.2	13.4	580	90	65
18-VIII-83	0-20	10 YR 5/3 pardo	10YR3/4 pardo amarillo oscuro	1 1	2 2	44.7	65	23	12	6.1	5.2	13	1.1	0.1	11	7.3	11.8	575	85	60
11-VII-84	0-20	110 YR 5/3 pardo	10YR3/4 pardo amarillo oscuro	1 1	2 3	52.3	66	20	14	6.2	5.1	14	1.1	0.1	18.3	5.5	15.7	585	85	65

Cuadro 4. Resultados de las determinaciones físicas y químicas después de aplicado el lirio acuático en los lotes correspondientes a la parcela experimental de San Mateo Xalpa, Xochimilco, D.F.

Fecha muestreo	Determi- nacio- nes	Prof cm	Color		D A	D R	%EP	Textura			pH		% H <sub>2</sub> O	% M O	% C	% N	R C/N	P ppm	C I C T meq 100g/s	Ca <sup>++</sup> ppm	Mg <sup>++</sup> ppm	K <sup>+</sup> ppm
			Seco	Húmedo				% Arena	% Limo	% Arcilla	H <sub>2</sub> O	KCL										
10-VI-83		0-20	10 YR 5/3 pardo	10YR3/4 pardo amarillo oscuro	1 2	2 0	40.0	53	26	21	6 2	5 4	1 5	0 7	0 0 7	1 0 7	1 0 6	1 1 5	6 5 0	1 0 0	9 0	
18-VIII-83		0-20	10 YR 5/3 pardo	10YR3/4 pardo amarillo oscuro	1 1	1 9	38 5	67	20	13	6 3	5 3	1 9	1 1	0 1	1 0	5 8	1 3 6	6 2 0	9 0	8 0	
11-VII-84		0-20	10 YR 5/3 pardo	10YR 3/4 pardo amarillo oscuro	1 1	2 3	49 6	72	19	9	6 2	5 4	1 7	0 9	0 1	1 2 2	4 4	1 6 1	6 0 0	8 5	8 5	

Cuadro 5. Resultados de las determinaciones físicas y químicas después de aplicado el lirio acuático y estiércol en los lotes correspondientes a la parcela experimental de San Mateo Xalpa, Xochimilco, D.F.

Fecha muestreo	Determi- nacio- nes	Prof.	Color		D.A.	D.R.	%EP	Textura			pH		% M.O.	% C	% N	% R C/N	P ppm	CICT meq 100g/s	Ca <sup>++</sup> ppm	Mg <sup>++</sup> ppm	K <sup>+</sup> ppm		
			Seco	Húmedo				% Arena	% Limo	% Arcilla	H	O											
10-VI-83		0-20	10 YR 5/3 pardo	10YR 3/4 pardo amarillo oscuro	1.2	2.3	47.8	54	25	21	6.2	5.1	1.5	0.9	0.1	12.4	10.2	16.3	630	90	100		
								migajón arcillo arenoso															
18-VIII-83		0-20	10 YR 5/3 pardo	10YR 3/4 pardo amarillo oscuro	1.1	1.8	41.8	65	23	12	6.3	5.2	1.8	1	0.9	11	5.2	14.9	620	90	90		
								migajón arenoso															
11-VII-84		0-20	10 YR 5/3 pardo	10YR 3/4 pardo amarillo oscuro	1.1	2.3	51.9	66	21	13	6.4	5.4	1.7	1	0.1	12.3	5.2	18.1	610	95	95		
								migajón arenoso															

Cuadro 6. Producción obtenida por tratamiento

Tratamiento	Cultivo	Papa (kg/m <sup>2</sup> )	Avena (kg/m <sup>2</sup> )
Lirio-suelo		1.208	3.06
Lirio-estiercol		0.768	1.9
Suelo			
Suelo (testigo)		1.155	1.83

## ESTUDIO DEL USO DEL LIRIO ACUATICO PARA LA PURIFICACION DEL AGUA RESIDUAL

Mauricio Rico Martínez  
Miguel A. Sánchez Cruz y  
Abelardo Figueroa Mendiola  
Comisión del Lago de Texcoco-SARH

### Resumen

Una de las acciones que desarrolla la Comisión del Lago de Texcoco es regular los efectos contaminantes de las aguas residuales de tipo doméstico captadas principalmente del sur de la Cd. de México a través de los ríos Churubusco y de la Compañía.

Superar y reducir los problemas asociados a la contaminación constituyen la función social de la Comisión, que mediante el proyecto denominado "Estudio del uso del lirio acuático para la purificación del agua residual" induce el manejo y tratamiento de las aguas negras mediante el sistema de plantas acuáticas, en este caso el lirio acuático (Elchhornia crassipes) contribuyendo, con un nuevo enfoque, a la regeneración de la zona del ex-lago de Texcoco.

Este sistema de tratamiento aprovecha la acción depuradora de la planta, contribuye al saneamiento de la zona y permite incursionar en el reúso del agua tratada mediante el sistema de lagunas de estabilización, lo que puede significar un importante ahorro de agua blanca y evitar la sobreexplotación del acuífero.

### Introducción

En los últimos años han ocurrido avances significativos en el funcionamiento de los sistemas biológicos de tratamiento de aguas residuales. Los estudios en el campo de los procesos biológicos mediante lagunas de tratamiento, permiten establecer la capacidad de los ecosistemas para mejorar la calidad del agua residual.

En las publicaciones sobre las lagunas existen interrogantes que complican al Ingeniero sanitario obtener la adecuada concepción de los proyectos, carencia que los obliga a implantar sistemas de tratamiento piloto para adquirir la información básica necesaria para mejorar el diseño, construcción y operación de plantas de tratamiento con base en lagunas. No obstante que los resultados

de las investigaciones son difíciles de comparar y adoptar, despejan interrogantes sobre el comportamiento de los sistemas de tratamiento locales. »

Existen diferentes tipos de sistemas de estabilización de aguas residuales: lagunas de aguas negras, de oxidación, redox, de maduración, facultativas, aerobias y anaerobias; algunos de estos sistemas con equipo mecánico adicional.

Desde hace tiempo se ha utilizado el lirio acuático como método de tratamiento para clarificar efluentes secundarios; sin embargo, hasta el momento no se han descrito métodos de diseño para aguas crudas e influentes primarios, ni considerado como una alternativa de tratamiento biológico de aguas residuales frescas.

La finalidad del proyecto denominado "Estudio del uso del lirio acuático para la purificación del agua residual" es, desde 1984, comparar dos sistemas de tratamiento: el biosistema (compuesto por el lirio acuático Eichhornia crassipes y agua residual del río Churubusco) y una laguna facultativa. El experimento se llevó a cabo considerando para cada sistema sus parámetros de operación expuestos a condiciones climatológicas iguales; el influente para los dos sistemas fue agua de las mismas características físico-químicas y bacteriológicas, y cada sistema constó de dos lagunas de dimensiones y forma geométrica similar.

El objetivo básico del estudio del lirio acuático es realizar la determinación de la constante de decaimiento bacteriano, y determinar el parámetro theta Arrhenius para verificar que el ecosistema del lirio acuático funciona como método de tratamiento de aguas residuales.

#### Descripción general del sistema de tratamiento

La evaluación del sistema general de tratamiento se basó en la verificación y cuantificación de la habilidad del lirio acuático para remover contaminantes difíciles de eliminar por procedimientos biológicos de tratamiento. Las referencias bibliográficas indicaban su capacidad para eliminar metales y nitrógeno, en menor proporción materia orgánica y el fósforo limitado a la cantidad que absorbe la planta. Estas características fueron comprobadas cualitativamente en 1982 y 1983, en el sistema de laguna piloto.

En 1984 se realizaron las modificaciones hidráulicas necesarias para implantar dos sistemas independientes de tratamiento, el primero se destinó para la investigación del ecosistema del lirio acuático como método de tratamiento, y al segundo un sistema del tipo facultativo.

El sistema de lagunas piloto se localiza al sur del ex-lago de Texcoco, al sureste de la obra de toma de la planta de tratamiento de aguas negras, paralela y perpendicular a los ríos Churubusco y de la Compañía, respectivamente.

Para captar aguas negra fresca directamente de la planta de tratamiento se construyó un sistema que se inicia en el cárcamo de bombeo con una conexión en el múltiple del sistema de bombeo de la planta y que incluye una reducción de 30 a 8" de diámetro de la línea de conducción, controla el flujo con una válvula de compuerta y reduce la línea, inmediatamente después de la válvula, de 8 a 2" de diámetro hasta el borde exterior del sistema, donde mediante una "Y", se bifurca el gasto a los dos sistemas de tratamiento.

En las láminas 1 y 2 se muestran el sistema general de las lagunas piloto y el diagrama de flujo general del sistema respectivamente.

#### Descripción de las lagunas piloto

El sistema de las lagunas piloto consta de cuatro lagunas rectangulares simétricas con las siguientes dimensiones: 54 m de largo por 36 m de ancho; área superficial de 1,944 m<sup>2</sup> y con sistema de variación de tirante de 1.0 a 1.5 m. Las cuatro están conectadas hidráulicamente con tubería mixta de acero y PVC de 4" de diámetro, por lo que pueden funcionar en serie como un sistema de cuatro lagunas o en paralelo con dos módulos de tratamiento con dos lagunas cada uno. Para este estudio funcionó en paralelo. La construcción del sistema general de tratamiento se realizó sobre el terreno natural (salino sódico), con permeabilidad mínima.

#### El lirio acuático Elchhorniae crassipes

El lirio acuático es una planta vascular flotante, sus raíces se extienden hasta 70 cm bajo el agua y proveen de un hábitat adecuado a una infinidad de variedades de organismos. Es resistente a enfermedades y puede vivir en aguas negras crudas, es sensible a la salinidad y bajas temperaturas.

Por sus características de planta flotante, primero se determinó su capacidad para adaptarse a las condiciones del ex-lago de Texcoco y ser utilizada como sistema de tratamiento de aguas negras.

La adaptación de la planta a las condiciones climatológicas locales y a las características físico-químicas y bacteriológicas de las aguas residuales que cruza el ex-lago de Texcoco se llevó

a cabo en dos años; en ese periodo presentó un amarillamiento paulatino debido a las condiciones salinas de las aguas residuales y del suelo, que afectan la planta y pueden causarle la muerte total o parcial; es decir, a algunas de sus partes (hojas, glóbulos, tallos, etcétera).

Para solucionar este problema se experimentó la aclimatación con diversos clones que simularan una multiplicidad genética en la prueba, puesto que al verse afectados por las críticas condiciones del que sería su hábitat (alto contenido de sodio, altas y bajas temperaturas), por selección artificial fueran eliminados los menos resistentes al sodio. El resultado es un lirio resistente al sodio y con alta velocidad de desarrollo.

### Empleo del lirio acuático

Debido a su crecimiento acelerado e incontrolado, el lirio forma una capa densa que impide penetrar la luz solar que reduce la actividad fotosintética de las algas; consecuentemente, disminuyen las bacterias aeróbicas, lo que se manifiesta en una disminución de los sólidos suspendidos volátiles. Al disminuir la cantidad de algas y bacterias presentes en el agua, la turbiedad y el color disminuyen. Otra consecuencia del tratamiento en ausencia de algas es la reducción de los carbonatos y simultáneamente el incremento de los ácidos orgánicos, lo que ocasiona una disminución en el pH.

El desarrollo del lirio acuático requiere nutrientes diversos como sodio, potasio, calcio, magnesio, cloruros, fosfatos, sulfatos, nitratos, etc., que absorbe e incorpora a su biomasa y que están presentes en el agua cruda en menor o mayor proporción. Para equilibrar este fenómeno es necesario cosechar continuamente la planta; de no hacerlo, el lirio presentaría zonas necróticas que, en lugar de tratar el agua, la ensuciarían liberando los iones absorbidos.

Las sustancias orgánicas difíciles de tratar por medios biológicos como las "sustancias activas al azul de metileno", conocidas comúnmente como detergentes y fenoles, son absorbidas por el lirio (detergentes) y las acumula e integra mediante un mecanismo de su ciclo metabólico; degrada, en cambio a los fenoles mediante un mecanismo lineal en un sistema de flujo disperso.

Elimina las bacterias patógenas y a la cuenta standard por competencia, debido a que la planta tiene mayor contacto con los nutrientes presentes en el agua y que no se mantiene pH altos, ni es posible la penetración de la luz como en las lagunas facultativas.

### Operación general del sistema

En 1982 se inició la experimentación del uso del lirio acuático en el tratamiento del agua residual. En el período de enero-abril se construyó el Sistema de Lagunas Piloto, cuya operación se inició en serie como un sistema de cuatro lagunas. Los parámetros de operación fueron alimentación o gasto de entrada a 1.0 l/s, tiempo de retención de 25 días por laguna y tirante hidráulico de 1.0 metros.

Fue difícil aclimatar el lirio seleccionado y trasladado de los canales de Xochimilco al ex-lago de Texcoco. El sistema de tratamiento utilizó aguas negras del río Churubusco y 100 kg de lirio acuático de siete variedades, con los cuales se llegó a cubrir 10 por ciento de la primera laguna y 70 por ciento de la segunda.

En la etapa experimental se confirmaron cualitativamente ciertas bondades de la planta acuática en el tratamiento del agua residual, mediante los muestreos y análisis correspondientes. Los sitios seleccionados fueron: el influente de agua cruda, un intermedio de agua pretratada y el efluente de agua tratada de cada laguna. Por las bajas temperaturas invernales que se presentan en el ex-lago de Texcoco, el lirio de la segunda laguna pereció; y el de la primera laguna sólo se recuperó una área aproximada de 20 m que continuó adaptándose.

### Adaptación y estabilización del sistema

En el período de enero-abril de 1984 se realizaron las modificaciones hidráulicas y se reinstaló el sistema de bombeo y la línea de conducción de agua negra (influyente). Posteriormente, de mayo a junio, se inició la estabilización de los dos sistemas de tratamiento, actividad necesaria debido a que únicamente por medio de una motobomba se mantenía el flujo en la primera laguna, que contenía el lirio acuático. En las tres restantes lagunas el nivel del agua bajó considerablemente incrementándose por consiguiente la concentración de las sales. En esta etapa se realizó un lavado de las lagunas hasta lograr el equilibrio deseado en ellas.

Desafortunadamente, en épocas de estiaje, el poco caudal del río Churubusco provoca que el nivel de agua negra sea bajo en el cárcamo de bombeo, cuya consecuencia son los problemas derivados de la obstrucción frecuente de la motobomba. En septiembre de 1987, se modificó el sistema de captación de aguas negras; es decir, se utilizó el sistema de bombeo de la planta de tratamiento de Lodos Activados, que mediante una línea de 2" se conectó al múltiple de la planta para controlar mediante una válvula de compuerta y asegurar un flujo continuo de agua cruda.

Así, el sistema sólo se ve afectado cuando la planta tiene que parar su sistema de bombeo por alguna causa de mantenimiento, lo que no sucede con frecuencia, por lo tanto, el sistema de captación de aguas negras de las lagunas piloto presenta, respecto de su estabilidad, una confiable operación.

#### Operación del sistema

En agosto de 1984, los dos sistemas operaban de acuerdo con sus parámetros. En la lámina 2 se ilustra el diagrama de flujo del sistema general. El agua residual del río Churubusco, como ya se ha descrito, es captada de la línea de conducción de la planta de tratamiento de lodos activados en el cárcamo de bombeo localizado a 120 m de distancia de las lagunas, la línea de conducción es de PVC de 2" de diámetro, protegida con tubería de fierro de 4" de diámetro; al llegar al bordo exterior del sistema, esta línea tiene una derivación en forma de "Y" antes de descargar a las lagunas primarias de cada sistema y cuenta con una válvula para el control del influente de agua negra. Con la inducción del agua en cada sistema se inicia el tratamiento, por medio de tubería mixta de acero y PVC de 4" de diámetro se conecta con las lagunas secundarias, que se ubica en el vértice opuesto tanto al influente como al efluente de cada sistema.

#### Parámetros de operación

Los parámetros de operación que prevalecieron en los sistemas de tratamiento se describen a continuación:

##### Sistema con lirio acuático

Alimentación	1.0 - 1.2 lps
Tirante hidráulico	1.2 m
Tiempo de retención por lagunas	13.0 días

##### Sistema facultativo

Alimentación	1.4 - 1.6 lps
Tirante hidráulico	1.2 m
Tiempo de retención por laguna	10.5 días

Para lograr el equilibrio en el sistema de tratamiento por medio de lirio acuático fue necesario cosechar de 50 a 60 m semanalmente, actividad que se llevó a efecto extrayendo una franja de 2.0 m de espesor a todo lo largo de cada laguna y en el efluente de cada laguna.

## Obtención de muestras y análisis

Para cuantificar la eficiencia de remoción de los dos sistemas de tratamiento, se realizaron 10 series de muestreos y análisis, en el influente general y los efluentes de cada sistema. Se eligieron 33 parámetros para análisis físico-químico y bacteriológico. Respecto de la planta acuática se realizaron únicamente dos series de muestreos en los sitios cercanos al influente y al efluente de cada laguna. Se seleccionaron 17 parámetros físico-químicos para su análisis. Los muestreos y análisis del agua y lirio acuático se efectuaron en un lapso de dos meses.

## Resultados

En el cuadro 1, denominado Remoción de parámetros físico-químicos, se reportan 27 análisis procesados de los muestreos de cada sistema. De los resultados de las lagunas de lirio acuático, sólo seis parámetros no presentaron eficiencia de remoción, en tanto que en las lagunas facultativas el número ascendió a 13.

La eficiencia de remoción del tratamiento con lirio acuático se halló en los iones comunes relacionados con la salinidad. El tratamiento de nitrógeno en todas sus formas fue excelente. Respecto de los metales pesados difíciles de eliminar, la eficiencia de remoción fue bastante aceptable, el valor más significativo fue de 52.13% respecto de las sustancias activas al azul de metileno, contaminante conocido como detergente no biodegradable.

En el sistema facultativo se observan deficiencias en el tratamiento de los iones comunes, que se correlacionan con la salinidad, efecto producido por la evaporación y disolución de las sales presentes en el suelo. La eficiencia de remoción del nitrógeno amoniacal presentó óptimos resultados, así como también los elementos pesados o metálicos, debido a que éstos se precipitan en forma de carbonatos o hidróxidos, puesto que en el sistema prevaleció un pH superior a ocho unidades. En el caso de los detergentes la remoción fue mínima.

En el cuadro 2, se presenta la eficiencia en la remoción de parámetros biológicos. Se incluye la DQO (demanda química de oxígeno) que no es parámetro biológico pero se relaciona con ellos. En el sistema de lirio acuático, todos los parámetros indican eficiencia superior a 50%, remoción que supera la magnitud esperada. La eficiencia de remoción de enterobacterias es excelente.

Los resultados de los parámetros biológicos en el sistema facultativo confirmaron e incrementaron la eficiencia de remoción de las enterobacterias; los demás análisis demostraron deficiencias, debidas quizás a que los parámetros de operación no fueron los adecuados o existieron errores en el muestreo o análisis.

### Conclusiones

- Las referencias indicaban pérdidas por evaporación y transpiración en el sistema con lirio acuático de 15% de agua. Las pérdidas reales del sistema oscilaron entre 40 y 50 por ciento.

- Por la pérdida de agua, el sistema con lirio acuático incrementó la concentración de los parámetros físico-químicos y bacteriológicos. Sin embargo, la eficiencia de remoción en general fue confiable y aceptable.

- Para la eliminación de iones como el sodio, potasio, cloruros, etc., el periodo de cosecha debe ser corto. Para los metales pesados como el plomo, fierro, etc., es preferible adoptar intervalos prolongados de cosecha.

En la parte superficial de las lagunas con sistemas de lirio acuático se presenta un flujo superficial de microrremansos, fenómeno que favorece la ovidepositación de larvas de insectos, lo que es problemático.

- Las sustancias activas al azul de metileno, denominadas detergentes (el más común es el "dodecil-bencen-sulfonato de sodio", molécula de cadena ramificada y no biodegradable) son degradados por el ecosistema del lirio acuático de manera lenta; el mecanismo se desconoce, pero es factible que se relacione con la formación bentónica en la laguna. El dato de remoción de 52.15% puede ser mejorado evitando la evapotranspiración.

- Una laguna con lirio acuático sin cosechar programada y realizada no es útil como desionizante de aguas.

Para incrementar la eficiencia del sistema facultativo en general, debe mejorarse su operación, considerando tiempos de retención menores y aumentando el tirante hidráulico.

- Debido a las condiciones salino-sódica del suelo y a las características salinas de las aguas negras que cruzan el ex-lago de Texcoco, es posible que el efluente de sistemas facultativos y aerobios del tipo lagunar limite el reúso del agua en la agricultura.

Se ha experimentado el reúso del efluente del sistema facultativo en parcelas sobre el terreno natural salino-sódico, de las que se obtuvieron resultados aceptables puesto que se han desarrollado el betabel (Beta vulgaris); la remolacha (Beta vulgaris) y el rábano (Raphanus sativus).

- La calidad del efluente del sistema con lirio acuático es aceptable para el riego agrícola. Al igual que el sistema facultativo debe considerarse más a fondo debido a su alto contenido de algas, que al incorporarse al suelo serían nutrientes ricos.

- La problemática y costos del sistema de lirio acuático es la cosecha y la disposición final de la planta acuática, que no se podría aprovechar induciéndola en el suelo con el propósito de mejorar su calidad.

- Estos sistemas de tratamiento de aguas negras conservan interrogantes sobre los parámetros óptimos de operación enfocados a las condiciones reales del ex-lago de Texcoco.

### Recomendaciones

- Es sumamente importante continuar las investigaciones y experimentos sobre tratamiento de aguas residuales mediante el sistema de lagunas piloto.

- Determinar los parámetros óptimos de los sistemas de tratamiento y programar e incrementar su uso para aprovecharlos.

- Implantar un sistema de tratamiento con lirio acuático que impida el contacto suelo-agua, además de que permita el paso de la luz solar y la recuperación del agua producto de la evapotranspiración.

- Experimentar en forma simultánea el reúso del agua residual tratada de los dos sistemas de tratamiento, utilizando las mismas especies y condiciones de suelo, además de suministrar igual cantidad de agua.

- Para evitar la ovidepositación de larvas de insectos, debe investigarse y experimentarse la posible inducción de peces o anfibios predadores de larvas.

Continuar los experimentos para predecir modelos matemáticos que permitan determinar diseños óptimos de lagunas de lirio acuático en que se puedan conciliar el diseño, la predicción de efluente y el mejoramiento del diseño-operación de las lagunas.

## BIBLIOGRAFIA

Gloyna, Earnest E., Estanques de estabilización de aguas residuales, Ginebra, Organización Mundial de la Salud, 1979.

SARH, Estudio del uso del lirio acuático para la purificación del agua residual, México, Comisión del lago de Texcoco, 1982. (Inédito).

Yáñez Cossio, F. Manual de métodos experimentales, evaluación de lagunas de estabilización, Lima, Cepis-OMS, s.f.

Lámina I. Sistema de lagunas piloto

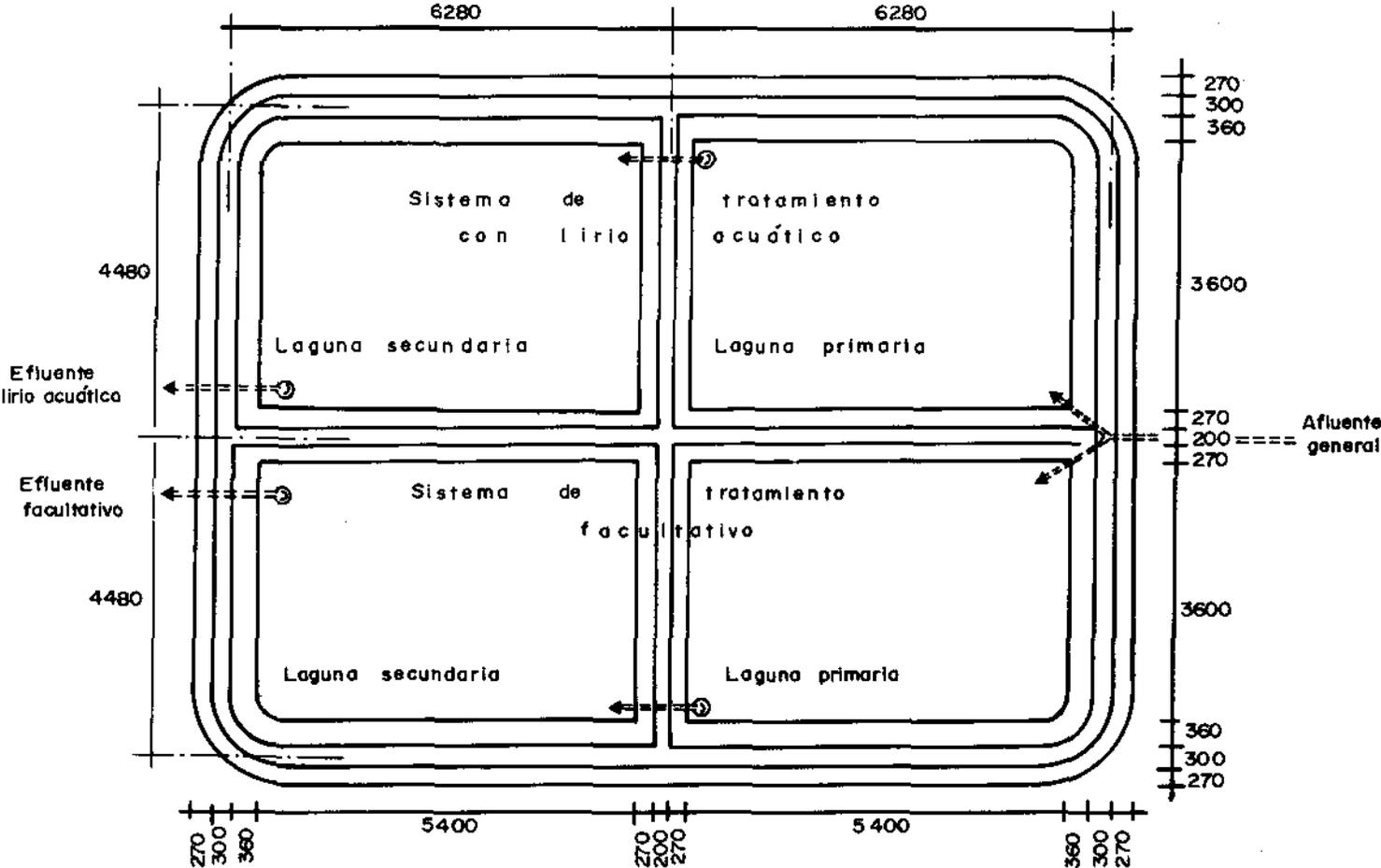
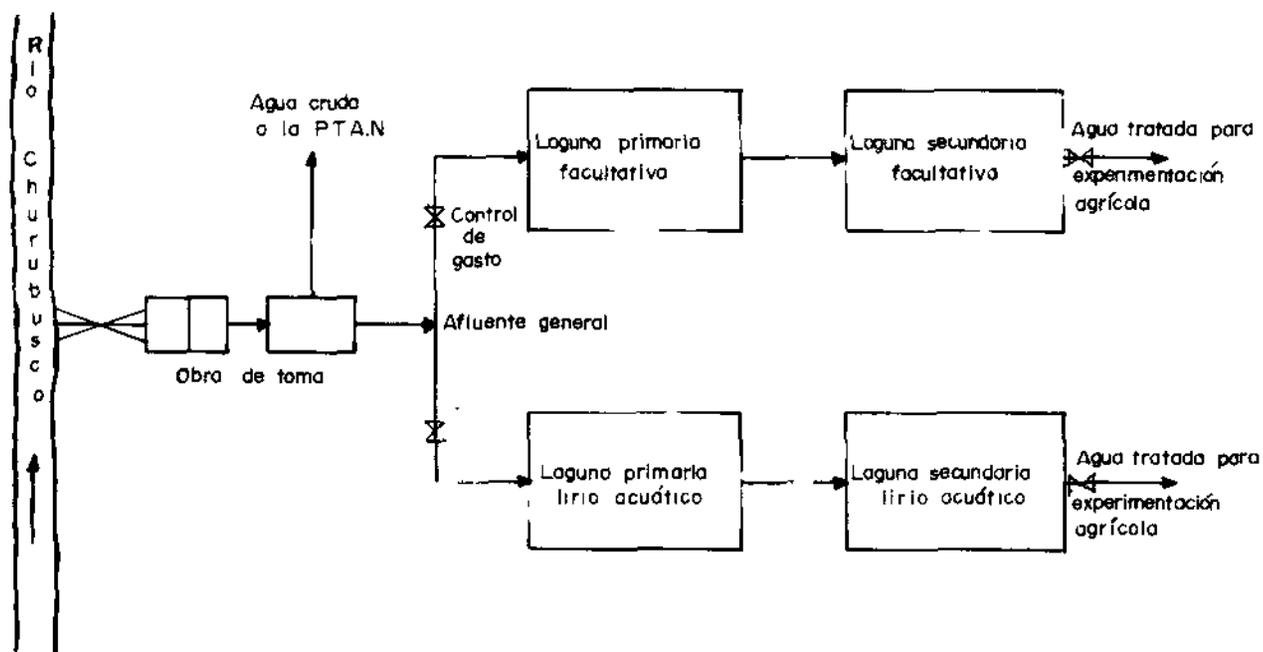


Lámina 2. Diagrama de flujo Sistema lagunas piloto



adro 1. Remoción de parámetro físico-químico

Parámetro	Unidad	Influente			Rfluente del Sistema		% de Eficiencia de remoción	
		General	Lirio Acuático	Facultativo	Lirio Acuático	Facultativo	Lirio Acuático	Facultativo
pH	Potencial de hidrógeno		8.19	7.55	9.56		+ 7.97	- 16.71
CE	Conductividad eléctrica	µmhos/m	1414.90	1483.60	2261.30		- 4.85	- 59.82
	Turbiedad	UTJ	272.60	< 25.00	259.10		+ 98.83	+ 4.95
SSV	Sólidos suspendidos sól.	mg/l	108.00	11.78	217.78		+ 89.09	-101.65
SDT	Sólidos disueltos totales	mg/l	1366.40	1520.40	2056.60		- 11.27	- 50.51
	Dureza Total	mg/l	210.57	180.27	158.68		+ 14.38	+ 24.64
Ca	Calcio	mg/l	114.80	101.41	91.16		+ 11.66	+ 20.59
Mg	Magnesio	mg/l	94.76	78.86	67.59		+ 16.78	+ 28.68
Cl	Cloruros	mg/l	227.58	207.64	394.56		+ 8.76	- 73.37
SO4	Sulfatos	mg/l	112.77	125.92	193.84		- 11.66	- 71.89
Na	Sodio	mg/l	312.47	381.41	625.74		- 22.06	-100.25
K	Potasio	mg/l	44.39	11.12	79.08		+ 61.43	- 78.15
	Alcalinidad total	mg/l	436.70	466.04	666.35		- 6.71	-52.36
	Nitrógeno total	mg/l	16.75	4.37	18.37		+ 73.91	- 9.67
KH3	Nitrógeno amoniacal	mg/l	9.73	< 0.05	<0.05		+ 99.99	+ 99.99
	Nitrógeno orgánico	mg/l	8.20	4.37	18.37		+ 46.70	-124.02
	Fosfatos totales	mg/l	29.54	14.94	10.30		+ 49.42	+ 65.13
SAA	Detergentes	mg/l	6.04	2.89	5.94		+ 52.15	+ 1.65
Pb	Plomo	mg/l	0.00036	0.00031	0.00012		+ 13.89	+ 66.66
B	Boro	mg/l	1.184	1.29	2.66		- 8.95	-124.66
Cu	Cobre	mg/l	0.0039	0.012	0.017		+ 69.23	+ 56.41
	Grasas y aceites	mg/l	29.54	12.39	15.63		+ 58.05	+ 47.08
Fe	Hierro	mg/l	1.669	0.474	0.0867		+ 71.60	+ 94.80
Al	Aluminio	mg/l	0.709	0	0		+100.00	+100.00
Zn	Zinc	mg/l	0.0872	0.157	0.0279		+ 81.99	+ 68.00
Ni	Niquel	mg/l	0.012	0.0111	0.015		+ 47.50	- 25.00
Mn	Manganeso	mg/l	0.111	0.0144	0.0144		+ 87.03	+ 87.03

Cuadro 2. Remoción de parámetros biológicos

No.	Parámetro	Unidades	Influyente General	Efluente del Sistema		% de Eficiencia de remoción	
				Lirio Acuático	Facultativo	Lirio Acuático	Facultativo
1	Demanda bioquímica de oxígeno soluble (DBO 5S)	mg/l	80.50	25.66	89.33	+ 68.12	- 10.96
2	Demanda bioquímica de oxígeno total (DBO 5T)	mg/l	108.00	50.50	144.00	+ 53.24	- 33.33
3	Demanda bioquímica de oxígeno soluble (DBO 7S)	mg/l	108.36	53.10	226.40	+ 51.00	- 108.90
4	Demanda bioquímica de oxígeno total (DBO 7T)	mg/l	137.83	62.28	266.20	+ 54.81	- 93.13
5	Demanda química de oxígeno soluble (DQO S)	mg/l	251.20	11.27	337.67	+ 52.51	- 39.42
6	Demanda química de oxígeno total (DQO T)	mg/l	357.33	138.71	402.29	+ 61.18	- 12.58
7	Coliformes totales (NMP)	Col/ml	369750	2405	610	+ 99.35	+ 99.85
8	Cuenta standard	Col/ml	3352500	72325	12525	+ 97.84	+ 99.63

ANEXO 5. Lista de participantes en el seminario

Ing.	Félix Morazan Espinal	CFE
BIÓL.	Luis Antonio Chang Wong	IMTA
BIÓL.	Pablo M. Florencio Dávalos	IMTA
BIÓL.	Miguel Angel Fernández Olivera	IMTA
CPT.	Alejandro García Arteaga	CORPIC
Ing.	Alfredo Sánchez de Anda	CORPIC
Ing.	Anne Patricia Martínez Bolívar	CORPIC
BIÓL.	Froilán Esquinca Cano	DDF
BIÓL.	Victor Olivera Viascán	IMTA
Ing.	Francisco Romero Luna	IMTA
BIÓL.	Guillermo Díaz Zavaleta	IMTA
BIÓL.	Luis Alberto Bravo Inclán	IMTA
BIÓL.	Eric Daniel Gutiérrez López	IMTA
Geo.	José Manuel Espinoza Rodríguez	IMTA
Ing.	Servando Castillo Romano	IMTA
Ing.	Luis Felipe Robles González	IMTA
BIÓL.	José Javier Sánchez Chávez	IMTA
BIÓL.	Fernando Gamundi Aguirre	IMTA
C.	Juan Cenobio Morales	IMTA
Lic.	Margarita Soto Alvarado	SORE
Ing.	Alejandro Félix Hernández	METROPOLI
BIÓL.	Sergio Arellano Ortega	SARH
BIÓL.	Roberto Fabela Espinoza	SARH
Ing.	Jorge Luis Gaspard Domínguez	SARH
BIÓL.	Jorge Vidal López	DCA
Ing.	José Monsalvo Trujano	SARH
Ing.	Antonio Avalos Rodríguez	SARH
Dr.	Jorge Aguirre Martínez	SIH
Ing.	Rodrigo Murillo Fernández	IMTA
BIÓL.	Roberto Rangel Martínez	SIA
BIÓL.	Mauricio Rico Martínez	CLT
BIÓL.	Amira Solano Azar	DCA
MVZ.	Eliseo Alcántara S.	SARH
BIÓL.	Héctor Romero Rodríguez	CEL
Ing.	Enrique Simón González	SARH
Ing.	Javier Calderón Bazaldúa	SARH
BIÓL.	Patricia Molina Arcos	SARH
BIÓL.	Lucía Nohemí Mendoza Benítez	SARH
BIÓL.	Martha S. Niño Sulowska	SEDUE
BIÓL.	Ma. Guadalupe Hernández Paz	SEDUE
BIÓL.	Francisco Antonio Cruz Santiago	SEDUE
BIÓL.	Javier González Hernández	SEDUE
BIÓL.	Ma. del Socorro Vargas y Vargas	SEDUE
Quím.	Josefina Lara Hernández	SEDUE
BIÓL.	Irma Sonia Franco Martínez	SEDUE
Ing.	J. Gualberto Limón Macías	SIAPA
Ing.	Enrique Simón González	SARH
Lic.	Enrique Soto Reséndiz	SORE

Lic. Enrique Soto Alvarado	SORE
CP. Abel Hernández González	SORE
Lic. Héctor Álvarez Iturbe	SORE
C. Roger Kenyon	TIEX
Ing. Javier Cárdenas Silva	TIEX
Ing. Florina Ramírez Vives	UAM
Ing. Oscar Monroy Hermosillo	UAM
Ing. Manuel Fuentes Díaz	UAM
BIÓL. Herve Macaric	UAM
BIÓL. Gisela Silva Gutiérrez	UAM
C. Catalina Reina Ruiz	UAM
C. Salvador Ruiz Mejía	UAM
BIÓL. Margarita Salazar González	UAM
Ing. Octavio F. González Castillo	UAM
BIÓL. Beatriz S. Schettino Bermúdez	UAM
BIÓL. Jaime Raúl Bonilla Barbosa	UAM
MVZ. Ismael Escamilla Gallegos	UNAM
BIÓL. Luis Alejandro Novelo Retana	UNAM
Dr. Antonio Lot Helgueras	UNAM
Ing. Artemio Morales Pérez	SARH

**ANEXO 6. Lista de trabajos presentados en el seminario**

**Biología y ecología del lirio acuático**

BIÓL. Víctor Olivera Viascán

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua-SARH

**Infestación y problemática del lirio en ecosistemas acuáticos**

BIÓL. Guillermo Díaz Zavaleta

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua-SARH

**Principios básicos de limnología/eutroficación**

Dr. Gualberto Limón Macías

SIAPA/GUAD

**Modelos matemáticos de crecimiento del lirio y políticas de control**

M. en I. Francisco Romero Luna

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua-SARH

**Técnicas de evaluación del lirio acuático: crecimiento, cobertura, densidad, otros**

BIÓL. Eric. Gutiérrez López

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua-SARH

**Análisis bromatológicos y propiedades nutricionales del lirio**

Dr. Ismael Escamilla Gallegos

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia/UNAM

**Técnicas para el levantamiento de inventario de malezas acuáticas por percepción remota**

Fis. Miguel Medina García

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua-SARH

**Experiencias del control mecánico del lirio en la presa Valsequillo, Puebla**

Ing. José Monsalvo Trujano

Dirección General de Normatividad Pecuaría-SARH

**Cosechadora aquamarine**

Ing. Anne Patricia Martínez Bolívar

CORPIC, S.A.

**Experiencias del control mecánico del lirio en la presa Valle de Bravo, Edo. de México**

Ing. Absalón Domínguez

Comisión de Aguas del Valle de México-SARH

Experiencias de la picadora para el control mecánico del lirio en la presa Requena, Hidalgo  
Lic: Enrique Soto Reséndiz  
Compañía Constructora Hidalgo, S.A.

El uso de herbicidas en canales de riego para el control de malezas acuáticas  
Ing. Alejandro Félix Hernández  
Metropoll, S.A.

Experiencias de la CFE en el control de lirio en embalses  
Ing. Juan José Vázquez  
Comisión Federal de Electricidad

El escarabajo moteado como agente de control biológico del lirio acuático  
Biól. Héctor Romero Rodríguez y Fis. José Luis Ortiz Agullar  
Centro de Estudios Limnológicos-SARH

Experiencias del control y aprovechamiento del lirio acuático en los canales de Xochimilco, D.F.  
Biól. Froilán Esquinca Cano, Biól. Laura Tapia Maruri, Biól. Alejandro Gutiérrez Marcos, Biól. Luis Javier Herrera Muñoz y Biól. Antonio M. Martínez Cárdenas  
Departamento del Distrito Federal

El pez Amur como agente de control biológico del lirio acuático  
Biól. Héctor Romero Rodríguez y Fis. José Luis Ortiz Agullar  
Centro de Estudios Limnológicos-SARH

Experiencias en el aprovechamiento del lirio acuático como alimento para ganado en la presa Vaisequillo, Puebla  
Ing. José Monsalvo Trujano  
Dirección General de Normatividad Pecuaria-SARH

Aprovechamiento del lirio acuático como mejorador de suelos  
Biól. Gabriela Carlos Hernández  
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua-SARH

Consideraciones teóricas para la obtención de biogas a partir del lirio acuático  
Ing. Oscar Monroy Hermosillo, Ing. Florina Ramirez Vives, Adalberto Noyola R, Jean P Guyot  
Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa

Estudio del uso del lirio acuático para la purificación de agua residual  
Ing. Mauricio Rico Martínez, Ing. Miguel A. Sánchez Cruz e Ing. Everardo Figueroa Mendivil  
Comisión del Lago de Texcoco-SARH

**Antecedentes sobre el aprovechamiento del lirio acuático**  
**BIÓI. Martha Niño Sulkowska**  
**Instituto SEDUE**

## Publicaciones del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

### SERIE DIVULGACION

1986-1987

*Presentación del IMTA* (memoria)

*Don Aurelio Benassini V. (1907-1986)* (homenaje)

*Legislación Federal en Materia de Aguas* \*\*

*Atlas físico de las cuencas de los ríos internacionales entre México y Guatemala*

*Memoria del taller internacional sobre producción de arroz en el trópico húmedo* \*\*

1988

*Agua y Sociedad, una historia de las obras hidráulicas en México*

1. *Las comunidades mayas* \*\*

2. *Estudio de los impactos productivos y sociales de la primera etapa del Proderith* \*\*

3. *Levantamiento detallado de suelos de una microcuenca* \*\*

4. *Memoria del segundo taller internacional sobre producción de arroz* \*\*

5. *Introducción a los métodos numéricos aplicados a la hidráulica* \*\*

6. *Teoría de la catástrofe en hidráulica* \*\*

7. *Diagnóstico de la ganadería bovina en la región Veracruz Centro*

8. *Alternativas para el desarrollo ganadero regional en Veracruz Centro*

9. *Diagnóstico de la ganadería bovina en la región Península de Yucatán* \*\*

10. *Alternativas para el desarrollo ganadero regional en la Península de Yucatán*

11. *Diagnóstico de la ganadería bovina en la región Costa de Chiapas*

12. *Alternativas para el desarrollo ganadero regional en la Costa de Chiapas*

1989

13. *Directrices generales para la formulación del Pronefa en los Organismos Operadores*

14. *Programa Nacional de Control de Pérdidas y Uso Eficiente del Agua*

15. *La casa maya y su solar, oriente de Yucatán* \*\*

16. *La flora más representativa del oriente de Yucatán; sus usos e importancia*

17. *Control del lirio acuático*

18. *Tratado elemental de hidráulica* \*

19. *Diagnóstico de la ganadería bovina en la región Tabasco*

20. *Alternativas para el desarrollo ganadero regional en Tabasco*

21. *Diagnóstico de la ganadería bovina en la región Papaloapan*

22. *Alternativas para el desarrollo ganadero regional en Papaloapan*

23. *Diagnóstico de la ganadería bovina en la región Huasteca* \*

24. *Alternativas para el desarrollo ganadero regional en la Huasteca* \*

25. *Historia de la hidráulica en México. Abastecimiento de agua desde la época prehispánica*

### SERIE DIDACTICA

1986-1987

*Manual de técnicas y análisis fisicoquímicos para agua*

*Técnicas de muestreo y determinación en el campo* \*\*

*Manual de drenaje* \*\*

*Manual de usuarios IMTA-LOG* \*\*

*Microcomputador, operación y apoyos* \*\*

*Las abejas africanizadas en México*

1988

1. *Guía Técnica para la formulación de planes parcelarios de producción y conservación de áreas tropicales* \*\*
2. *Manual de estructuras de aforo de agua de riego*
3. *Metodología de actualización para el diagnóstico de los organismos operadores de agua potable y alcantarillado*

1989

4. *Manual de clasificación, cartografía e interpretación de suelos con base en el sistema de Taxonomía de Suelos* \*
5. *Guía de análisis de finca para sistemas de producción de cártamo, variedad tantoán*
6. *Guía de análisis de finca para sistemas de producción de semilla de soya*

#### SERIE CATALOGOS

*IMTA-TC 1 al 14* (catálogo de las tablas de contenido de las publicaciones que recibe la biblioteca del Centro de Consulta del Agua)

*IMTA-BIB, Represas* (bibliografía temática)

*IMTA-BIB, Riego y drenaje* (bibliografía temática)

*IMTA-ADQ* (catálogo de las adquisiciones que en materia de publicaciones recibe el Centro de Consulta del Agua, agosto 1987-julio 1988)

*Repindex. Índice computarizado de la Red Panamericana de Información y Documentación en Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente* (Repidisca)

\* De próxima aparición

\*\* Agotado

Estos textos pueden consultarse en el Centro de Consulta del Agua del IMTA o bien adquirirse en la Subcoordinación de Información Tecnológica del mismo Instituto. Paseo Cuauhnáhuac 8532, Col. Progreso, C.P. 62550, Jiutepec, Morelos; Tel. 19-43-61 / 19-40-00 ext. 122.

*Control y aprovechamiento del lirio acuático en México* se terminó de imprimir en el mes de septiembre de 1989, en los talleres de Impresores de Morelos, S.A., Calle Ronda 16, Col. Acapantzingo, Cuernavaca, Morelos. La edición consta de 500 ejemplares.