

00344



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

**FACULTAD DE CIENCIAS
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

"LIRIO ACUATICO EN EL LAGO DE CHAPALA, JAL."

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS
(BIOLOGIA DE SISTEMAS Y RECURSOS ACUATICOS)**

P R E S E N T A:

ERNESTO URIBE GÓMEZ



BIOLOGIA

DIRECTOR: M. en C. Eric Gutiérrez López

MEXICO, D. F. 2005

m347259



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Nochi yolihui
Nochi xochiohua
Nochi chichahua

Todo nace,
Todo florece,
Todo madura

“Con dificultad conocemos lo que hay sobre la tierra y a duras penas encontramos lo que esta a nuestro alcance.”

Libro de la Sabiduría.

Nada es incomparable con la gratitud que siento en estos momentos de ver en tantas cosas Tú amor, te veo calmando toda preocupación, pues sólo tu presencia me salva de estar y porque se que las fuerzas me las das tú.

Dedico esta Tesis a mi gran amor, mi esposa Miriam Beth:, por su magia, debido a que siempre me ha ofrecido consejo y aliento cuando más se necesitaba dando así un toque diferente a mi vida.

De igual manera dedico este estudio a mis padres, Lucila Gómez y Alberto Uribe † así como a mis hermanos Víctor, Gabriela, Eduardo y Lucila, a mis sobrinos y a mis suegros Mardonio Arreortua y Flavia Cosmes.



AGRADECIMIENTOS

Me dirijo en forma principal y especial a mi esposa M. en I. Miriam Beth Arreortua Cosmes, a quien hice padecer por la presentación final de este trabajo, pues ella merece mi mayor agradecimiento, por haber entendido mi irascibilidad y desaplicación.

Son importantes las personas que participaron en la elaboración de este trabajo, cada uno apporto ideas, experiencias, que de uno u otro modo influyeron en el enfoque y en su contenido técnico. Sin esa ayuda, este estudio tal vez nunca se hubiera convertido en realidad. Sin embargo, el reconocimiento justo de todas y cada una de esas contribuciones sería una tarea algo difícil.

Pero debe hacerse mención especial de varias colegas y amigos entre las cuales figuran el M. en I. Eduardo Ruiz[©], el M en C. Rubén Huerto[©], el Hidrobiól. Ulises Bucio; quienes invirtieron tiempo y esfuerzo al participar de alguna forma en las actividades de campo y gabinete y con quienes se compartió la experiencia de un trabajo en equipo profesional.

Expreso mi reconocimiento al M. en C. Eric Gutiérrez, por su apreciable dirección y amistad. Al Comité Tutorial conformado por el Dr. Javier Alcocer, el Dr. Javier Álvarez, el Dr. Antonio Lot, el Dr. Jorge López, la Dra. Anne Hanssen y al Dr. Martín Merino por su apoyo, aportaciones y sugerencias a la estructuración del escrito final.

Reconozco el apoyo proporcionado por la Subcoordinación de Hidrobiología y Evaluación Ambiental de la Coordinación de Tecnología de Calidad del Agua del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua al Dr. Felipe I. Arreguín y al Proyecto CONACYT 0768P-B "Control integral del lirio acuático e implicaciones ecológicas en el lago de Chapala".



Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.
NOMBRE: URIBE GÓMEZ ERNESTO

FECHA: 15 - AGO - 2005

FIRMA: 

RESUMEN

El lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) es considerado como una "maleza" y su impacto en los cuerpos de agua cálidos es de alguna manera conocido, pero poco documentado; este estudio fue dirigido a entender la variación espacio/temporal con el fin de reconocer la plasticidad morfológica y definir la relación Evaporación/Evapotranspiración de esta hidrófita en el lago de Chapala, Jalisco,

Se encontró la formación de dos expresiones fenotípicas en las plantas del lirio acuático, debidas a una heterofilia inducida ambientalmente y que es considerada como un tipo de plasticidad morfológica que le da éxito en la sucesión evolutiva del lirio acuático.

La relación de evaporación en superficie libre (8.63 ± 0.87 mm) y la evapotranspiración debida al lirio acuático (7.78 ± 0.46 mm) mostró la relación de 0.928 ± 0.082 lo que significa que ambos parámetros son similares para las condiciones de temperatura, humedad relativa y viento, aunque no se debe descartar que la evapotranspiración esta sujeta al fenómeno del "efecto oasis" y a la advección del calor; donde el primero es una consecuencia de la advección de energía térmica de los hábitats secos adyacentes a las zonas de infestación.

Por lo tanto, se recomienda evaluar en un ambiente controlado los factores que motivan y estimulan la heterofilia, su correlación y de la misma forma en lo relacionado a la evapotranspiración se plantea cuantificar la advección térmica que ocasiona un "efecto oasis" .

Palabras clave: Lirio acuático, Heterofilia, Evapotranspiración, Lago de Chapala.

RESUMEN

El lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) es considerado como una "maleza" y su impacto en los cuerpos de agua cálidos es de alguna manera conocido, pero poco documentado; este estudio fue dirigido a entender la variación espacio/temporal con el fin de reconocer la plasticidad morfológica y definir la relación Evaporación/Evapotranspiración de esta hidrófita en el lago de Chapala, Jalisco,

Se encontró la formación de dos expresiones fenotípicas en las plantas del lirio acuático, debidas a una heterofilia inducida ambientalmente y que es considerada como un tipo de plasticidad morfológica que le da éxito en la sucesión evolutiva del lirio acuático.

La relación de evaporación en superficie libre (8.63 ± 0.87 mm) y la evapotranspiración debida al lirio acuático (7.78 ± 0.46 mm) mostró la relación de 0.928 ± 0.082 lo que significa que ambos parámetros son similares para las condiciones de temperatura, humedad relativa y viento, aunque no se debe descartar que la evapotranspiración esta sujeta al fenómeno del "efecto oasis" y a la advección del calor; donde el primero es una consecuencia de la advección de energía térmica de los hábitats secos adyacentes a las zonas de infestación.

Por lo tanto, se recomienda evaluar en un ambiente controlado los factores que motivan y estimulan la heterofilia, su correlación y de la misma forma en lo relacionado a la evapotranspiración se plantea cuantificar la advección térmica que ocasiona un "efecto oasis" .

Palabras clave: Lirio acuático, Heterofilia, Evapotranspiración, Lago de Chapala.

INDICE		Pág.
1	INTRODUCCIÓN	1
2	OBJETIVOS E HIPÓTESIS	3
3	ANTECEDENTES	4
3.1	<i>Lirio acuático</i>	4
4	MATERIAL Y METODOS	9
4.1	Área de estudio.	9
4.2	Mediciones morfométricas del lago de Chapala, Jalisco.	13
4.3	Aspectos hidráulicos	15
4.4	Factores climatológicos	15
4.5	Evaporación /Evapotranspiración (Eo/ET).	16
4.6	Calidad del agua	20
4.7	Características poblacionales del lirio acuático	20
4.7.1	Densidad y biomasa	22
4.7.2	Cobertura y biomasa total	24
4.7.3	Morfología del lirio acuático	27
5	RESULTADOS Y DISCUSION	28
5.1	Factores hidrológicos	28
5.2.	Factores climatológicos	35
5.2.1	Relación evapotranspiración (Et) y evaporación (Eo).	41
5.3	Calidad del agua.	47
5.4	Característica poblacionales	55
5.4.1	Origen de la infestación de lirio acuático en el lago de Chapala, Jal	55
5.4.2	Análisis del muestreo	58
5.4.3	Dinámica del lirio acuático	59
5.4.4	Morfometría del lirio.	70
6	CONCLUSIONES	81
7	RECOMENDACIONES	86
8	BIBLIOGRAFIA	88

LISTA DE FIGURAS		Pág.
3.1	Lirio acuático (<i>Eichhornia crassipes</i>) (Mart-Solms) Laubach (Lot, 1991)	7
4.1	Localización y batimetría del lago de Chapala, Jal.	11
4.2	Localización de las estaciones de muestreo, meteorológicas y de poblados en el lago de Chapala, Jal.	14
4.3	La ecuación de Penman-Montieth compara la transferencia de agua hacia el ambiente con un circuito eléctrico donde existen resistencias al paso de la corriente de agua.	17
4.4	Clases del lirio acuático presentes de acuerdo a su ubicación en el lago de Chapala, según IMTA-DHTA, 1994.	21
5.1	Diagrama esquemático del sistema hidrológico superficial en el lago Chapala, Jal	28
5.2	Gráfico de áreas totales (A) (Ha) y de capacidades (V)(Mm ³) durante 1995 a 1996 en el lago de Chapala, Jal.	29
5.3	Áreas de inundación lago de Chapala en el transcurso del tiempo.	30
5.4	Gráfico de profundidad (Z) (m) durante 1995 a 1996 en el lago de Chapala, Jalisco.	31
5.5	Flujos promedio anuales de entrada y salida del río Lerma, Río Santiago y del Acueducto Chapala-Guadalajara en el periodo de 1995-1996.	34
5.6	Tiempo de residencia hidráulica (Tw), calculado para el río Lerma, (Relación entre precipitación pluvial y flujo del río Lerma en el lago de Chapala).	34
5.7	Gráficos de precipitación (mm) y temperatura ambiente (°C) promedio mensual en seis estaciones climatológicas del lago de Chapala, Jal.	36
5.8	Gráfico de la radiación solar anual (W m ⁻²) en el lago de Chapala.	37
5.9	Dirección del viento (km h ⁻¹) en cuatro estaciones del lago de Chapala	38
5.10	Intensidad del viento en cuatro estaciones climatológicas del lago de Chapala.	39
5.11	Comportamiento de la Evaporación en superficie libre (Eo), de la Evapotranspiración (Et) y su relación (Et/Eo) en cuatro estaciones del lago de Chapala, Jal.	44

5.12	Anatomía del pecíolo y de la lamina del lirio acuático, donde se pueden apreciar el tamaño de los estomas y los grandes espacios lagunares (aérenquima).	47
5.13	Distribución de las concentraciones promedio de oxígeno disuelto (mgL^{-1}) en el lago de Chapala para los años de 1995 y 1996.	49
5.14	Distribución espacial de las concentraciones promedio de la DBO_5 y la DQO (mgL^{-1}) durante 1995 y 1996 en el lago de Chapala, Jal.	51
5.15	Mapa de distribución del nitrógeno amoniacal y de los nitratos (mgL^{-1}) durante 1995 y 1996 en el lago de Chapala, Jal.	53
5.16	Perfiles horizontales de la distribución del fosfato total (mgL^{-1}) durante 1995-1996 en el lago de Chapala, Jal.	54
5.17	Esquema generalizado de las formas presentes del lirio acuático en el lago de Chapala donde se muestran las plantas de pecíolos angostos y largos de la zona fija (A), como brotes axilares (B), como ramet (C) y como plantas de pecíolos cortos y globosos de la zona marginal (D). Las estructuras morfológicas son: (Ra) raíces adventicias, (La) lamina foliar, (Pa) Pecíolos angostos, (Pg) pecíolos globosos, (Es) estolón, (Ra) raíces adventicias, (Rz) rizoma, (In) inflorescencia, (Pd) pedúnculo.	60
5.18	Comportamiento de la Biomasa como peso húmedo (kg m^{-2}) de <i>Eichhornia crassipes</i> en el lago de Chapala, Jal.	63
5.19	Área (ha), volumen (Mm^3) y cobertura de malezas acuáticas (lirio acuático y tule) en el lago de Chapala	67
5.20	La disminución de la cobertura del lirio acuático y del tule en el lago de Chapala, se relaciona directamente con el decremento en el área y volumen	69
5.21	Comportamiento y representación de las plantas maduras de lirio acuático. Arriba, representación gráfica de los valores promedio de la longitud de raíz , longitud de pecíolos, número de láminas y área foliar. Abajo, representación diagramática de las láminas de plantas maduras del lirio marginal y del fijo. La lámina de la orilla es pequeña con pecíolos globosos y las del fijo largas y angostas	72
5.22	Graficas de los valores promedio de la longitud de raíz (cm) y de la longitud de los pecíolos (cm) del lirio acuático en sus diferentes zonas del lago de Chapala, Jal	75
5.23	Gráficas de las diferentes zonas del lago de Chapala, Jal. con los valores promedio del número de láminas por planta y del área foliar (cm^2)del lirio acuático.	77

LISTA DE TABLAS		Pág.
3.1	Características del lirio acuático	8
4.1	Parámetros morfométricos del lago de Chapala, Jal.	12
5.1	Comparación de las características morfológicas del lago de Chapala durante el periodo de 1900-1990 -con el periodo de estudio 1995-1996.	32
5.2	Relación Et/Eo obtenida por varios autores en diferentes zonas.	41
5.3	Resumen de los parámetros de calidad del agua en el lago de Chapala durante el periodo de 1995 a 1996.	48
5.4	Tamaño de muestra (N), valores promedio del peso húmedo (kgm^{-2}) por muestreo (\bar{x}), desviación estándar (s), desviación estándar relativa (CV) y el error estándar para los valores de biomasa en el lago de Chapala, Jalisco.	59
5.5	Resumen de las características morfológicas de <i>Eichhornia crassipes</i> en función de su ubicación en el lago de Chapala, Jal.	61
5.6	Registros de biomasa como peso seco (kg m^{-2}) del lirio acuático en diferentes partes del mundo. Gutiérrez, (1995).	64

1. INTRODUCCION

La preservación y la conservación de los sistemas de agua epicontinentales son importantes por los diferentes usos del vital líquido, manteniéndose en estabilidad mientras el sistema terrestre mantenga una condición de equilibrio energético, sin embargo, en el presente se encuentran sometidos a una presión constante por parte del hombre, que incluye entre sus actividades, el excesivo aporte de desechos urbanos, agrícolas e industriales, la deforestación de las cuencas y la introducción de especies exóticas, que en su conjunto favorecen notablemente la eutroficación (Arredondo y Aguilar, 1987).

En este sentido, el lago de Chapala es un cuerpo de agua ambientalmente complejo y de gran importancia para el país por su extensión, características ecológicas, utilidad y por la amplia gama de recursos con los que cuenta, éste lago pertenece a la Cuenca Lerma-Chapala-Santiago, que es una de las más desarrolladas económicamente (Mestre, 1995). Sin embargo, a la par del crecimiento económico y social experimentado, se han agravado los problemas derivados por la escasez y contaminación del agua, así como por el antagonismo entre su beneficio y la relación con los usuarios y las entidades (Consejo de Cuenca Lerma-Chapala, 1997).

Aunado a estos graves problemas, el lago ha mostrado una creciente infestación por malezas acuáticas, principalmente lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) y tule (*Typha spp*), como resultado de las modificaciones en las condiciones físicas, químicas y biológicas del sistema (Dávalos-Lind and Lind, 2000).

Resulta claro que el papel que representan las plantas acuáticas en los sistemas de agua epicontinental es importante, en virtud de que la energía solar captada y almacenada por ellas se emplea como fuente de energía para otros organismos. Dichas plantas constituyen un elemento necesario en la cadena trófica del sistema (Jaime y Chapa, 1976; Contreras y Carlos, 1983); pero cuando una o varias de estas plantas acuáticas se desarrollan excesivamente y cubren gran parte de la superficie de los cuerpos de agua perturbando el uso o explotación de los mismos se les denomina

malezas acuáticas (Holm, Plunkett y Harberger, 1977; Contreras, 1976. Díaz, 1989; Gutiérrez, 1989; Guzzy, 1989; Bravo, *et al.* 1991).

El problema de infestación de malezas en el lago de Chapala, particularmente lirio acuático, es complejo, de magnitud considerable y creciente. La proliferación de *Eichhornia crassipes* está asociada a que es una planta acuática cuyas propiedades estructurales y de adaptación le permiten propagarse velozmente convirtiéndose en una maleza. Los estudios realizados hacen dudar sobre su posible erradicación en los sitios en donde está presente y actualmente se puede afirmar que esta planta no puede erradicarse, sino únicamente controlarse (Niño y Lot, 1983; Luu y Getsinger, 1988; Gutiérrez, 1992; Gutiérrez, Saldaña y Huerto, 1993).

Está bien documentado el hecho de que la proliferación del lirio acuático provoca tasas de evapotranspiración superiores a la evaporación física; obstruye la navegación, interfiere en la pesca, impide el uso recreativo, reduce la oxigenación del agua al obstruir el paso de los rayos solares y con ello la fotosíntesis; favoreciendo así la presencia de vectores de enfermedades y reduciendo el valor de las propiedades ribereñas entre otros (Gutiérrez, 1995). Además, como es una especie introducida al país, carece de enemigos naturales capaces de restringir su crecimiento (Barrett, 1989); aprovecha su adaptabilidad a condiciones de perturbación y por lo tanto, a nichos ecológicos pobremente competidos (Miranda y Lot, 1999).

En la búsqueda de soluciones que permitan resolver el problema de malezas acuáticas (Lirio acuático) tanto en el lago como en sus afluentes y efluentes. Una estrategia que resulta obvia es la de ejercer un control adecuado de la maleza, el cual se fundamente en los aspectos poblacionales y fenotípico de la dicha maleza.

Dada la importancia que tienen el mantener un adecuado conocimiento de la población del lirio acuático, resulta conveniente realizar un análisis del comportamiento del lirio acuático, la variación espacial y temporal y su interrelación con el lago de Chapala. Esta información permitirá evaluar el comportamiento de esta hidrófita en el lago en el periodo de julio de 1995 a agosto de 1996.

2. OBJETIVOS

Los objetivos de este trabajo se limitan al lirio acuático y al Lago de Chapala, durante el periodo de julio 1995 a agosto de 1996.

Objetivo general:

- Conocer y establecer la variación espacio/temporal de la población del lirio acuático.

Objetivos particulares:

- a) Determinar la interrelación de algunos factores poblacionales del lirio acuático con los aspectos climáticos, morfológicos, hidrológicos, de calidad y cantidad del agua presentes en el lago de Chapala durante el periodo de estudio.
- b) Definir la plasticidad morfológica de *Eichhornia crassipes*.
- c) Definir la relación Evaporación/Evapotranspiración (Eo/Et) del lirio acuático en el lago de Chapala, Jalisco durante el periodo de estudio.
- d) Conocer el funcionamiento hidrológico e hidráulico del vaso lacustre.

2.1 Hipótesis

El lirio acuático es una planta introducida al lago de Chapala, lo que le permite poseer características morfológicas y de adaptación que se reflejan en una alta capacidad de reproducción y de dispersión; al grado de ser una maleza.

Por lo tanto, se asume que al ocurrir modificaciones ambientales que alteran o restringen las zonas de seguridad y estabilidad, la maleza tiende a generar diferentes formas vegetativas para su sobrevivencia, situación que en condiciones climáticas extremas promueve la reducción y control natural de dicha población.

3. ANTECEDENTES

3.1 *Lirio acuático*

Es una planta acuática, libremente flotadora o fija al substrato, perenne, con tallo reducido y los individuos conectados por un rizoma horizontal, alargado (Holm, Plunkett y Herberger, 1977). La planta de lirio acuático presenta hojas o laminas emergentes, arrosetadas. En las plantas libremente flotadoras son transversalmente elípticas, olatas, hasta llegar a ser casi circulares en las plantas fijas, de 1.5 a 16 cm de largo y 2 a 12 cm de ancho, con la base truncada a ligeramente cordata; el ápice truncado, redondeado a ligeramente obtuso (Figura 3.1) (Novelo y Lot, 1994).

Los peciolos no presentan articulaciones y son de 3 a 60 cm, los cuales varían en tamaño dependiendo del hábitat; esto significa que en las plantas libremente flotantes son cortos, esponjosos, casi esféricos y en las que están enraizadas son cilíndricos y no esponjosos. La inflorescencia es central, pedunculada y agrupada en espigas encerradas por dos brácteas. Puede tener de dos a 35 flores zigomorfas arregladas espiralmente (Sculthorpe, 1967; Novelo y Lot, 1994). Las flores son de 4-5 cm de largo, de color lila y presentan en el centro una mancha de color amarillo (Corell y Corell, 1975).

La propagación de la planta se lleva a cabo sexual como asexualmente. En la reproducción sexual ocurre la polinización y formación de semillas y por lo tanto, la creación de nuevos genotipos. Si bien las flores están adaptadas para su polinización por insectos esto ocurre rara vez (Barret, 1989; Alba, 1994). La reproducción asexual o vegetativa es predominantemente modular, donde es posible diferenciar una planta "madre" o "genet" de la cual se originan varias plantas "hijas" o "ramets" comunicadas entre si por los estolones.

Su capacidad clonal le permite crecer rápidamente, al producir una descendencia genéticamente homogénea, es decir, con las mismas características de tolerancia respecto a los factores ambientales y como lo ha demostrado esta especie en

particular, a mayor tolerancia, mayores serán las posibilidades y expectativas de ampliar su área de distribución.

El lirio acuático crece en una gran variedad de hábitats de aguas epicontinentales: charcos temporales, pantanos, drenes, canales o aguas con flujo ligero, lagos, embalses y ríos, mostrando su adaptabilidad a un amplio espectro de condiciones ambientales. Inclusive, presenta adaptaciones morfológicas y fisiológicas que le permiten habitar las diferentes condiciones de un cuerpo de agua. El lirio puede arraigarse al sedimento y sobrevivir con poca humedad en áreas someras sometidas a las variaciones del nivel del agua o permanecer a la deriva en zonas más profundas (Gopal, 1987).

Las características que promueven este comportamiento están implícitas en :

- Un intenso potencial de crecimiento, eficiencia fotosintética y reservas de energía.
- Un eficiente mecanismo de dispersión y reproducción vegetativa.
- Una elevada tasa de utilización y optimización de los nutrientes esenciales.
- Una independencia relativa de las condiciones y fluctuación del nivel de agua.
- Una variación fenotípica elevada, una resistencia a la desecación y a su capacidad de enraizamiento.

Lo anterior y la tabla 1 explican de alguna manera porqué en la gran mayoría de los sistemas acuáticos de México y del mundo, cuando el lirio acuático está presente, es la planta que prevalece. Las especies introducidas como el lirio acuático pueden ser inocuas en su región de origen, empero, se transforman en malezas agresivas que invaden y dominan su nuevo ambiente (Barret, 1989). Esto ocurre por la existencia de condiciones ambientales particulares y su adaptación a las mismas en nichos ecológicos poco competidos.

Todas estas evidencias mantienen la duda sobre su posible erradicación en los sitios en donde está presente y actualmente se puede afirmar sin duda que esta planta no puede erradicarse, sino en el mejor de los casos controlarse.

La mejor estrategia de control es aquella que es capaz de disminuir la biomasa del lirio a un costo razonable, sin afectar negativamente al ecosistema y a los aprovechamientos benéficos del agua. El control del lirio acuático, básicamente consiste en estrategias a: i) largo plazo, dirigidas a la causa y que se refieren al control de nutrientes como el fósforo y el nitrógeno y ii) corto plazo, en donde los esfuerzos son dirigidos al efecto, es decir, un procedimiento que reduzca la cantidad de plantas a una velocidad superior que la de su reproducción natural (Gutiérrez, *et al*, 1994).

Ante la magnitud de los problemas que ocasiona el lirio acuático, desde principios de este siglo, se han utilizado diversas maneras o métodos para eliminar o erradicar esta maleza (Olvera, 1989). Se entiende por erradicación, a la eliminación total de las plantas en los sitios donde está presente. Sin embargo, la experiencia ha demostrado que por la alta capacidad reproductiva, la facilidad de dispersión, los requerimientos ambientales y la resistencia a condiciones ambientales desfavorables, el lirio acuático no puede erradicarse, sino únicamente controlarse (Gutiérrez, 1995). El control de una maleza acuática puede definirse como el proceso de reducción del número de organismos o biomasa (referido a una área), a un grado en que ésta no cause problemas y que por lo tanto se considera como aceptable (Gopal, 1987)

En México se han utilizado la mayoría de los métodos de control: cosecha manual o con maquinaria, trituración, utilización de herbicidas y el empleo de agentes biológicos. Los resultados obtenidos muestran que la combinación adecuada de estos métodos es la mejor opción para combatir las malezas. Asimismo se han hecho estudios a nivel piloto para el aprovechamiento del lirio acuático, pero hasta la fecha no se ha podido demostrar la viabilidad económica de estos esfuerzos, no existiendo ningún proyecto conocido y económicamente autosostenible. No obstante, esta posibilidad tendrá que seguir siendo investigada (Pieterse, 1978; IMTA, 1989).

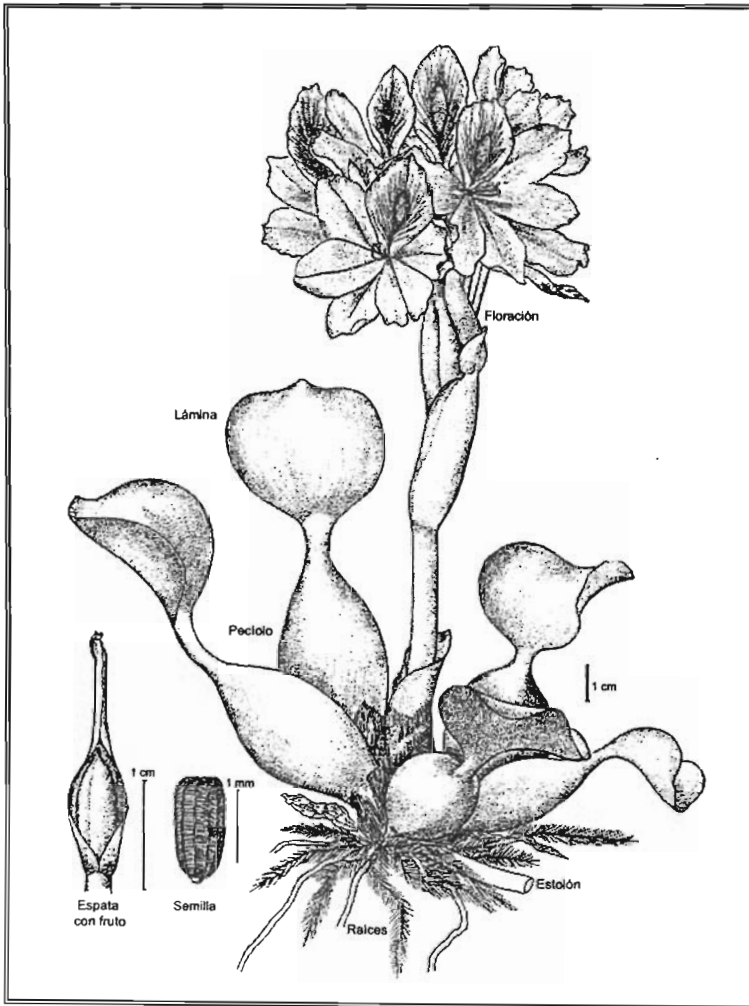


Figura 3.1 Lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) (Mart-Solms) Laubach (Lot, 1991)

Tabla 3.1. Características del lirio acuático

ESPECIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN
NOMBRE COMÚN	Lirio acuático, jacinto de agua, patal, cucharilla, flor de huachinango, lirio de agua (Novelo y Lot, 1994).
NOMBRE CIENTÍFICO	<i>Eichhornia crassipes</i> (Mart) Solms. In A. DC. et C.DC., Monogr Phan. 4:527 (1982) en Novelo y Lot (1994).
FORMA DE VIDA	Plantas acuáticas enraizadas o libremente flotadoras, generalmente perennes o en condiciones desfavorables anuales (Novelo y Gallegos, 1988).
HÁBITAT	Vive en aguas dulces tranquilas o de ligero movimiento, como ríos, arroyos, canales, charcas temporales, lagos, lagunas, pantanos, presas, canales y drenes (Gopal, 1987).
DISTRIBUCION ALTUDINAL	0-2250 msnm (Lot , 1991)
ESTATUS	Es considerada mundialmente como una de las malezas acuáticas más agresivas, peligrosas y de difícil control (Novelo y Lot, 1994).
ORIGEN	Tierras bajas de los trópicos sudamericanos (Barret, 1989).
FORMA	Variable en tamaño. En su madurez consiste de tallo reducido y los individuos hijos conectados por un rizoma horizontal alargado denominado estolón, raíces, peciolo de 3-60 cm, muy variables en tamaño dependiendo del hábitat, inflados y cortos en plantas fijas o no inflados y alargados en las plantas flotantes, láminas de 2.5-16 x 3-12 cm e inflorescencia con 4 a 12 flores de color lila con una mancha amarilla (Novelo y Gallegos, 1988).
POLINIZACION Y DISPERSION	Entomofilia y autógama; Hidrocora y ornitocora (Lot, 1991)
USOS	Mejorador de suelos, forraje, artesanías, ornamental, filtro biológico (IMTA, 1989).
DISTRIBUCIÓN EN MÉXICO	Se ha registrado su presencia en Aguascalientes, Campeche, Chiapas, Colima, Distrito Federal, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Morelos, Querétaro, Quintana Roo, San Luis Potosí, Sinaloa, Sonora, Tabasco, Tamaulipas y Veracruz (Contreras y Carlos, 1981; Lot, 1991).
DISTRIBUCIÓN MUNDIAL	América tropical, naturalizada en las regiones tropicales y subtropicales de todo el mundo (Barret, 1989)

4. MATERIAL Y MÉTODOS

4.1 Área de estudio.

El lago de Chapala, es el lago más grande de México y el tercero en tamaño en América Latina, siendo mayores el lago Titicaca en los Andes y el lago Nicaragua en Centro América (Arredondo y Aguilar, 1987).

La cuenca Lerma-Chapala está localizada en la parte central de México y ocupa 4'821,500 ha. La historia de los estados de México, Querétaro, Guanajuato, Michoacán, y Jalisco han estado ligados directamente con esta cuenca. El río Lerma desde su origen hasta su desembocadura en el lago de Chapala recorre unos 700 km a través de varias regiones agrícolas e industriales más importantes de México. La cuenca posee una tercera parte de actividad económica del país, una quinta parte del comercio y un octavo de la zona agrícola (Leckie, 2000). En el ámbito nacional, la cuenca concentra 3% de la precipitación pluvial, menos del uno por ciento en escurrimientos y 13% de las aguas subterráneas (Mestre, 1995).

La cuenca Lerma – Chapala, al ser parte importante del desarrollo de México ha sido sometida a una amplia gama de presiones antropocéntricas. Debido a esto, la importancia de dicha cuenca radica en el control de la contaminación y el mejor conocimiento de la misma para impulsar un mayor desarrollo agrícola e industrial (Wester, P, Melville, R. y S. Ramos-Osorio, 2000)

El lago de Chapala se localiza en la parte Occidental de México, al Este del estado de Jalisco y al Noroeste de Michoacán. Se encuentra enmarcado dentro de los paralelos 20° 07' y 20° 21' Norte y los meridianos 102° 40' 45" y 103° 25' 30" Oeste y a una altitud de 1,524 m (Figura 4.1) (IMTA-DHTA, 1994).

La estructura geológica del lago es sencilla, esta conformada por un ancho y bajo anticlinal, cuyo eje va de este a oeste, con la parte central hundida, lo cual forma una estructura conocida como graben o fosa tectónica (Estrada, Flores y Michel, 1983), al

igual que sucediera con los lagos africanos Victoria y Nyassa, entre otros (Guzmán, 1995).

El lago se originó a causa de una falla de la corteza terrestre, formando una fosa tectónica que captó las aguas del sistema hidrológico Lerma-Santiago. Esta depresión tectónica forma parte de una fractura llamada Línea de San Andrés – Chapala (De Anda, *et al.*, 1998).

Las principales sierras que rodean al lago así como las islas de los Alacranes, Mezcala y la ahora península de Petatán tienen su origen durante el Plioceno Medio y son antiguos sistemas volcánicos. El vulcanismo de la región actualmente se encuentra reducido a manifestaciones termales en las riberas del lago (Sría. Gob. y Gob. Edo. Jalisco, 1988a y b).

Partiendo de la ribera Noroeste del lago, se tienen las siguientes formaciones montañosas: la Sierra del Tecuán, los Lomeríos de La Santa Cruz, de San Nicolás y de San Juan Tecomatlán, la Sierra de Mezcala, los Lomeríos de Ocotlán y Jamay. Interrumpiendo estas formaciones se encuentran la Ciénaga de Chapala en la región de La Barca; el Valle de Sahuayo, que forma la parte Occidental de la Ciénaga, las sierras y valles de la ribera Sur; comprendiendo las serranías de Tizapán, del Tigre y de Mazamitla, y finalmente hacia el Sudoeste se localiza la depresión de Sayula (IMTA-DHTA, 1994). La mayor altura de la región se presenta en el Cerro Viejo con 2,980 m (SPP, 1988a; Guzmán, 1995).

Los registros promedio del nivel del lago entre los años 1900 y 1990 a la cota de 1,522.62 msnm, significan 104,800 ha de superficie y un volumen de 6,000 Mm³; bajo estas condiciones presenta 78.5 km de longitud máxima en dirección este-oeste y 20.5 km de ancho máximo en el sentido norte-sur, donde la profundidad media es de 4.5 m y la máxima de 7 m (IMTA-DHTA, 1994) (Tabla 4.1).

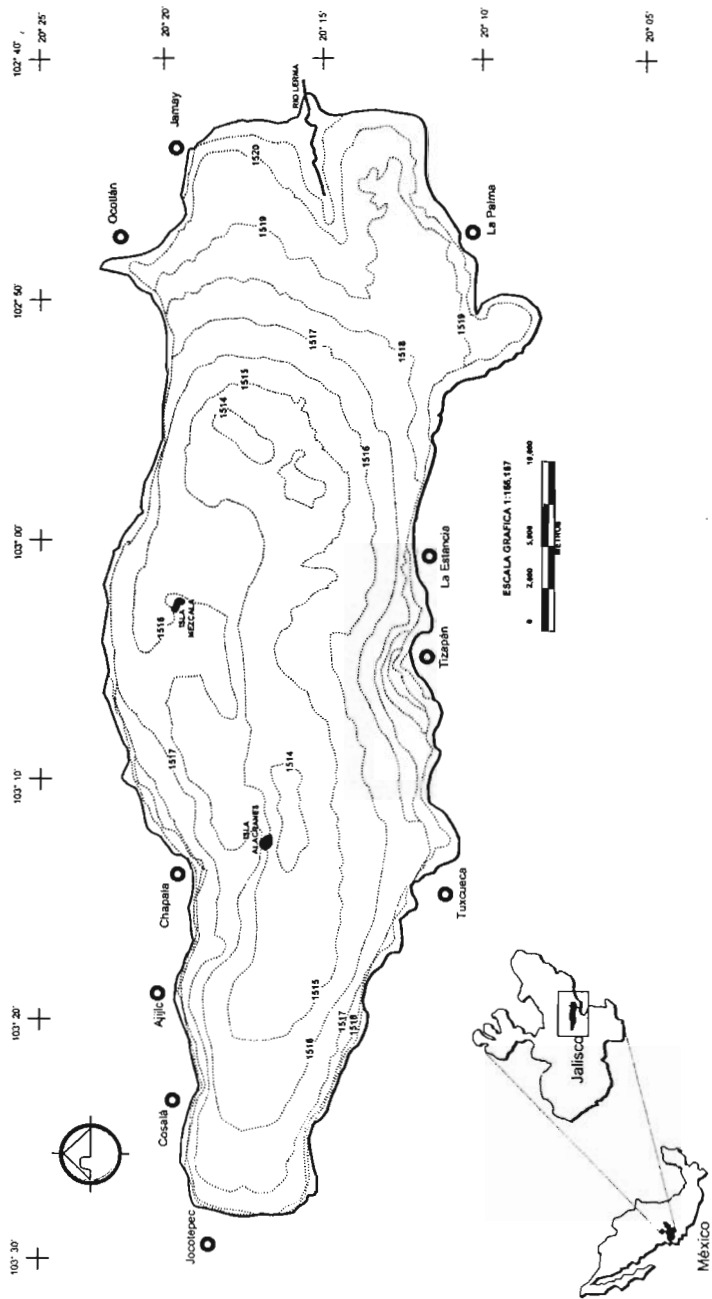


Figura 4.1 Localización y batimetría del lago de Chapala, Jalisco durante (SARH, 1981).

Tabla 4.1. Parámetros morfométricos del lago de Chapala, Jal.

Variable	Símbolos (Hutchinson, 1975)	Elevación (msnm)	
		1,524	1,521
Volumen (V)(Mm ³)	V	7,962	5,631
Área (A)(km ²)	A	1,112	1,039
Longitud máxima (l) (km)	l	77.	75
Ancho máximo (w)(km)	b _x	22.5	22.5
Profundidad media (Z) (m)	Z	10.5	7.5
Perímetro (L)(km)	L	215	209.5
Profundidad relativa (%)	Z _r	0.028	0.021
Desarrollo de la orilla		1.82	1.83

De acuerdo con la SARH (1981), la región que circunscribe al área de estudio es la Región Hidrológica XII, la cual a su vez se encuentra subdividida en cuencas, en donde la cuenca XII-D es la que se encuentra circundando al lago y se le denomina Cuenca Lago de Chapala, esta cuenca a su vez se subdivide en las subcuencas XII-D-a (Michoacán) y la XII-D-b (principalmente Jalisco) que presentan contacto inmediato con el lago (IMTA-DHTA, 1994).

El clima del área está clasificado como (A)C(wo)(w) semicálido subhúmedo con lluvias en verano, siendo el menos húmedo de los semicálidos (García, 1981); la temperatura promedio anual es de 19.9 °C.

De acuerdo con Miller (1986) y Guzmán (1995), la ictiofauna del lago está compuesta por 39 especies, agrupadas en nueve familias. De ellas cuatro familias y 15 especies son comerciales: Ciprinidae (carpas) con cuatro especies, Ictaluridae (bagres) con tres especies, Atherinidae (incluye a los charales y a los pescados blancos) con siete especies y finalmente la familia Cichlidae (tilapia) con una sola especie.

El lago ha sido desde 1956 la principal fuente de abastecimiento de agua de la Zona Metropolitana de Guadalajara, originalmente con el Sistema Santiago que conduce volúmenes por el río y canales a cielo abierto, pero a partir de 1991 a través del Sistema Chapala que consiste en una estación de bombeo en la población de Santa Cruz de la Soledad para ser conducidos por un acueducto cerrado hasta las plantas

potabilizadoras (Sandoval, 1981; Consejo Consultivo de Evaluación y Seguimiento del Programa de la Cuenca Lerma-Chapala, 1992 e IMTA-DHTA, 1994).

4.2 Mediciones morfométricas del lago de Chapala, Jalisco.

Con el fin de poder evaluar los cambios en la morfometría del lago de Chapala, se consideró obtener la siguiente información de acuerdo con Hutchinson (1975) y Wetzel (1975).

Dimensiones superficiales:

- Área total (A) (ha): Datos obtenidos de la curva hipsográfica de áreas y capacidades del lago.

Dimensiones batimétricas:

- Profundidad media (z) (m): Valores obtenidos de la relación aritmética del volumen del lago/área del lago.
- Volumen total (V) (Mm³): Se obtuvo cada uno de los niveles de la curva de área/volumen del lago generado a partir del mapa batimétrico (Banks, *et al*, 1973).

La morfometría se describió mediante el programa Sistema de Información del lago de Chapala (SILCH), el cual presenta una interfase gráfica espacial con un modulo que integra una serie de algoritmos en una malla la distribución batimétrica del lago (León, 1991), donde la curva de áreas y capacidades se alimentó con las cotas mensuales promedio de inundación del sistema

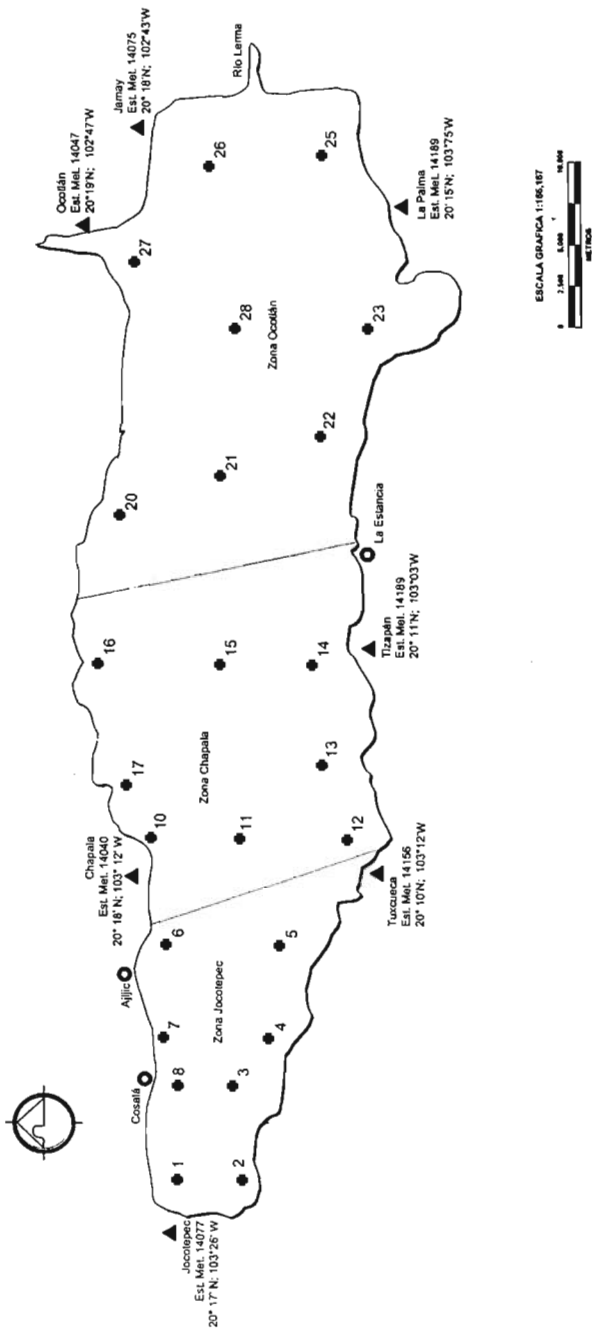


Figura 4.2. Localización de las estaciones de muestreo (●), meteorológicas (▲) y de poblados (○) en el lago de Chapala, Jal.

4.3 Aspectos hidráulicos.

Para determinar el cambio en el nivel del agua, se tuvo que referir a los aspectos hidrológicos, los cuales consideran la cantidad total de agua aportada al sistema por sus afluentes, por la pérdida de agua por sus efluentes. Asimismo, se determinó el tiempo de retención hidráulica (T_w) con la función de área-volumen y los gastos de salida del sistema.

Para establecer esta fluctuación, se realizó una recopilación de los registros del Servicio Hidrométrico de la Comisión Nacional del Agua para el periodo de 1995 a 1996, que considera los aportes de agua (Mm^3) (lluvia, río Lerma y río Duero) y los gastos de salida del lago (Mm^3) (Acueducto, canal Atequiza, canal de desfogue Zapotlanejo, río Santiago y la evaporación).

4.4 Factores climatológicos.

Con el objetivo de definir el efecto climatológico en las condiciones del lago y por ende su efecto en la población del lirio acuático, se consideró la temperatura media (T , °C), la precipitación (P , mm) y la evaporación (E , mm). Dichos valores se adquirieron del banco nacional de datos climatológicos históricos denominado ERIC II (Extractor Rápido de Información Climatológica II).

La información reunida correspondió a siete estaciones climatológicas que pertenecen al Sistema Meteorológico Nacional (SMN) las cuales son: Tuxcueca, Tizapan, Jocotepec, Chapala, Jamay y Ocotlán en el estado de Jalisco y La Palma en Michoacán (Figura 4.2). La datos de la temperatura y precipitación promedio mensual por estación climatológica se representaron de manera gráfica al utilizar climogramas.

4.5 Evaporación /Evapotranspiración (Eo/ET).

Para llevar a cabo esta evaluación, se consideró aplicar el modelo que se sustenta en la ecuación de Penman-Montieth. A continuación se presenta un resumen extraído de Lafleur (1990), Van der Weert y Kamerling (1974) y Pieri y Fuchs (1990).

En este modelo, básicamente se hace un símil de la transferencia de agua hacia el ambiente con un circuito eléctrico (Figura 4.3). En este se supone que existen resistencias al paso de la corriente de agua. La resistencia de la planta (r_c) y la resistencia del aire (r_a) se incluyen en el modelo, llegando a la ecuación para el cálculo de la Evapotranspiración (ET), que es la siguiente:

$$ET = \left(\frac{\left(\frac{S \cdot Q}{Y \cdot L} \right) + N \left(\frac{B \cdot D_a}{r_a} \right)}{\left(\frac{S}{Y} \right) + \left(\frac{r_c + r_a}{r_a} \right)} \right) \quad (\text{cm día}^{-1}) \quad (1)$$

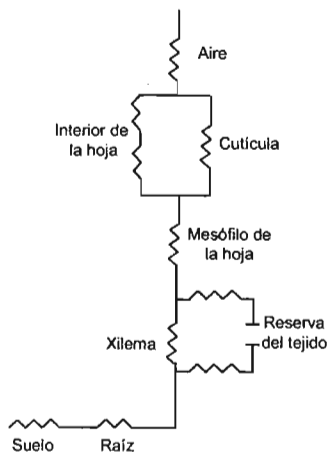
donde:

$$B = \left(\frac{M \cdot 10^3}{R_u \cdot T} \right) \quad (\text{g cm}^{-3} \text{ mbar}^{-1}) \quad (2)$$

- S : Derivada de la curva de presión de vapor vs. temperatura. (mbar °C⁻¹).
- L : Calor latente de vaporización (cal g⁻¹)
- Q : Radiación neta (cal cm⁻² s⁻¹)
- Y : Constante psicrométrica (mbar °C⁻¹)
- N : Tiempo de luz durante el día (s día⁻¹)
- D_a : Déficit de la presión de vapor de saturación en el aire (mbar).
- R_a : resistencia de difusión de la planta (s cm⁻¹).
- R_c : resistencia de difusión del aire (s cm⁻¹).
- M : Masa molecular del agua (18 g mol⁻¹)
- T : Temperatura (°K)
- R_u : Constante universal de los gases.

Donde se considera que la resistencia del aire depende de la velocidad del viento, de las presiones de vapor y de las características aerodinámicas de la planta, mientras que la resistencia de la planta depende de la radiación solar, el índice de área de las hojas u otra variable relacionada con la densidad y de la succión de agua en las hojas, que a su vez se relaciona con las condiciones de la planta.

Figura 4.3 La ecuación de Penman-Montieth compara la transferencia de agua hacia el ambiente con un circuito eléctrico donde existen resistencias al paso de la corriente de agua.



La resistencia del aire (r_a) puede expresarse como:

$$r_a = \frac{\ln\left(\frac{z_a - d}{z_c}\right)^2}{k^2 U_a} \quad (3)$$

donde:

- d : Distancia al plano de origen (cm).
- Z_0 : Rugosidad (cm).
- Z_a : Altura a la que se mide el viento (cm).
- k : Constante de Von Karman (0.41).
- u_a : Velocidad de viento a la altura z_a

Si la velocidad del viento es alta, el coeficiente del aire es muy bajo y la resistencia de la planta (r_c) controla la ET. Esta resistencia puede aproximarse con la ecuación:

$$r_c = \frac{\frac{S}{Y} + 1}{\frac{S}{Q} + \frac{L}{Y}} N * B * D_s \quad (4)$$

Estas resistencias actúan como válvulas que controlan la ET. Cuando ambas resistencias son pequeñas, la ET adquiere su valor máximo.

Es de mencionar que d, es el desplazamiento del plano cero, es decir la distancia (vertical) al origen a la que debe trasladarse el eje horizontal para considerar un perfil de viento con velocidad cero en el plano cero.

Z₀ es la rugosidad del follaje medida a partir del plano cero. Tanto d como Z₀ varían durante el día y deben ser medidas para establecer el promedio particular para cada follaje. Por la falta de estos valores, se utilizó una serie de relaciones encontradas en la literatura. Lafleur (*op cit.*) y Pieri y Fuchs (*op. cit.*) encontraron que para plantas terrestres que ellos han estudiado, estas dos variables pueden calcularse como:

Lafleur	Z ₀ = 0.005 + 0.065 × AL	d = 0.626 × AL
Pieri y Fuchs	Z ₀ = 0.1 × AL,	d = 0.666 × AL

Dónde AL es la altura de la planta en m.

Con el propósito de mejorar la teoría, existen variaciones al modelo de Penman-Montieth, como es el caso del modelo reportado por Timmer y Weldon (1967), en el que se supone un mayor número de resistencias de difusión (debidas al suelo y a otras causas). Estos autores afirman que la ecuación de Penman-Montieth calcula una ET inferior a la medida en las primeras etapas del crecimiento de la vegetación, y que su modelo supera estos inconvenientes, produciendo resultados más cercanos a los reales, sin embargo este y otros modelos similares no han sido aplicados al caso del lirio. Por otro lado, varios autores afirman que la evaporación del agua cubierta por lirio es muy pequeña en comparación con la ET, por lo que, dadas las incertidumbres que se tienen, es poco productivo el involucrar una variable mayor a la ya considerada.

Por lo anterior, se considera que la modelación de la evaporación por las plantas del lirio acuático es más compleja que el de la superficie libre, debido a que no hay un modelo dinámico que haya sido comprobado adecuada y suficientemente, sin embargo el modelo que parece producir los resultados más "razonables", es el modelo dinámico propuesto por Penman citado y modificado por Monteith (1965).

Este modelo ha sido utilizado por varios autores para cálculos de evaporación en cultivos de plantas terrestres (Lafleur (1990), Pieri y Fuch (1990), y por Van der Weert (1974) para el cálculo de la evaporación del lirio acuático. No obstante que los resultados de Van der Weert son incompletos, y de que presentan inconvenientes como variaciones excesivas de los parámetros meteorológicos, (particularmente de la humedad relativa de 35 a 95%) y un cálculo de la radiación cuestionable, este es el único artículo disponible que se conoce, en el que se haya utilizado un modelo dinámico aceptable. En este estudio se utilizó las siguientes relaciones:

$$Z_o = 0.1 \times AL \quad \text{y} \quad D_o = 0.666 \times AL.$$

Al definir la relación Evaporación/Evapotranspiración (E_t/E_o), se empleó el programa *EVALIRIO V.1 MS-DOS*, propuesto por San Román, Gutiérrez y Huerto (1996) y el cual se fundamenta en el modelo de Penman-Montheith. Durante la aplicación de este modelo se requirió de información que se obtuvo por referencias bibliográficas, y complementada con datos de campo que se mencionan a continuación:

- Número del día del año (1 a 365). Dependiendo de la fecha de muestreo.
- Temperatura del ambiente (T_{amb} , °C). Según García, 1981
- Temperatura del agua (T_{agua} , °C). Datos de campo.
- Temperatura del follaje (T_f , °C). Valor obtenido del promedio de la temperatura ambiental y del agua.
- Humedad relativa (% HR) (0 a 1). (García, 1981)
- Velocidad del viento (ms^{-1}): Se consideró como valor el de $2 ms^{-1}$ (Bidwel, 1990)

- Altura de medición de la velocidad de viento (m): 2 m (Van der Weert y Kamerling, 1974).
- Presión atmosférica (PA) (mm de Hg)(Campos, 1992).
- Radiación solar (Rad.)(Watts m⁻² día⁻¹)(Galindo y Chávez 1977).
- Fracción del día con luz (El fotoperiodo considerado fue de 0.5)(Campos, 1992)
- Altura del follaje (AF) (m). Obtenida en campo.
- Resistencia del follaje. Siguiendo el procedimiento y la justificación de Van de Weert y Kamerling (*op.cit.*), esta resistencia interna se ha tomado como cero, debido a las características foliares de la lámina.

Los resultados así obtenidos fueron de evaporación (Eo), evapotranspiración (ET) y su relación (ET/Eo), durante el periodo de 1995 a 1996.

4.6 Calidad del agua.

Los métodos y procedimientos utilizados en el muestreo y análisis de agua para determinar la calidad del agua presente en lago de Chapala durante el periodo de julio (1995) a agosto (1996) fueron modificados del Standard Methods (American Public Health Ass. APHA, 1989) El muestreo se realizo en 28 puntos dentro del lago y se analizo el Fósforo como Fosfatos (mgL⁻¹), Nitrógeno amoniacal (mgL⁻¹) y Nitrógeno de nitratos (mgL⁻¹), Oxígeno disuelto (mg/L), pH, Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L) y Demanda Química de Oxígeno (mg/L).

4.7 Características poblacionales del lirio acuático.

Debido a que el lirio es una planta flotante que está influenciada fuertemente por el viento, las corrientes y la profundidad dentro del sistema ocasionan que los tapetes no permanezcan en posiciones fijas o con distribución uniforme y con base al trabajo realizado por el IMTA-DHTA en 1994 en donde se definen tres clases de lirio presentes por su ubicación dentro del lago (Lirio marginal, Lirio móvil y lirio fijo)(Figura 4.4). Surgió la siguiente pregunta ¿En realidad se presentan clases diferentes de la población del lirio acuático en el lago de Chapala?

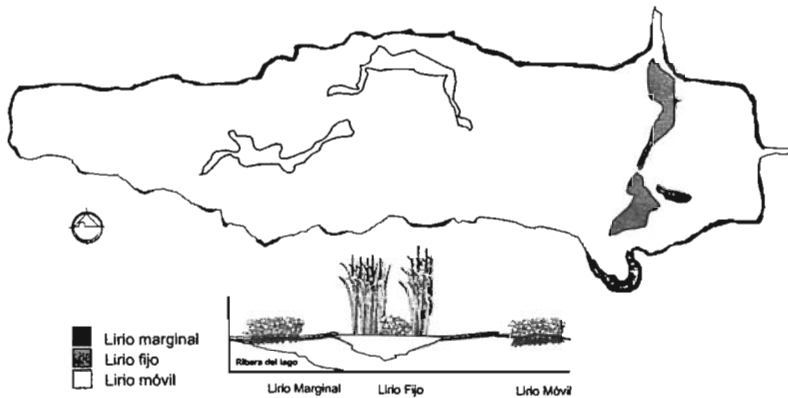


Figura 4.4. Clases del lirio acuático presentes de acuerdo a su ubicación en el lago de Chapala, según IMTA-DHTA, 1994.

Para poder dar respuesta, se realizó el siguiente trabajo de campo, el cual consideró que la población del lirio acuático tiene características morfológicas y atributos únicos en densidad, biomasa y cobertura; resaltando que esta población es limitada por la acción conjunta de factores físicos y químicos. Por esta razón la población del lirio acuático presente en el lago de Chapala fue valorada a lo largo de un ciclo anual con muestreos mensuales de julio de 1995 a agosto de 1996, en donde se aplicó la técnica de cuadros de tamaño estándar de 1m^2 (Gutiérrez, 1995). La selección de los sitios para la obtención de las plantas del lirio acuático, considerando la distribución obtenida por el IMTA-DHTA, se llevó a cabo mediante un muestreo sistemático y al azar que consistió en ubicar los puntos de muestreo a intervalos regulares de aproximadamente 15 km en sentido longitudinal siguiendo la línea de costa del lago.

En cada uno de los sitios seleccionados, se ubicó a las unidades de muestreo en un modelo regular, es decir que los puntos de muestreo se dispusieron en función del un gradiente originado por la distribución y situación de las plantas en el lago, es decir de la orilla hacia el interior del lago o viceversa, dependiendo de las condiciones de acceso; esto debido a que la zona de estudio aun y cuando se desarrolla en una planicie, se considera heterogénea, debido a la fisiografía circundante al lago (Guzmán,

1995). Lo anterior con la finalidad de disminuir la variabilidad (desviación estándar y error estándar) de los datos colectados (Matteucci y Colma, 1982; Lopretto y Tell, 1995). En esta etapa se midió la densidad poblacional y la biomasa (Rabinovich, 1980; Brower, Zar y Von Ende, 1990)

4.7.1 Densidad y biomasa

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 de la población que existe en una determinada área o volumen (Rabinovich, 1980). El efecto que ejerce una población de lirio sobre el ecosistema depende evidentemente de esta característica.

El material y método no destructivo utilizado para la determinación de la biomasa y densidad fue el siguiente:

A) Material: Un Marco de madera con un área interna de 1 m^2 , de acuerdo con el criterio de Downing y Anderson (1985), mencionado por Madsen (1993). Un bioldo con mango largo, un dinamómetro de $50 \pm 1 \text{ kg}$ de capacidad. Así como de machete o tijeras de jardinero y costales entretejidos de plástico.

B) Procedimiento: Después de ubicar el sitio de muestreo, se lanzó al azar el marco de metal sobre el tapete de plantas y se introdujo el cuadro de madera lo más posible en la base de las mismas. A continuación con el machete o tijeras, se cortó el tapete de plantas que quedan en el perímetro exterior del cuadro, aislándolas de las que quedan en el interior del mismo. Se extrajeron las plantas del interior de forma manual o con la ayuda del bioldo, para depositarlas en el interior del costal de plástico, dejándolas escurrir por un lapso de cinco minutos para evitar exceso de agua y homogeneizar así el tiempo de pesado. Después de transcurrido el tiempo, se procedió a obtener la biomasa en peso húmedo (kgm^{-2}) con ayuda del dinamómetro.

El número de muestras por muestreo requerido para obtener una estimación de la media real de población con un nivel predeterminado de confianza y error permisible, se determinó aplicando a los datos obtenidos a la ecuación siguiente de acuerdo con Madsen (1993), quien define a al número de muestras (N) como:

$$N = \left(\frac{t * s}{\bar{\delta} * \bar{x}} \right)^2$$

Donde t es el valor de t de student a un nivel determinado de probabilidad y dado que N es desconocido se consideró t=20; s es la desviación estándar; \bar{x} es el valor de la media real poblacional y $\bar{\delta}$ es el error permisible de la media final y se recomienda 0.1 para estudios de vegetación ($\pm 10\%$).

En relación a los parámetros poblacionales, la densidad (Núm. Ind. m⁻²), se obtuvo al contar cada uno de los individuos, contenidos en el interior del marco de madera de 1m² considerando como unidad, individuo o Ramet (plantas reproducidas vegetativamente) a aquella planta en la que se diferencian claramente el rizoma, las hojas, las raíces y en su caso el estolón.

Cabe mencionar, que la arquitectura poblacional del lirio acuático se refiere a su forma y crecimiento, porque esta planta posee una estructura modular que es producto de un cigoto al que Harper (1981) llama "genet", la cual genera vegetativamente un continuo de organismos, los cuales se presentan como subunidades fisiológicamente integradas denominadas "ramets" (Tuomi y Vuorisalo, 1989).

Los datos obtenidos fueron procesados para obtener el valor promedio, la desviación estándar, el coeficiente de variación. El tratamiento de estos datos tuvo como objetivo el determinar las diferencias entre las medias observadas e identificar patrones de comportamiento.

La determinación de peso seco, se consiguió después de realizar las mediciones de biomasa y densidad como se indica a continuación: Primero se pesó con una balanza

granataria de 5 ± 0.1 kg, de acuerdo al procedimiento de Gutiérrez (1995), una submuestra de 1 kg de peso húmedo de plantas completas, que se colocaron en bolsas de plástico que se les acondicionó para su transporte al laboratorio. En el laboratorio se lavaron cada una de las plantas con agua corriente, para liberarlas de sedimento, organismos y desechos que no fueron removidos al ser extraídas del lago. A continuación se secaron en un horno con recirculación de aire a una temperatura de 105 ± 1 °C hasta peso constante, situación que se alcanzó aproximadamente a las 48 horas. Por último, se obtuvo el peso final en una balanza semi-analítica de 500 ± 0.01 g de capacidad.

4.7.2 Cobertura y biomasa total

Es conveniente conocer la cantidad total de maleza existente en un determinado sistema, por lo que se utiliza el concepto de cobertura. La cobertura se define como la proporción de un espacio cubierto por la maleza visto desde arriba (Brower, Zar y Von Ende, 1990). De acuerdo con esta definición, el procedimiento seguido para estimar la cobertura y posteriormente la biomasa total se sustenta en lo siguiente:

Debido a la superficie del lago de Chapala, se procedió a obtener y analizar por las imágenes de satélite LANDSAT-TM, con la finalidad de evaluar los cambios presentes en el lago y la población del lirio acuático.

El aspecto más importante de la teledetección es la identificación de caracteres de la superficie por medios cuantitativos. Esta tarea se realiza mediante la clasificación de los píxeles en una imagen para extraer información relevante a los objetivos de este estudio.

La clasificación de patrones es la técnica que permitió analizar imágenes para convertir píxeles o segmentos de ellos a clases ambientales lógicas como agua, tierra, zonas de cultivo y en nuestro caso las malezas, entre otros. Según Jasso (1999) y Engman (1993).

Esta aplicación práctica de la teledetección permitió crear mapas de cobertura de la

superficie. El reconocimiento de patrones involucró dos fases que son aprendizaje y clasificación. La fase de aprendizaje fue el procedimiento con el que se definió las clases de cobertura de la tierra que son significativas para el estudio y posteriormente identificación de los caracteres de la imagen que pertenecen a estas clases. Lo anterior, logró identificar píxeles en la imagen, que corresponden a clases conocidas al nivel de superficie y se han caracterizado por recorridos de campo. El procedimiento de aprendizaje produjo un método de análisis cuantitativo con significado.

La segunda fase de clasificación de patrones involucró la extracción de aspectos relevantes de los caracteres desde la nueva imagen y la aplicación de decisiones que se originaron en la fase de aprendizaje; el modelo anterior aplica en la mayoría de los análisis de imágenes de teledetección.

Jasso (1999), menciona que las dos formas más comunes de clasificación de imagen son la clasificación supervisada y la no supervisada. En ocasiones es útil clasificar datos de una imagen sin que necesariamente se utilice una idea previamente concebida acerca de la agrupación de los píxeles en las diferentes clases en el espacio, esto corresponde a la clasificación no supervisada. Un algoritmo típico para esta clasificación es el de los "vecinos más k-cercanos", que es un procedimiento iterativo para producir conglomerados de datos de la imagen que corresponden a grupos con sentido lógico.

Durante este estudio, se empleó la clasificación supervisada, la cual sigue el modelo general de reconocimiento de patrones, que contempló una fase inicial de aprendizaje o entrenamiento seguida por la fase de clasificación definitiva.

En la fase de entrenamiento se identificó a los píxeles o segmentos de ellos en imágenes de prueba. Para los cuales, los datos de la superficie están disponibles para localizar clases específicas en el espacio de caracteres. Una vez realizada esta fase se debe aplicar una función discriminante para dividir el espacio de caracteres en regiones discretas con fines de clasificación; el método utilizado en este trabajo se sustentó en el

criterio de la distancia mínima euclidiana entre un píxel y la media de los conglomerados de entrenamiento, esto significa que un píxel es asignado a la clase con la posición media más cercana en el espacio de caracteres. La bondad de funcionamiento por lo tanto tiene que ser estimada al comparar los resultados con los datos reales obteniéndose 95.6% de eficiencia media al utilizar este procedimiento (Jasso, 1999).

Para su mejor comprensión, las imágenes LANDSAT-TM utilizadas en este estudio, tuvieron una resolución de 25 x 25 m en cada píxel y registran la luz reflejada por la tierra en siete bandas del espectro electromagnético. Para cumplir con los objetivos de este trabajo se utilizaron las bandas 2 (λ 0.52-0.60 μm) 3(λ 0.63-0.69 μm) y 5 (λ 1.57-1.78 μm), que comprenden la zona infrarroja y de luz visible del espectro electromagnético; situación que permitió realizar una clasificación supervisada corroborada con reconocimientos de campo (Engman, 1993).

Con la clasificación supervisada de estas imágenes, se obtuvo información de la distribución de los tapetes de lirio acuático y del tule así como del agua, en donde la asignación de píxeles al agua presenta una eficiencia del 75%, la agrícola del 10 % la zona vegetal del 40% y la urbana del 62% (Jasso, 1999).

La determinación de la biomasa total (B) de la maleza, se obtuvo multiplicando la biomasa promedio por la superficie infestada, de acuerdo a la siguiente relación aritmética:

$$B = M \times H$$

Donde:

M: biomasa del lirio (Ton ha⁻¹)

H: Área infestada (ha)

4.7.3 Morfología del lirio acuático.

Se determinó la morfología del lirio acuático, que consistió en medir la longitud de los pecíolos (cm), la longitud de la raíz (cm), el número de láminas por planta y el área foliar (cm²). Para cada una de estas determinaciones se procedió como sigue:

Se tomo una muestra de diez plantas completas, las cuales fueron colectadas en bolsas de plástico.

Posteriormente, se procedió a medir con una cinta métrica (30 ± 0.1 cm) la longitud de las raíces y pecíolos. De forma directa se contó el número de láminas en cada planta. En el caso del área foliar esta se determinó utilizando un medidor de área foliar.

Los datos obtenidos fueron organizados en gráficos y tablas que muestran el valor promedio, la desviación estándar, el coeficiente de variación, así como pruebas estadísticas para determinar si las diferencias entre las medias observadas corresponden a formas fenotípicas distintas, buscando identificar patrones de comportamiento.

5. RESULTADOS Y DISCUSION.

5.1 Factores hidrológicos

Desde 1934 la Comisión Nacional del Agua realiza las lecturas diarias de los principales parámetros hidrológicos, a fin de contar con información actualizada sobre precipitación pluvial, evaporación, volumen de almacenamiento del lago flujos de alimentación, y de salida entre otros. Un cambio histórico importante lo represento la construcción y puesta en marcha en al año de 1990 del Acueducto Chapala-Guadalajara. Esta obra cumple con el objetivo de dotar de agua a la ciudad de Guadalajara evitando perdidas por evaporación que experimentaban las aguas en su curso normal a través del río Santiago. Actualmente el río Santiago subsiste gracias a escurrimientos del río Zula y ya no se emplea como medio para conducir agua; debido a ello en la cuenca del lago el uso del río Santiago se limita a dotar de agua a los distritos de riego y a las poblaciones mas cercanas a este río. El sistema hidrológico superficial de la cuenca del lago de Chapala puede representarse mediante el esquema mostrado en la figura 5.1, en el cual se presenta en un diagrama de bloques, las entradas y salidas del sistema (Guzmán, 1992).

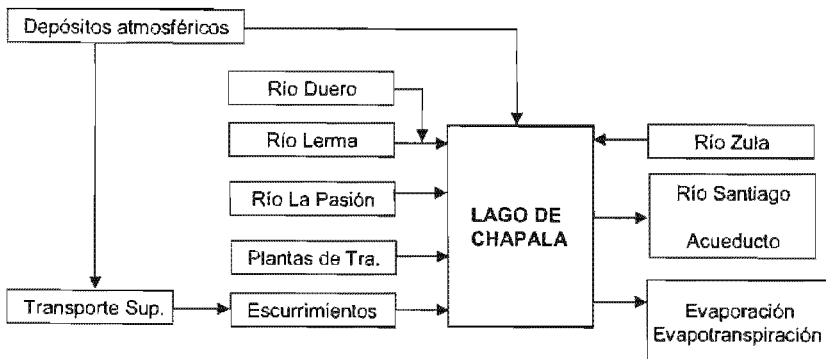


Figura 5.1 Diagrama esquemático del sistema hidrológico superficial en el lago Chapala.

La capacidad volumétrica del lago de Chapala se desarrolló a partir de un modelo basado en la geometría de una pirámide invertida que predice el volumen promedio mensual en el vaso con un 99.91% de confiabilidad. (De Anda, et al. 1998).

Durante el periodo de estudio se presentó un ciclo con dos fases: una de descenso (noviembre a mayo) y otra de ascenso (junio a octubre), periodo durante el cual el valor medio fue $4,052.283 \pm 389.357 \text{ Mm}^3$, con un valor máximo en septiembre de 1995 ($4,827.615 \text{ Mm}^3$) y un mínimo en mayo de 1996 ($3,509.9 \text{ Mm}^3$), lo que indica un decremento del 27.29% (Figura 5.2).

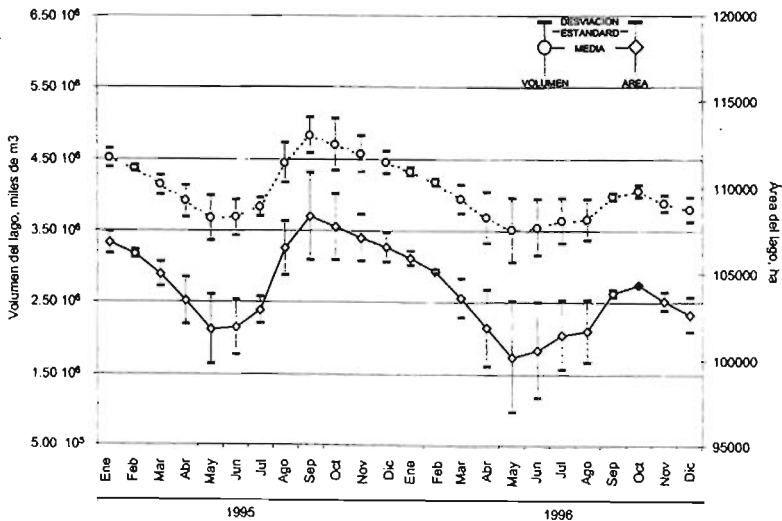


Figura 5.2. Gráfico de áreas totales (A) (Ha) y de capacidades (V)(Mm3) durante 1995 a 1996 en el lago de Chapala, Jal.

Durante el periodo de 1995 a 1996 el valor promedio del área total de almacenamiento fue de $104,106 \pm 2,367 \text{ ha}$ (Figura 5.3); con valores mínimos en los meses de mayo (1995:101,766 ha y 1996: 100,173 ha). Las áreas máximas totales se presentaron en septiembre de 1995 (108,314 ha) y octubre 1996 (104,332 ha, situación que muestra un descenso del 5.035% entre los dos años.

La longitud del lago de Chapala en el año de 1995 tuvo un valor máximo en enero de 76.77 km y un valor mínimo en junio (74.77 km); en el transcurso de 1996 la longitud menor (74.88 km) se presentó en diciembre y un máximo (75.44) en el mes de enero, con un valor promedio de la longitud del lago fue de 75.27 ± 0.44 km.

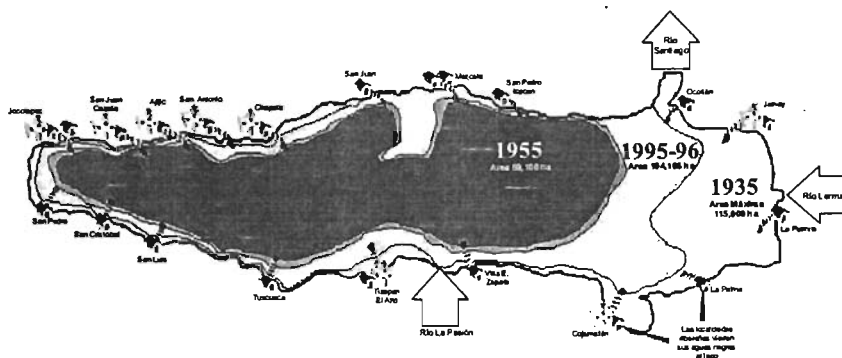


Figura 5.3. Áreas de inundación lago de Chapala en el transcurso del tiempo.

El ancho promedio del lago fue de 21.57 ± 0.07 km, donde se enmarca que en 1995 el valor mínimo fue de 21.53 km (Mayo) y el máximo de 21.88 km (enero); en 1996 los resultados mostraron a septiembre como mínimo (21.52 km) y abril como máximo (21.58 km).

La profundidad (Z)(m), debido a que es un factor dependiente e inherente al volumen y al área presento un comportamiento similar, donde se muestra un ciclo de ascenso y otro de decremento, resultando que en el año de 1995 se presentó la mayor profundidad en el mes septiembre con 4.45 m y un mínimo en mayo (3.60m); para 1996 el valor mínimo fue de 3.50 m (mayo) y dato máximo de 4.08 m en enero, donde el valor promedio fue de 3.88 ± 0.28 m (Figura 5.3).

Es claro que la reducción porcentual de 1995 a 1996 fue mas evidente para el volumen (27.29 %) y la profundidad (16.76), mas sin embargo si existió variaciones en el área (5.04)%, la longitud (1.66%) y ancho del lago (0.86%) pero estas ultimas resultaron las menos afectadas por este cambio demostrando una relación directa entre el volumen y

la profundidad situación generada por la forma del lago y por los múltiples usos que ofrece el lago de Chapala ya que constituye un recurso muy importante para la nación y en especial para la región en la que se localiza. La cuenca del río Lerma, su principal afluente, alberga importantes actividades industriales, agrícolas y urbanas, en cuyo crecimiento ha sido un factor importante.

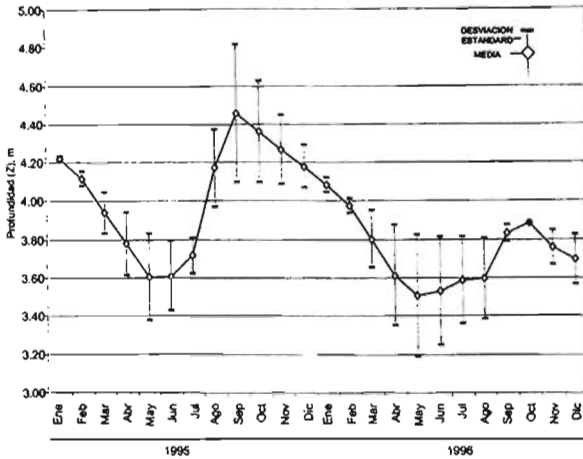


Figura 5.4. Gráfico de profundidad (Z) (m) durante 1995 a 1996 en el lago de Chapala, Jalisco

Sin embargo dichas actividades han modificado gradualmente el ecosistema del Lago de Chapala, reduciendo su volumen de almacenamiento causada por la drástica disminución de los caudales del río Lerma y sus demandas de agua para el suministro de la ciudad de Guadalajara (Figura 5.3, Tabla 5.1)

En el periodo de 1995 a 1996, el volumen y el área de almacenamiento disminuyó al punto que la profundidad máxima media anual del lago no superó los 4.45 m y la tendencia actual es a seguir disminuyendo paulatinamente su volumen dadas las evidencias de los últimos años en los caudales del río Lerma.

Tabla 5.1 Comparación de las características morfológicas del lago de Chapala durante el periodo de 1900-1990 con el periodo de estudio 1995-1996.

	1900-1990 1524-1521 msnm	1995-1996 1521.07 – 1520.09 msnm
Volumen (V) (Mm ³)	7,962 – 5,631	4,052.28 ± 389.357
Area (A) (ha)	111,200 - 103,900	104,106 ± 2367
Longitud máx.(l) (km)	77-75	75.27 ± 0.44
Ancho máx (w)(km)	22.5-22.5	21.57 ± 0.07
Profundidad (z)(m)	10.5-7.5	3.88 ± 0.28

Durante el periodo de estudio, el volumen de entrada promedio fue de 15,471.79 Mm³ mes⁻¹; para 1995 el valor máximo del afluente fue de 59,896.9 Mm³ mes⁻¹ en agosto, siendo mayo el menor con 393.62 Mm³ mes⁻¹; durante 1996, la medición mas alta fue en octubre con 75326.59 Mm³ mes⁻¹ y la mínima en marzo con 504.43 Mm³ mes⁻¹.

Resulta evidente en la figura 5.4, que los gastos de salida fueron mayores con relación a los aportes, esto debido a que el promedio fue de 147,598.34 ± 31,917.9 Mm³ mes⁻¹, donde se manifiesta que para 1995 se tuvo un máximo en abril con 208,908 Mm³ mes⁻¹ y un mínimo en diciembre (102702.68 Mm³ mes⁻¹), el comportamiento fue similar para el siguiente año, en el cual también el mes de abril fue el mas alto con 202,283.7 Mm³ mes⁻¹ y diciembre con 91,470.46 Mm³ mes⁻¹. Lo anterior significa que existe un déficit del 89.5 % entre el volumen de entrada y el de salida .

El río Duero descarga en el río Lerma (Figura 5.1), por lo que las aportaciones del río Lerma representan la suma de ambos ríos. El río Zula cuyas aportaciones anuales son del orden de 60.5 millones de m³ descarga en forma natural en el río Santiago. Solo en casos en donde los niveles del lago han sido muy bajos se permite escurrir las aguas del río Zula hacia el lago de Chapala con la finalidad de compensar el flujo de agua del río Lerma. Resulta importante observar que desde el año de 1992 se ha presentado en el río Zula un decremento en el flujo de aproximadamente 25 millones de m³ por año y en el caso del río Duero de 44 millones de m³ por año. El origen de dichos decrementos al igual que en el río Lerma son completamente antropogénicos, al existir mayor demanda de agua a lo largo de dichos ríos para su uso agrícola, urbano e industrial (Guzmán, 1992).

En las graficas y figuras 5.2, 5.3 y 5.4 se observa que el volumen y área del lago así como su profundidad media han disminuido sustancialmente, mientras que la precipitación se ha mantenido razonablemente constante (Figura 5.7). De la misma forma se aprecia la disminución en las contribuciones del río Lerma y el dramático descenso en el flujo a través del río Santiago (Figura 5.5). Este descenso se debe a la desviación de sus aguas a través del acueducto Chapala-Guadalajara.

Como herramienta de análisis para evaluar la relación hidrológica que permitió visualizar si dicha reducción en las contribuciones del río Lerma se debieron a efectos climáticos o factores antropógenicos derivados de la necesidad de aprovechar el recurso para favorecer el intenso desarrollo urbano, industrial y agrícola que se dio lugar a lo largo de la cuenca durante el periodo de estudio se utilizó el Tiempo de residencia hidráulico (T_w), que involucró el análisis del comportamiento de la relación del volumen del lago y el flujo del río Lerma .

El tiempo promedio de residencia hidráulica fue de 24 ± 6 años, los valores máximos para ambos años coincidieron con en el mes de julio (35-36 años), caso similar ocurrió para el mes de junio en este período con el valor mínimo de 15 años. Los resultados se observan en la figura 5.6.

De acuerdo al estudio realizado por la Comisión Nacional del Agua en 1998, es posible reconocer que a partir de la década de 1970's se inicia un proceso de perturbación hidrológica en el sistema, de tal magnitud que no puede ser atribuible a cambios climáticos, como ocurrió en los 1950's donde se presento una sequía importante en la región. Para la década de los 1980's ocurrió un incremento exponencial en el tiempo de residencia hidráulico que casi llega a los 50 años y que es notoria en la figura 5.6. Por lo tanto la perturbación observada en esta figura debe de ser antropogénico y en los últimos años no se ha hecho nada por revertir esta tendencia y con ello lograr la estabilidad hidráulica del sistema.

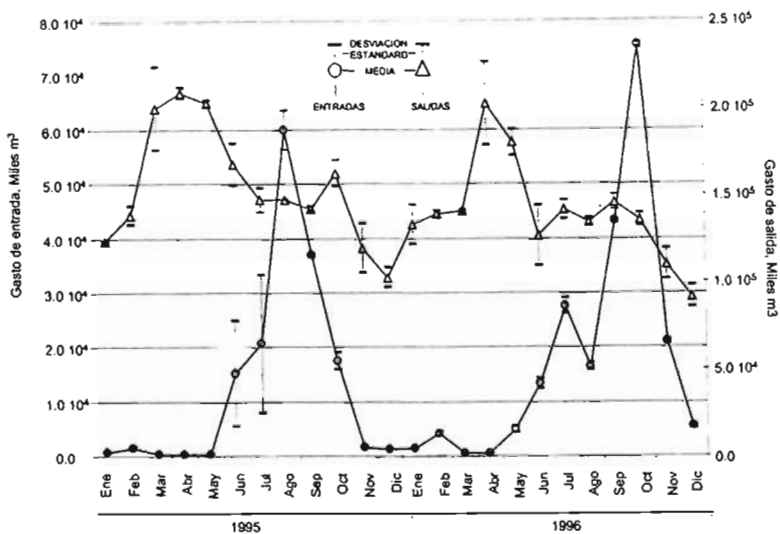


Figura 5.5. Flujos promedio anuales de entrada y salida del río Lerma, Río Santiago y del Acueducto Chapala-Guadalajara en el periodo de 1995-1996.

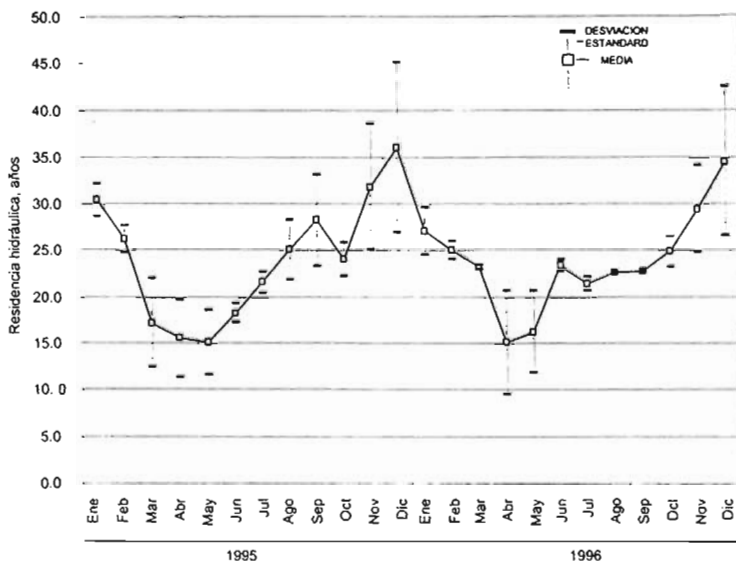


Figura 5.6. Tiempo de residencia hidráulica (T_w), calculado para el río Lerma, (Relación entre precipitación pluvial y flujo del río Lerma en el lago de Chapala).

5.2. Factores climatológicos

La comprensión de la hidrología estacional de un lago es primordial para entender su productividad. Típico de esta latitud, el lago de Chapala que presentó una sola época de lluvias en los meses de junio-julio a septiembre (Figura 5.7) y una de sequía en el resto del año.

Los resultados aun y cuando son diferentes entre las estaciones climatológicas para el periodo de estudio, demuestran un comportamiento uniforme. Al describir cada uno de los climogramas para la red hidrometeorológica la temperatura media fue de 16°C, donde el mes mas cálido fue junio (20°C) y el mes más frío fue el de enero (11 °C) .El mes mas lluvioso fue julio con 5.77 mm y el mas seco el de abril con 0.18 mm, el promedio de esta fue de 2.17 mm año⁻¹. Las lluvias de invierno producen menos del 5% de la precipitación anual. La evaporación promedio anual fue de 4.43 mm año por lo tanto la relación con la precipitación fue de 0.48 por lo que la primera excede a mas de diez veces a la precipitación.

Resulta evidente que existe un patrón de temperatura y precipitación similar en entre cada una de las estaciones debido a que coinciden con el ciclo hidrológico y con el calendario anual de lluvia/estiaje, según los datos obtenidos por la Comisión Nacional del Agua (Figura 5.7).

Los procesos climáticos en el lago de Chapala y áreas aledañas son excepcionalmente complejos y variables. Los pocos datos existentes hacen difícil interpretarlos, además, las variaciones climáticas locales son muy sensibles a las peculiaridades orográficas de esta zona (Filonov, Tereshchenko y Monzón, 1998).

La temporalidad de estos procesos esta demostrado por la mayor incidencia solar que se presenta en los meses de febrero-octubre con un promedio de 441 W m⁻², donde el valor máximo se mostró en mayo (500 W m⁻²) y el mínimo en noviembre (325 W m⁻²), por lo que se puede apreciar que el 75 % del año, el lago recibe una alta radiación solar, esto debido a la situación latitudinal del sistema (Figura 5.8).

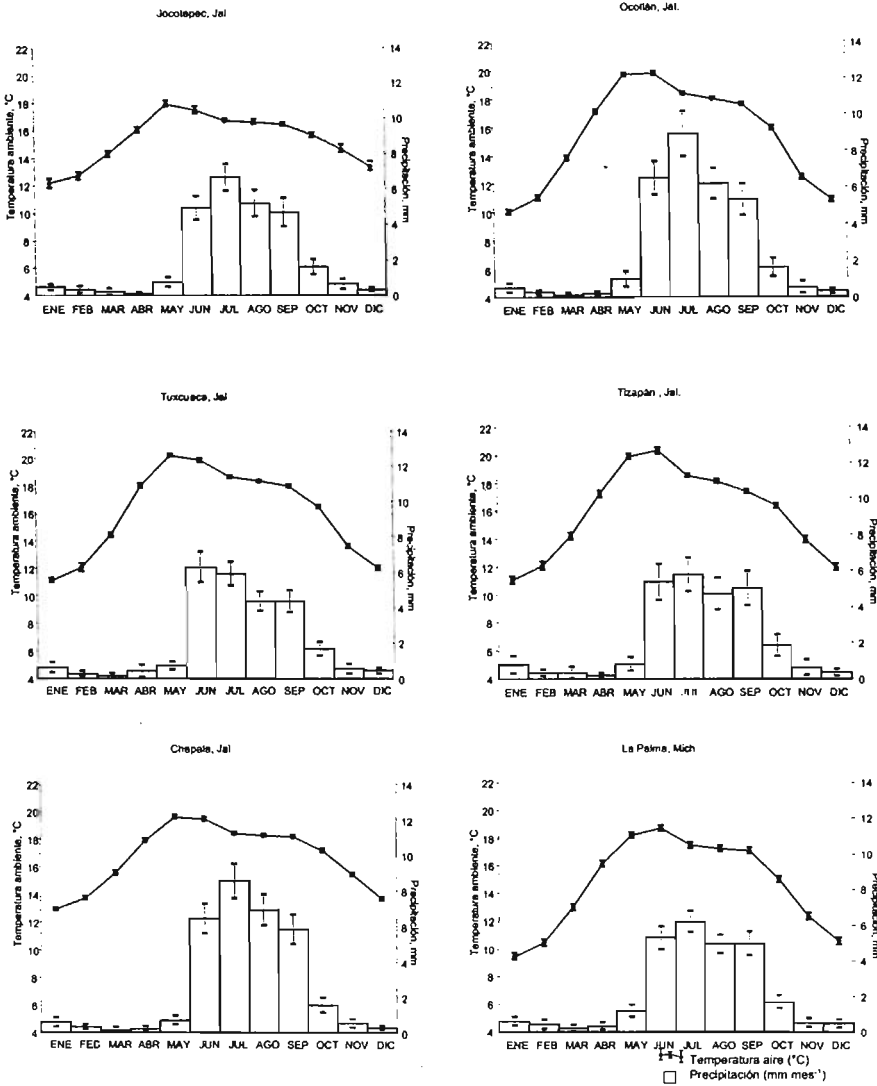


Figura 5.7 Gráficos de precipitación (mm) y temperatura ambiente (°C) promedio mensual en seis estaciones climatológicas del lago de Chapala, Jal.

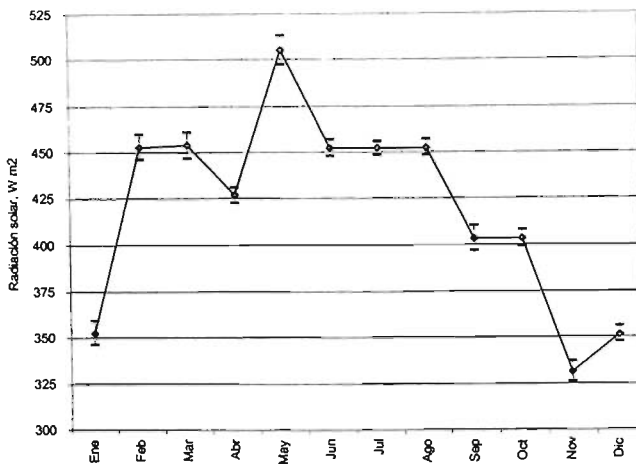


Figura 5.8 Gráfico de la radiación solar anual ($W m^{-2}$) en el lago de Chapala.

Otro factor que afecta el sistema hidrológico del lago es el viento, el cual ejerce un efecto constante sobre la superficie del lago, provocando el movimiento de la masa y la generación de los patrones de circulación. Debido al tamaño, orientación y poca profundidad, el viento es una de las variables ambientales que afectan más al lago de Chapala (Banks y Herrera, 1977; Limón *et al.*, 1989; Filonov, Tereshchenko y Monzón 1998).

La dirección del viento dominante en el lago es del Este al Oeste (Feb-Ago) denominado como Mexicano y la segunda es de Oeste-Este (Sep-Nov), con un tercer componente que influencia ambas hacia el Norte (Figura 5.9). La dominancia es producto de la topografía resultante de la zona montañosa que lo circunda.

La intensidad promedio anual fue de $20.7 km h^{-1}$. con valores máximos y mínimos 44.1 y $2.1 km h^{-1}$. Se destaca que los meses de mayor intensidad son de mayo a septiembre (Limón *et al.*, *op. cit.*; Filonov, Tereshchenko y Monzón, *op. cit.*)(Figura 5.10). Lo anterior permite caracterizar al lago, sin embargo, el patrón de viento es muy variable incluso a lo largo del día (León y González, 1993).

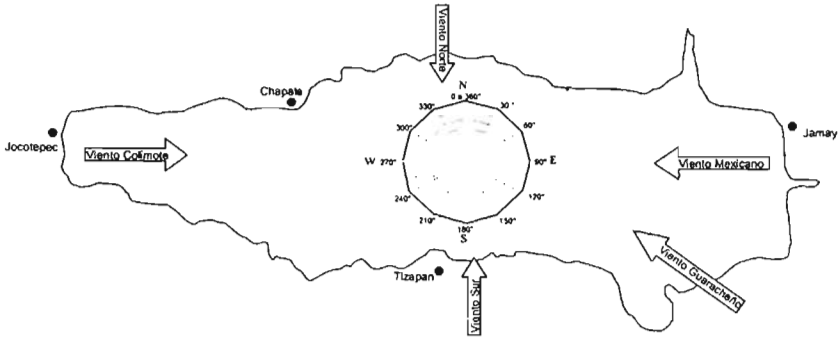
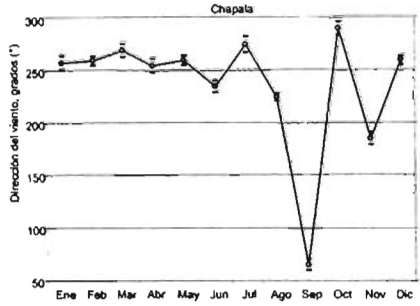
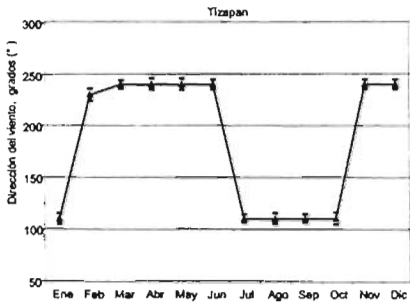
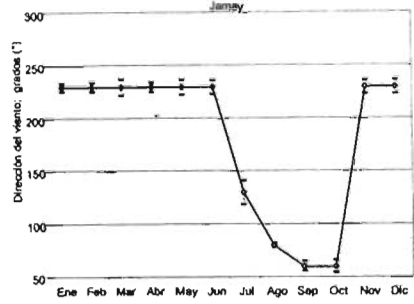
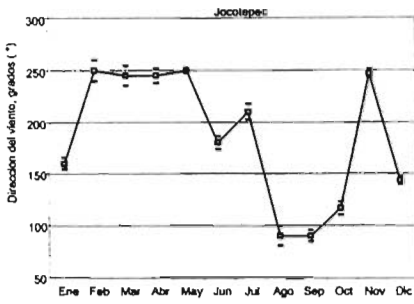


Figura 5.9 Dirección del viento (km h^{-1}) en cuatro estaciones del lago de Chapala

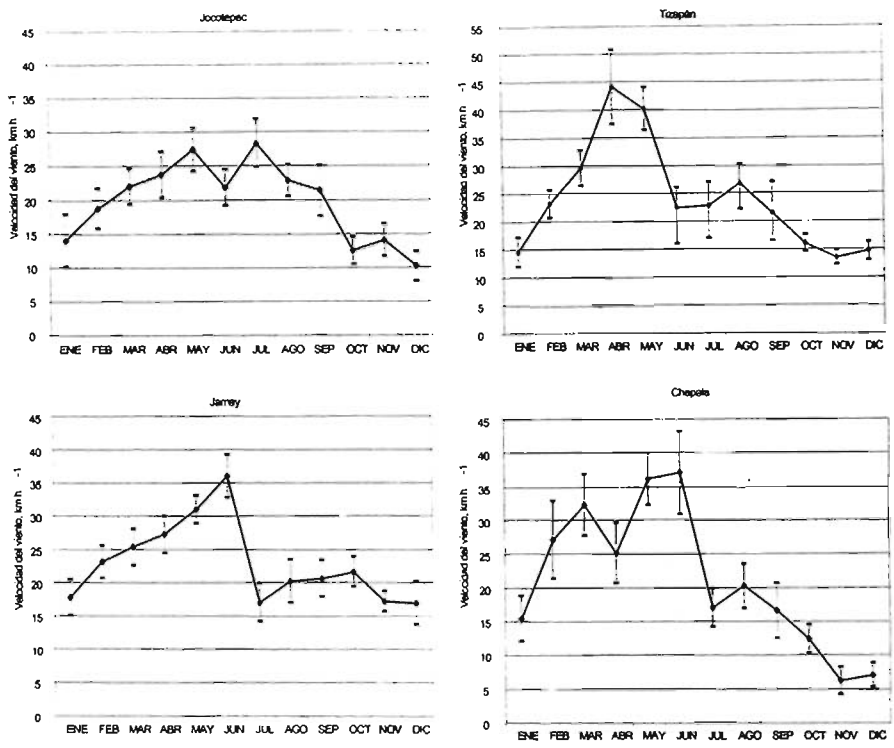


Figura 5.10. Intensidad del viento en cuatro estaciones climatológicas del lago de Chapala.

Por su poca profundidad ($3.88 \pm 0.28\text{m}$)(Figura 5.4), el viento mueve constantemente la columna de agua (Banks y Herrera, 1977; Simons, 1984). La circulación del agua está determinada por el viento y por patrones muy complejos que han sido descritos por Simons (1984). No se sabe si en la actualidad estos patrones continúan, debido a la importante disminución en la elevación de la superficie del lago y en su volumen. El grado de mezclado vertical es impulsado por las corrientes de viento y el efecto de convección.

Al revisar las figuras 5.9 y 5.10 se pudo observar lo siguiente:

- a) El eje este-oeste, coincidió con la longitud máxima del lago, dirección en donde los vientos se presentan predominantemente.
- b) Aunque existen diferencias significativas en velocidad media entre las estaciones, se vio que en los meses de mayo a junio-julio las velocidades del viento oscilan de 28 a 44 kmh^{-1} , asimismo se puede ver que los vientos dominantes son de oeste a este en los meses de enero a mayo y que en el periodo de junio-julio a diciembre son en sentido contrario (E-W).
- c) De manera general la estación Tizapán fue la que presentó la mayor intensidad del viento con 44.12 kmh^{-1} , las estaciones que siguen en magnitud son las de Chapala (37.05 kmh^{-1}) y la de Jamay (36.01 kmh^{-1}) quedando en último lugar la de Jocotepec con 28.34 kmh^{-1} .

Ahora bien, si se compara la velocidad del viento registrada teniendo como referencia la escala Beaufort presentada por Grace (1977), se puede decir que de acuerdo a esta escala, el viento de Chapala en su estado "mas fuerte" se clasificaría de brisa moderada (6-11 km h^{-1}) a brisa leve (12-19 km h^{-1}) que provocan viento que mueve la veleta indicadora de la dirección y las hojas en constante movimiento, respectivamente. Pasando de 19 km h^{-1} el viento es capaz de ejercer un efecto abrasivo por partículas de polvo (Figura 5.10).

Si consideramos que los efectos del viento sobre las plantas, se dan en intensidades de viento a partir de 5 km h^{-1} y que en Chapala las velocidades promedio se presentan en 20.7 km h^{-1} con valores máximos y mínimos frecuentes de 44.1 y 2.1 km h^{-1} , especialmente entre mayo a septiembre, entonces se puede asumir como hipótesis que las plantas del lirio acuático están en constante estrés mecánico ya que las plantas están disgregadas y por lo tanto en densidades menores.

5.2.1 Relación Evapotranspiración (Et) y evaporación (Eo).

La evapotranspiración de las comunidades vegetales acuáticas, ha sido estudiada desde el punto de vista si esta vegetación reduce o aumenta la evaporación en comparación con una superficie libre. El impacto que produce el desarrollo de lirio acuático en los cuerpos de agua cálidos es de alguna manera conocido pero poco documentado. Debido a que ciertos autores como Van Der Weert y Kamerling (1974); Rathore y Maske (1984); Debusk y Ryther (1983); Snyder y Boyd (1987) y Rao (1988)(Tabla 5.2), mencionan que en cuerpos de agua templados la relación evapotranspiración/evaporación del lirio acuático es de 1.6 (mínimo de 1.28 y un máximo de 2.0) más que cuando la superficie acuática está libre de maleza, resultó interesante evaluar este fenómeno en nuestro país donde la pérdida de agua puede ser mayor e importante porque sustenta las inversiones realizadas por el Gobierno Federal en términos de costo/beneficio; donde el incremento en la infestación de los cuerpos de agua por lirio acuático y la creciente escasez de agua, hace necesario establecer una estimación confiable del agua que se está perdiendo por la evapotranspiración de esta planta, de manera que pueda establecerse una estrategia adecuada para el manejo de este problema.

Al aplicar el programa EVALIRIO para medir la evapotranspiración, mostró que los resultados observados en el lago de Chapala, Jalisco presentan un valor promedio en la evaporación de superficie libre de 8.63 ± 0.87 mm y de 7.78 ± 0.46 mm en la evapotranspiración, resultando que la relación entre ambos parámetros fue de 0.928 ± 0.082 (Figura 5.11)

Tabla 5.2. Relación E/Eo obtenida por varios autores en diferentes zonas.

Autor	Mínimo	Máximo	Promedio	Lugar
Van der Weert y Kamerling, 1974	1.28	1.69	1.48	Surinam
Rathore y Maske, 1982	1.63	2.38	2.00	India
DeBusK y Ryther, 1983	0.90	1.70	1.30	Florida
Snyder y Boyd, 1987	1.31	2.52	1.75	Alabama
Rao, 1988	1.30	1.96	1.52	India
Uribe, (presente trabajo)	0.83	1.77	0.93	Chapala, Jal. Méx.
Valores promedio	1.28	2.0	1.6	

Al analizar estos valores Grundwell (1986), menciona que:

- a) La evapotranspiración de los tapetes del lirio acuático pueden exceder lo que corresponde a la superficie libre debido al incremento en el área de superficie, la menor resistencia de estos estratos, etc.;
- b) La proporción entre E_t/E_o depende del estado de crecimiento del clima y la densidad de los tapetes.
- c) El índice de área foliar y de biomasa por encima de la superficie pueden ser indicadores útiles de la proporción E_t/E_o .

De acuerdo con los resultados obtenidos los cuales al ser contrastados nos permiten mencionar que:

E_t/E_o está alrededor de 1 en poblaciones o comunidades grandes, continuas y más o menos homogéneas de hidrófitas emergentes si las condiciones meteorológicas son favorables para la transpiración, las plantas son vigorosas y no sufren déficit hídrico. Bajo condiciones menos favorables tanto del clima como del estado de las plantas, situación que se presenta para los tapetes del lirio acuático ubicados en la zona de Jamay y Jocotepec, donde se encuentra la presencia de lirio fijo y móvil.(Figura 5.11).

$E_t/E_o > 1$ en las zonas de Chapala y Tizapan corresponden a lugares donde se encuentra el lirio marginal formando franjas relativamente angostas que están en contacto con la tierra seca de la ribera. La proporción E_t/E_o aumentará con un aumento del calor por advección de las áreas secas a las húmedas y estará correlacionada positivamente probablemente con la biomasa, el área foliar o la altura de las plantas, suponiendo que las plantas están provistas de agua y las condiciones climáticas son favorables. (Figura 5.11)

Ahora bien Linacre (1976), menciona que las hidrófitas altas reducen la evapotranspiración, mientras que los valores altos de Et informados en la bibliografía se pueden explicar por el "efecto oasis" y la advección del calor. El "efecto oasis" es una consecuencia de la advección de energía térmica de los hábitats secos adyacentes a las zonas de infestación.

Para corroborar esta información Smid (1975), Grundwell (1986) y Rao (1988) reportan que la relación Et/Eo para otras plantas fue la siguiente:

Planta	Et/Eo	Autor(es)
<i>Eichhornia crassipes</i>	1.6	Tabla 5.2 Rao, 1988.
<i>Typha spp</i>	1.75- 2.9	Brenzy, Metha y Sharma, 1973
<i>Scirpus</i>	1.2-1.35	Gessner 1959*
<i>Nymphaea</i>	0.82-1.35	Rao, 1988
<i>Lemna</i>	0.74-0.91	Kuznetzov, 1959*
<i>Salvinia</i>	0.96-1.39	Rao, 1988. Brenzy, Metha y Sharma, 1973

* Citados en Rao, 1988.

De la cual se puede mencionar que la relación evapotranspiración/evaporación para la población de *Eichhornia crassipes* esta en valores intermedios aun y cuando *Lemna* es una planta flotante, pero con menor área foliar. Más sin embargo esta por debajo de plantas arraigadas marginales como es *Typha*, la cual debe su elevada relación al efecto oasis mencionado y a la energía de advección así como a su área foliar mayor.

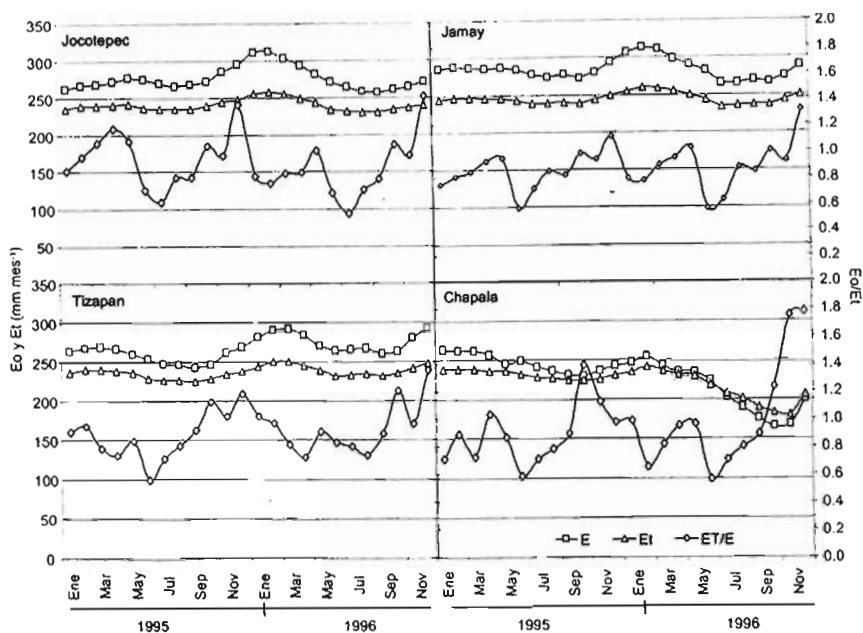


Figura 5.11. Comportamiento de la Evaporación en superficie libre (Eo), de la Evapotranspiración (Et) y su relación (Et/Eo) en cuatro estaciones del lago de Chapala, Jal.

En general y al observar la figura 5.11 se indica que el promedio mensual de la evaporación y de la evapotranspiración fueron de 263.87 y 236.04 mm respectivamente, es evidente que la Eo es 10% mayor respecto a la Et, la cual puede ser debida al "efecto oasis", como lo menciona el trabajo de la FAO 24 (1992).

Ahora bien al obtener los valores diarios de la evapotranspiración para *Eichhornia crassipes* (4.05 a 13 mm día⁻¹) y compararlos con los valores encontrados por Rao (1988), para la misma planta bajo condiciones de clima tropical húmedo (3.8 - 11.8 mm día⁻¹), muestran diferencias no mayores al 10%, por lo que se podría decir que las condiciones ambientales son similares y por tal razón se procedió a comparar los resultados de Et del lirio acuático en el lago de Chapala con otras plantas del trabajo del mismo autor y se anota que *Salvinia molesta* y *Nymphaea lotus*, *Phragmites australis* y

Typha latifolia tuvieron ámbitos de 2.1-6.8, 2.5-6.0, 1.4-6.9 y 2.01-7.7 mm día⁻¹ respectivamente, considerando un 10% de diferencia entre los resultados se puede decir que la Et del lirio acuático es mayor en 30-50%, la cual puede ser atribuida al área foliar lo que ocasiona una menor resistencia entre la atmósfera y el estrato vegetal. Como se explica a continuación.

El proceso de transpiración se explica de la siguiente manera: a medida que las hojas absorben la radiación solar, tienden a volverse más calientes que el aire. Frecuentemente la diferencia de temperatura es de hasta de 2.5 a 5 °C y la cantidad de agua que puede existir en el aire saturado se incrementa a medida que se eleva la temperatura, por lo tanto, el calentamiento de la hoja por los rayos solares aumenta la concentración de vapor de agua y agiliza su pérdida (Bidwel, 1980) .

No es sorprendente, que la proporción de transpiración siga un ciclo diario que tiende a ser paralelo a la intensidad de la luz lo cual coincide con los periodos de mayor incidencia solar, esto da como consecuencia una mayor pérdida al mediodía. La transpiración tiende a aumentar la concentración de vapor de agua en el aire que rodea la hoja, lo que a su vez tendería a disminuir aún más la pérdida de líquido en la planta. Las corrientes de aire contrarrestan esa tendencia al disipar el vapor acumulado. (Bernatowicz, Leszcynski y Tyczynska, 1976).

La transpiración continua en el lirio acuático tiene un constante suministro de humedad disponible. Si el mismo se agota o si la pérdida excede la proporción de consumo, eventualmente se marchita, los estomas se cierran y queda impedida la transpiración. Aunque dicho control puede evitar o demorar que se produzcan serios daños o aun la muerte, ello no puede ocurrir sin consecuencias. La turgencia o estado distendido de las células de las plantas es necesaria para el continuo crecimiento de las mismas: una disminución en la turgidez, o marchitamiento, se refleja en el retraso o inhibición del crecimiento. Aunque la transpiración excesiva puede dañar las plantas y disminuir su rendimiento, es poco lo que se puede hacer para regularla en condiciones de campo, porque factores tales como temperatura, luz y viento son muy difíciles de modificar (Van der Weert y Kamerling, 1974).

La evaporación del agua de la tierra y de las superficies de las plantas ocurre más rápidamente cuando el aire está en movimiento que cuando está en calma. Los vientos calientes y secos y otras características de los mismos durante el periodo de crecimiento de las plantas afectan a la cantidad de agua utilizada por las mismas. (Linacre, 1976; Grace, Ford y Jarvis, 1981).

Las relaciones del lirio acuático en el sistema acuático ha recibido gran atención con respecto a su transpiración. Cholnoky (1952)(Citado en Gopal, 1987) , utilizando células epidermales de lirio acuático para estudiar la permeabilidad al cloruro de sodio y nitrato de potasio, encontró una resistencia a transportar las sustancias alcalinas y esto debido a la naturaleza lipoidal del plasmalema. Gagetti en 1947(Citado en Gopal, 1987), al estudiar la naturaleza del citoplasma de la células de la hoja con relación a la transpiración, observó que la epidermis y no el protoplasma del mesófilo es capaz de regular la intensidad de la transpiración.

La magnitud de la pérdida de agua en la transpiración por lirio acuático ha sido muy controversial pero interesante. Penfound y Earle (1948), reportan que la apertura estomatal del lirio acuático es de dos o mas veces grande comparado con otras plantas, siendo que la distancia interestomatal es de casi ocho veces al tamaño de la abertura. Asimismo, se debe considerar que en estas plantas existe muy poco control de la apertura de los estomas, los cuales inclusive pueden permanecer abiertos al medio día en los días de sol (Penman, 1948 e Idso, 1979) .

Estructural y funcionalmente esto se explica con la figura 5.12, en la cual las hojas muestran una organización isobilateral, con varias capas de células en palizada conteniendo abundantes cloroplastos en ambas superficies bajo la epidermis. La parte adaxial (superior) esta mejor desarrollada que la superficie de abajo (abaxial). En medio de las dos capas de palizada se encuentra el mesófilo lagunar. Los espacios aéreos forman un sistema de canales de aire que son interrumpidos por células sencillas denominadas diafragmáticas.

Los estomas son paracíticos, y distribuidos en ambas superficies. Grundwell (1986) encontró que la apertura estomatal es de 12 a 27 μm , asimismo que la mayor cantidad de estomas se encuentra en la superficie abaxial o superior (236 por mm^2) con respecto a la adaxial o inferior (184 por mm^2). Penfound y Earle (op. cit), observaron que la frecuencia estomatal varía de 120 por mm^2 en la hoja a 20 por mm^2 en la región del istmo y sólo uno por mm^2 en el pecíolo, además de que la distancia interestomatal está influenciada por las condiciones ambientales. Con base en estos resultados se puede concluir que los tapetes de lirio acuático y aun sin cuantificar los de *Typha* (tule), así como el de otras plantas acuáticas emergentes actúan como parásitos en la economía del agua de sus hábitats.

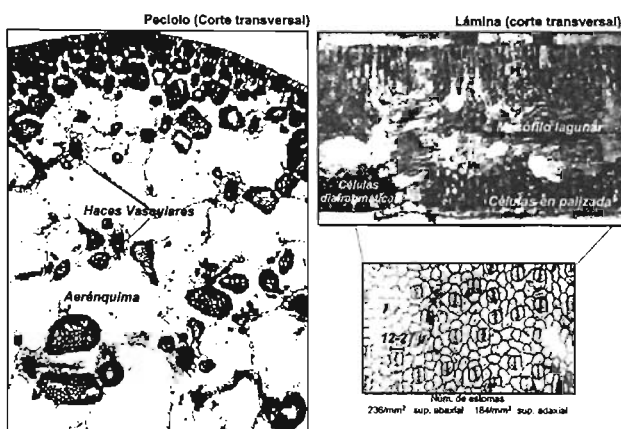


Figura 5.12. Anatomía del pecíolo y de la lámina del lirio acuático, donde se pueden apreciar el tamaño de los estomas y los grandes espacios lagunares (aerénquima).

5.3 Calidad del agua.

Para el periodo de 1995 a 1996, se realizó la evaluación de calidad del agua e identifico los cambios sufridos en el mismo. Los datos promedio para cada estación en el lago, fueron sometidos a una prueba de "ANOVA" para una sola vía, cuyo propósito fue el de establecer la hipótesis "La existencia de diferencias entre las medias observadas corresponden a variaciones debido a que las estaciones difieren en su comportamiento.

Los parámetros comparados fueron pH, Oxígeno disuelto (OD), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Nitratos (N-NO₃), Nitrógeno amoniacal (N-NH₃) y Fosfatos (PO₄) según la expresión dada por Zar, (1974):

Los resultados obtenidos demostraron que con un nivel de confianza mayor al 95%. se acepta la hipótesis nula, de que no existe diferencia significativa para todos los parámetros comparados y para todas las estaciones de muestreo. Bajo este sustento y con el objeto de ser interpretados todos los datos para todas las estaciones, se promedió cada parámetro y se conjunto en un sólo dato, donde fue evidente que el error obtenido durante el muestreo no es superior al 10%, y se puede considerar como homogéneo y significativo (Tabla 5.3).

Tabla 5.3. Resumen de los parámetros de calidad del agua en el lago de Chapala durante el periodo de 1995 a 1996.

Parámetro	Unidades	N	Media	Mediana	Desv.Std.
Oxígeno disuelto (OD)	(mgL-1)	261	6.92	7.09	1.01
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	(mgL-1)	261	2.53	2.10	1.68
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	(mgL-1)	261	35.78	35.00	9.39
pH		261	8.64	8.75	0.65
Nitratos (NO ₃)	(mgL-1)	261	0.24	0.17	0.52
Nitrógeno amoniacal (NH ₃)	(mgL-1)	255	0.20	0.13	0.25
Fosfatos (PO ₄)	(mgL-1)	228	0.80	0.62	0.53

El pH del lago de Chapala es alcalino (8.64 ± 0.65), aunque fluctúa en la neutralidad con valores característicos de aguas naturales debido a la presencia de sólidos suspendidos (fijos y volátiles) indicativos de la dinámica de la cuenca (Arrignon, 1979). Este parámetro tuvo un valor mínimo en el mes de agosto de 1995 con 7.9 unidades de pH y un máximo en junio 96 (9.01). El pH se mantuvo dentro del intervalo permisible para riego (4.5-9) pero varió en más de 0.65 unidades de acuerdo a las condiciones naturales, lo cual es la norma para la protección de la vida acuática (SEDUE, 1985).

Para la interpretación de la variación del oxígeno disuelto en el lago de Chapala es importante tener en cuenta lo mencionado por Mc Neely, Neumanis y Dewyer (1979), quienes demostraron que una concentración menor a 4 mgL^{-1} de oxígeno disuelto o 40% del nivel de saturación para especies tropicales (Peltier, 1978), produce efectos

negativos en la mayor parte de los organismos. Es entonces que en México, se ha establecido un valor para la protección de la vida acuática de 5 mgL^{-1} como un Criterio Ecológico de Calidad del Agua (Diario Oficial de la Federación, 1989) y por lo tanto, es un punto de referencia adecuado que permite interpretar los datos obtenidos en el lago de Chapala, debido a que la concentración de oxígeno disuelto promedio fue de $6.92 \pm 1.01 \text{ mgL}^{-1}$.

En la figura 5.13 se presenta la distribución horizontal del oxígeno disuelto en el lago en función de los datos obtenidos en el periodo de 1995 a 1996. Este periodo permitió comparar el total de los resultados con la época que puede considerarse importante en relación con el abatimiento de la cobertura del lirio acuático (Figura 5.19 y 5.20). Durante 1995, se presentó un gradiente de menor a mayor concentración de oxígeno en dirección este-oeste y en 1996 las mayores concentraciones se presentaron hacia la región media del lago.

En las zonas de la desembocadura del río Lerma y la entrada al río Santiago los valores fueron bajos en relación al resto del lago, sin embargo, dichos valores no son críticos, debido a que están por arriba del 70% del valor de saturación.

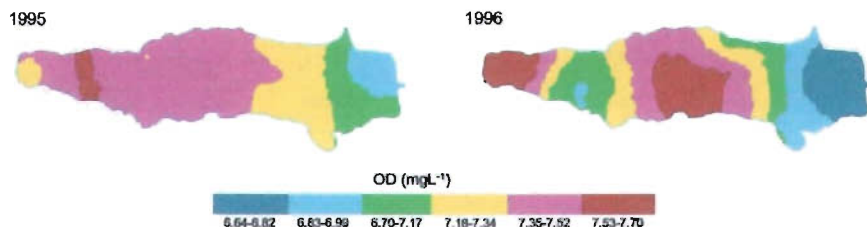


Figura 5.13. Distribución de las concentraciones promedio de oxígeno disuelto (mgL^{-1}) en el lago de Chapala para los años de 1995 y 1996.

La comparación de los datos del periodo de muestreo mostraron diferencias en su distribución (Figura 5.13), aunque esto no refleja un deterioro del sistema por la biomasa incorporada. Por el contrario se observó que en el durante el periodo de estudio, se incrementó ligeramente el nivel de oxígeno disuelto en el lago.

Las diferencias encontradas durante el periodo de muestreo, pueden deberse a la variación de las condiciones meteorológicas, al patrón de circulación del lago y al incremento del volumen que ha venido sufriendo el lago a partir de 1991(Figura 5.14 cobertura, biomasa), por lo tanto, es necesario destacar que las concentraciones menores se presentaron hacia la zona de Jamay y Ocotlán donde se encuentra la desembocadura del río Lerma.

En cuanto a los niveles de la Demanda Química de Oxígeno ($35.78 \pm 9.39 \text{ mgL}^{-1}$), se reportó un valor promedio que está por arriba del considerado como normal para un cuerpo de agua natural (20 mg L^{-1} , Thomann y Muller (1987); donde indican la presencia de descargas y la propia descomposición de materia orgánica. La distribución horizontal (Figura 5.14), muestra de forma general que las zonas de Ocotlán (Este), presentan la mayor concentración, esto puede ser debido a la influencia de los poblados vecinos y a la época del año en la que disminuyen los niveles de agua y concentran las descargas, asimismo se presentó un cambio en el mapeo de 1995 a 1996, en donde se aprecia un incremento en la zona de Ocotlán-Jamay, situación debida a la mayor pérdida y degradación de la maleza de la zona de linio fijo.

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) fue baja ($2.53 \pm 1.68 \text{ mgL}^{-1}$) tomando en cuenta el nivel de 4 y 20 mg L^{-1} mencionados por Mc Neely, Neumanis y Dewyer (1979) y Thomann y Muller (1987), respectivamente. Aun y cuando existen en el lago de dos a tres renovaciones de agua por año, aún y cuando el tiempo de retención hidráulica fue en promedio de 24 ± 6 años. En la figura 5.14 se demuestra un comportamiento similar al de la DQO, situación debida a que la zona Este fue la de mayor concentración como consecuencia de la influencia antropogénica aledaña, la cual va disminuyendo en el lago en forma de gradiente conforme la impulsan las corrientes y el viento en dirección Oeste.

El nitrógeno amoniacal (N-NH_3), durante 1995-1996 presentó un promedio de $0.2 \pm 0.25 \text{ mg L}^{-1}$, siendo este valor muy afectado por los valores máximos y mínimos registrados y por la alta variabilidad en el sistema ($\text{CV} = 215.75\%$), por lo tanto, las concentraciones de

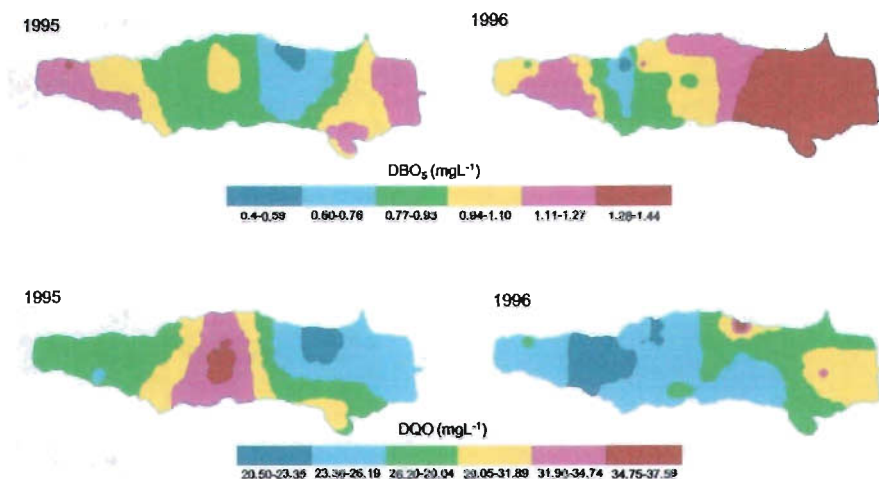


Figura 5.14. Distribución espacial de las concentraciones promedio de la DBO₅ y la DQO (mgL⁻¹) durante 1995 y 1996 en el lago de Chapala, Jal.

nitrógeno como NH₃ no son superiores a 0.2 mgL⁻¹, lo cual coincide con lo reportado por Mc Neely, Neumanis y Dewyer (1979), para las superficies de aguas naturales.

El nitrógeno amoniacal fue de 0,01 hasta 2,02 mg L⁻¹, detectándose este último valor en julio 96, este último valor se encuentra por arriba del límite para protección de la vida acuática que es de 0.06 mg L⁻¹ (SEDUE, 1985.) y como lo mencionan Thomann y Muller (1987), las concentraciones altas son características de contaminación orgánica por residuos domésticos, industriales y de fertilizantes arrastrados al sistema lo utilizan como tal o como sales de amonio. También resulta de la descomposición de la materia orgánica y de la urea. El gas de amonio es soluble en agua como hidróxido de amonio disociándose rápidamente en amonio y iones hidroxilo donde el equilibrio de la reacción depende del pH que en este caso resulta ser alcalino. Asimismo, al considerar que este tipo de nitrógeno es la forma inorgánica mas reducida del nitrógeno presente en el agua e incluye el amoniaco disuelto (NH₃) y el ión amonio (NH₄). El amonio y sus sales son muy solubles en agua y generalmente el ión amonio es una forma transitoria. Contribuye a la fertilidad del agua, ya que es un nutriente esencial de las plantas. El

amoniac consume oxígeno disuelto como resultado de su oxidación bioquímica para producir nitrato y es un constituyente común de los desechos.

La distribución espacial del nitrógeno amoniacal (NH_3) se muestra en la figura 5.15, se aprecia una clara gradiente de mayor a menor en dirección este a oeste. En la zona entre Chapala y San Nicolás, así también se observa un aumento en la concentración del nitrógeno amoniacal, indicando que existe una elevada mineralización de la materia orgánica y/o la presencia de descargas municipales (De Anda, 1995).

Dadas las elevadas concentraciones que se presentan de nitrógeno amoniacal, se esperaría que los nitratos se hubieran elevado también esto debido a las condiciones oxidantes que imperan en el sistema, pero sin embargo, esto no ocurre. La explicación a este hecho es la de Russell (1985), al considerar que una buena cantidad del nitrógeno amoniacal está no ionizado y es volátil.

La nitrificación o conversión de nitrógeni amoniacal o nítrito a nitrato, es el principal proceso del ciclo del nitrógeno esto porque el nitrato (N-NO_3), es la principal forma combinada de nitrógeno que se encuentra en las aguas naturales. La alta solubilidad del ión nitrato, resulta de la oxidación completa de los compuestos nitrogenados (De Anda, 1995). Los nitratos en el lago de Chapala, presentaron una concentración para el periodo de estudio de $0.24 \pm 0.52 \text{ mg L}^{-1}$, donde los valores más frecuentes (99.5%) están en el intervalo de 0.01 a 1.13 mg L^{-1} (Tabla 5.5).

El comportamiento de los datos fue muy fluctuante ya que presentaron un coeficiente de variación muy elevado de 245%, esto debido a las fuentes no puntuales de aporte al lago. Los valores más altos de N-NO_3 se presentan en la zona de Chapala para 1995, sin embargo la zona de Ocotlán (Este), cercana a la desembocadura del río Lerma presenta una variación de 0.26 en 1995 con una clara tendencia a disminuir en dirección este-oeste, situación diferente en 1996 con 0.05 mgL^{-1} , para la misma zona de Ocotlán-Jamay, generalizándose este comportamiento en la mayor parte del lago, excepto en la zona cercana al poblado de Chapala con las concentraciones más altas

($0.37-0.51 \text{ mgL}^{-1}$) la presencia de concentraciones menores de 5 mg L^{-1} reflejan condiciones sanitarias buenas, ya que una de las principales fuentes de nitratos son los desechos animales y humanos. Las plantas son capaces de convertir los nitratos a nitrógeno orgánico. Debido a que los nitratos estimulan el desarrollo de los vegetales, los organismos acuáticos como las algas aumentan su población en cantidades excesivas resultando los "blooms" o florecimientos fitoplactónicos (Lind, et al. 1992) (Figura 5.15).

Como se mencionó anteriormente, el incremento en la concentración de nitratos en el área de Chapala también es posiblemente asociado a la acumulación de lirio acuático y tule en esa zona y quizá por la remoción de plantas arraigadas y de los sedimentos llevado a cabo a principios de 1996, debido a la remoción de las plantas lo que alteró los sedimentos de las áreas marginales produciendo posiblemente una re-suspensión de materiales.

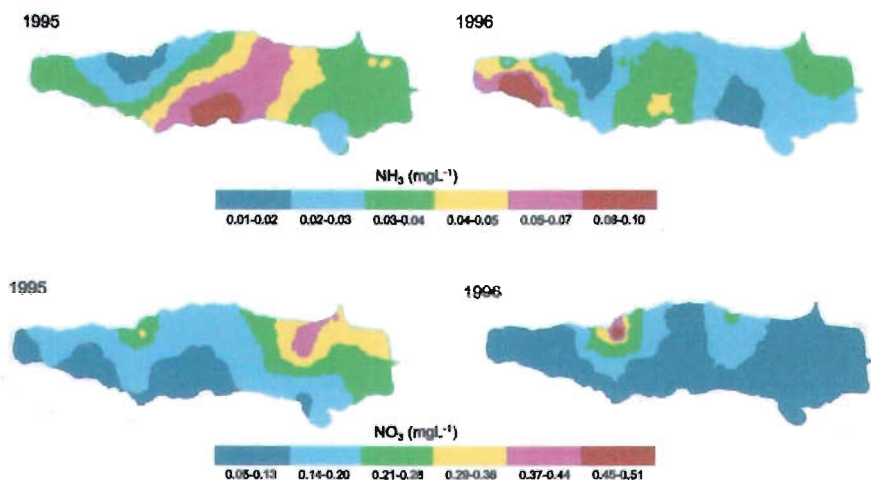


Figura 5.15 Mapa de distribución del nitrógeno amoniacal y de los nitratos (mgL^{-1}) durante 1995 y 1996 en el lago de Chapala, Jal.

Las concentraciones de fosfato promedio encontradas son altas $0.8 \pm 0,53 \text{ mgL}^{-1}$, considerando que los niveles de un lago no contaminado presenta cantidades del orden

de 0.01 mg L^{-1} , según Mc Neely, Neumanis y Dewyer (1979) y superiores al límite establecido de 0.05 mg L^{-1} (SEDUE, 1985), para la protección de la vida acuática.

El nutriente es incorporado a través de la erosión del suelo, precipitación, descargas de aguas residuales y el uso de detergentes y fertilizantes, lo que se comprueba al analizar la figura 5.16, donde no existe un patrón definido de distribución, mas sin embargo si es posible identificar que la zona comprendida entre Chapala y San Nicolás se detectaron las concentraciones más elevadas ($1.21\text{-}1.64 \text{ mgL}^{-1}$).

Esto debido a que la zona está influenciada por una alta mineralización de la materia orgánica, producto de la descarga de aguas residuales y/o la descomposición de la maleza acuática que se ha estado hundiendo desde 1993. Asimismo, pudo influir también la extracción de la maleza de la ribera de esta zona que modificó la capa sedimentaria, sin embargo, no es un patrón respecto a las otras áreas donde se llevaron a cabo labores similares, además, ya en otros estudios de calidad del agua se había manifestado las altas concentraciones de nutrientes en esta zona (De Anda, 1995).

En segundo lugar la zona de Jocotepec mostró una tendencia de ir de 0.77 a 1.20 mgL^{-1} en el transcurso de los dos años. Resulta notorio que la zona de Jamay y Ocotlán son las de menos concentración pero aun así elevadas con relación a los límites permisibles, por lo que para controlar la eutrofización acelerada y por ende el desarrollo de especies indeseables, el fósforo medido como fosfato total no debería exceder la concentración de 0.025 mgL^{-1} (NOM-001-ECOL, 1996).

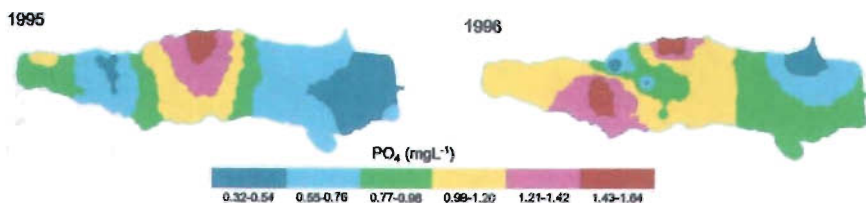


Figura 5.16. Perfiles horizontales de la distribución del fosfato total (mgL^{-1}) durante 1995-1996 en el lago de Chapala, Jal.

5.4 Característica poblacionales

5.4.1 Origen de la infestación de lirio acuático en el lago de Chapala, Jal.

El lirio ha estado presente en el lago y en nuestro país desde principios del siglo XX. Por esta razón fue necesario conocer la situación de esta maleza en la parte alta de la cuenca del río Lerma. Según la Comisión del Lerma-Chapala-Santiago (1962), a mediados de los años cincuenta se presentó en el lago un incremento en el nivel del agua y con ello un incremento en la cobertura del lirio acuático, alcanzando 40,000 ha. No obstante el incremento de la cobertura de la maleza a finales de los cincuenta, no se desarrolló más, sino que por el contrario, la infestación disminuyó paulatinamente hasta dejar de ser un problema.

En esa década posiblemente la calidad del agua era muy diferente a la actual en cuanto al nivel de nutrientes. Es posible que, en la disminución de la maleza en esa época, haya contribuido la salida del lirio por el Río Santiago, lo que no ocurre actualmente de forma evidente.

Si el lirio ha estado presente en el lago desde principios de siglo veinte, se deduce que la infestación ocurrida durante 1993 fue debida principalmente a causas externas, producto del transporte y aportación de grandes cantidades de plantas que fueron arrastradas de la cuenca alta por un incremento en la precipitación durante los años de 1991 y 1992.

En este sentido, se hace notar que el lirio acuático crece y se desarrolla en varios cuerpos de agua de la cuenca Lerma-Chapala, tanto en cauces como en lagunas y embalses, los cuales durante ocho o nueve meses permanecen sin un aporte apreciable de agua la cual posee una importante cantidad de nutrientes (Guzmán, 1995). Por lo que durante la temporada de lluvias, los escurrimientos transportan estas plantas, y buena parte de ellas llega al lago de Chapala. Entre estos sistemas hídricos se cuentan los siguientes.

- Presa Antonio Alzate, Edo. de México.

Este embalse se localiza en el municipio de Temoaya, Edo. de México y tiene un área de almacenamiento de 1200 ha. A finales de 1992 el vaso de encontraba totalmente infestado de lirio acuático.

- Presa Solís, Gto.

Se ubica en el municipio de Acámbaro, Guanajuato. Y tiene un área máxima de 7,714 ha, en 1994 presentó una cobertura de esta maleza del orden del 84 % que significan aproximadamente 6,500 ha, la cuáles se controlaron por medio de control químico a finales de 1994. Es de mencionar que este sistema hídrico, como otros tantos, sufre variaciones en el nivel del agua, por lo que en la época de lluvias existe acarreo de maleza hacia la cuenca del río Lerma.

- Presa Melchor Ocampo, Mich.

Embalse ubicado en el municipio de Angamacutiro estado de Michoacán. La mayor infestación reportada se presento en abril de 1994, cuando la cobertura de los tapetes de lirio cubrió una extensión de 2,095 ha que equivale al 70 %.

- Presa Urepetiro, Mich.

Localizada en el municipio de Tlazazalca, tiene una superficie de inundación total de 300 ha. En este embalse, el Distrito de Riego (DDR) 061 reportó para 1985 infestaciones variables, pero en el mes de abril de 1994 se registró una cobertura del 89 % (267 ha). Resulta importante señalar que este embalse se considera como el principal aporte de grandes cantidades de lirio acuático hacia la red hidráulica del Distrito de Riego y al río Duero, los cuales se incorporan finalmente al Río Lerma.

- Presa Barraje de Ibarra.

Sistema hídrico localizado en el poblado de Briseñas, sobre la corriente del río Duero, el cual desemboca al río Lerma y se incorpora al lago de Chapala. Presenta una superficie máxima de inundación de 200 ha. La infestación por el lirio acuático es debida al aporte de aguas arriba y por el crecimiento y desarrollo en el mismo embalse. El área infestada

esta en el ámbito del 40-50 % que equivalen a 80 y 100 ha respectivamente durante la época de lluvias.

- Arroyos, canales, ríos

Por otro lado, los arroyos temporales y canales de riego del sistema hidráulico de los municipios aledaños al lago como son Poncitlán, Tizapán, La Palma, Briseñas y Chapala han sido, son y serán las fuentes no cuantificadas en cuanto a la cantidad de biomasa que introducen al lago.

El aporte más importante es el río Lerma, debido a que en el tramo comprendido entre la Piedad y la desembocadura al lago de Chapala, el cual tiene una longitud aproximada de 114 km; en donde si se considera un ancho medio de 45 m, y una cobertura del 80%, el área infestada antes del inicio de las lluvias ha sido de aproximadamente 410 ha. El río Zula, es otro aporte significativo de maleza, este presenta una longitud de 21 km en el tramo comprendido entre Ocotlán y Atotonilco, y tiene una longitud cercana a 21 km, y un ancho medio de 20 m lo que significa una cobertura del 34 ha.

La aportación de plantas al lago varía de un año a otro, dependiendo de la magnitud de la infestación al final del estiaje, donde el transporte se realizó con las avenidas de la época de lluvias. En estas condiciones se podría calcular una aportación anual o bianual de 1,100 ha de lirio compactado, la cual pudiera incrementarse dentro del lago en dos o tres veces, situación debida a la tasa de reposición de la maleza bajo condiciones de estabilidad como la alta concentración de nutrientes, la protección de las plantas, amplio espacio de crecimiento, falta de competidores y/o depredadores, así como del volumen de agua suficiente. Según Gutiérrez (1995), el lirio acuático puede alcanzar tiempos de duplicación de la biomasa tan altos como de siete días. Es este sistema, no se debe descartar la alta potencialidad y viabilidad que representan las semillas generadas en épocas de condiciones desfavorables para la planta, donde habría que añadir que la cantidad de semilla procedente de diversas fuentes va a germinar en las áreas de compactación y propiamente en las zonas bajas del lago (Alba, 1995).

Los tapetes del lirio acuático al ingresar al lago de Chapala por las aportaciones del río Lerma o del desprendimiento de algunos de éstos ubicados en la ciénaga del mismo (Zona de Ocotlán-Jamay), de forma visual se encontró que éstos son transportados por los vientos denominados "Mexicano" y "Guaracheño"; quienes lo impulsan de Este a Oeste (Figura 5.9), durante la época de lluvias y durante el día; y el viento llamado "Colimeño", el cual lo regresa de Oeste a Este, pero como es de menor intensidad, la resultante es hacia el oeste. Los vientos del Sur lo empujan sobre la ribera Norte durante el atardecer y durante la noche y los vientos del Norte, lo impulsan lejos de la orilla hacia el centro del lago.

En ocasiones se observó a los tapetes del lirio compactos y en ocasiones dispersas, en la orilla o lejos de ella. Existen áreas donde el lirio permaneció estático, como son las ensenadas o zonas protegidas, en lugares donde es retenido el tule como en la zona donde se encuentra el lirio fijo y en varias ocasiones en las zonas donde existen cercas de alambre colocadas por los agricultores en concesiones de la zona federal y que fueron inundadas al incrementarse el nivel del agua. Otra condición observada fue que durante el invierno los tapetes de *Eichhornia crassipes* se acumularon en la zona occidental del lago (Jocotepec).

5.4.2 Análisis del muestreo.

Con la finalidad de determinar si el muestreo fue significativo se muestra en la tabla 5.4 los valores promedio (\bar{x}), las desviaciones estándar (s), los coeficientes de variación (%) y el error estándar, para cada uno de los muestreos llevados a cabo mensualmente.

APHA *et al.*, (1989), establece que el número de unidades muestrales necesarias para caracterizar la biomasa promedio de las macrófitas cambia proporcionalmente al cuadrado del coeficiente de variación y al inverso del cuadrado del error permisible. Señala también que el coeficiente de variación (CV) asociado con el promedio de la biomasa de las macrófitas es generalmente menor al 50%. En nuestro caso, el valor máximo de biomasa

se presento en el lirio marginal, el cual fue superior al 50 % en julio y agosto de 1995, que es cuando las condiciones de precipitación el área de inundación y por ende de incorporación de plantas arraigadas en la orilla del lago, lo cual pudo ocasionar un aumento en la variabilidad de la distribución de la población. Madsen (1993) sugiere que el valor del error estándar de 10% es un nivel aceptable y por lo tanto en el resto de los meses se presentó una variación menor a dicho valor, lo anterior se explica por la poca variabilidad que se asocia a la distribución del lirio en grandes infestaciones y en cuerpos de agua del tamaño, forma y condiciones ambientales del lago de Chapala, lo anterior permite inferir que el tamaño de muestra (N) fue el más cercano a la distribución real.

Tabla 5.4 Tamaño de muestra (N), valores promedio del peso húmedo (kgm²) por muestreo (\bar{x}), desviación estándar (s), desviación estándar relativa (CV) y el error estándar para los valores de biomasa en el lago de Chapala, Jalisco.

Año	Mes	N	MOVIL				MARGINAL					FIJO				
			\bar{X}	s	CV	Error	N	\bar{X}	s	CV	Error	N	\bar{X}	s	CV	Error
1995	JUL	4	35.00	5.03	14.38	2.52	7	21.71	12.19	56.13	4.61	4	50.00	21.79	43.57	10.02
	AGO	3	52.00	24.98	48.04	14.42	4	39.00	22.95	58.84	11.5	2	52.00	22.63	43.51	9.25
	SEP	4	34.00	6.93	20.38	3.46	7	34.86	9.99	28.66	3.78	5	34.40	4.56	13.26	2.04
	NOV	4	39.00	15.10	38.72	7.55	6	35.33	9.27	26.23	3.78	2	22.00	2.83	12.86	2.00
	DIC	5	29.60	6.07	20.49	2.71	7	29.14	3.80	13.06	1.44	5	28.80	3.35	11.62	1.50
	ENE	5	36.80	7.69	20.91	3.44	5	36.00	8.00	22.22	3.58	5	36.00	2.83	7.86	1.26
	MAR	5	35.20	8.67	24.64	3.88	5	48.00	6.93	14.43	3.1	5	49.60	6.69	13.49	2.99
1996	ABR	5	24.00	8.00	33.33	3.58	5	44.00	8.00	18.18	3.58	5	38.40	10.04	26.15	4.49
	MAY	5	32.80	8.67	26.44	3.88	5	46.40	4.56	9.83	2.04	4	42.00	5.16	12.30	2.58
	JUN	4	39.00	8.25	21.14	4.12	4	33.50	10.50	31.36	5.25	4	38.00	2.31	6.08	1.15
	JUL	4	31.00	10.00	32.26	5.00	6	32.67	3.01	9.22	1.23	5	32.00	2.83	8.84	1.26
	AGO	5	24.80	9.96	40.16	4.45	6	32.67	3.01	9.22	1.23	5	35.20	7.16	20.33	3.20
	OCT	2	36.00	5.66	15.71	4.00	5	36.00	7.48	20.79	3.35	7	30.29	8.28	27.34	3.13

5.4.3 Dinámica del lirio acuático.

El lirio acuático al ser una planta libremente flotadora estuvo a merced de las corrientes, siendo un factor que influye en los procesos de compactación de las plantas y se reflejó en sus características morfológicas y poblacionales, tomando en cuenta la distribución encontrada por el IMTA-DHTA (1994)(Figura 4.3), para mayor comprensión de esta clasificación se describen las zonas por su estructura poblacional y por su situación espacial en el lago.

- Lirio marginal: Los tapetes de la orilla tienen pequeñas laminas con pecíolos globosos y cortos (Figura 5.17). Estos se localizaron asociados a las orillas del lago en franjas variables de 2 a 50 m de ancho.
- Lirio fijo: El lirio acuático presente en estas zonas tuvieron hojas grandes con pecíolos lagos y angostos (Figura 5.17). Estos tapetes estaban localizados en la zona este del lago (Zona de Ocotlán) y se caracterizan por estar asociados a grandes masas de tule (Typha) y a otros tipos de vegetación, por lo que se pueden considerar como plantas del centro.
- Lirio móvil: Son una combinación de plantas con pecíolos globosos y angostos. Estos tapetes se encontraron desplazándose libremente en dirección Este-Oeste, Sur-Norte y viceversa.



Figura 5.17. Esquema generalizado de las formas presentes del lirio acuático en el lago de Chapala donde se muestran las plantas de pecíolos angostos y largos de la zona fija (A), como brotes axilares (B), como ramet (C) y como plantas de pecíolos cortos y globosos de la zona marginal (D). Las estructuras morfológicas son: (Ra) raíces adventicias, (La) lamina foliar, (Pa) Pecíolos angostos, (Pg) pecíolos globosos, (Es) estolón, (Ra) raíces adventicias, (Rz) rizoma, (In) inflorescencia, (Pd) pedúnculo.

Al describir las diferentes zonas, se procedió a organizar y analizar los datos obtenidos durante el periodo de estudio, los cuales se resumen en la tabla 5.5.

Tabla 5.5 Resumen de algunas características morfológicas y poblacionales de *Eichhornia crassipes* en función de su ubicación en el lago de Chapala, Jal.

Tipo de lirio	Biomasa Peso húmedo (kgm ⁻²)	Biomasa Peso seco (kgm ⁻²)	Densidad (Núm. Ind. m ⁻²)	Longitud de Raíz (cm)	Longitud Pecíolos (cm)	Area foliar (cm ²)
Móvil (Mo)	33.75 ± 11.07	2.04 ± 0.63	126 ± 41	10.47 ± 3.99	22.52 ± 15.61	74.25 ± 42.33
Marginal (Ma)	35.36 ± 10.96	2.42 ± 0.57	166 ± 46	8.75 ± 2.86	17.29 ± 10.67	83.65 ± 39.71
Fijo (Fi)	27.94 ± 18.31	2.52 ± 1.94	115 ± 34	9.55 ± 3.34	32.10 ± 18.75	93.40 ± 36.83
Promedio	32.35 ± 13.44	2.32 ± 1.04	136 ± 40	28.77 ± 4.51	23.97 ± 15.01	83.76 ± 39.62

La biomasa como peso húmedo en la clase de lirio acuático marginal, fue decreciente conforme se acercó la época de invierno; la valor promedio fue de 35.36 ± 19.96 kg m⁻², la máxima se presentó en agosto de 1995 y marzo de 1996 con 60 kg m⁻² y la mínima en diciembre de 1995 con 24 kg m⁻² (Figura 5.18). Este comportamiento es comprensible debido a que la temperatura ambiente así como la incidencia solar disminuyen, ocasionando que los procesos metabólicos de esta planta se reduzcan. En cambio el peso húmedo promedio del lirio fijo fue de 27.94 ± 18.31 kg m⁻², en esta zona se encontró una biomasa máxima de 80 kg m⁻² en el mes de julio-95, y una mínima de 20 kg m⁻² para los meses de noviembre-95 y octubre 96. Este tipo de lirio, al igual que el lirio marginal esta sujeto principalmente a la variación del nivel del agua (Figura 5.18).

En este mismo gráfico, la población móvil de *Eichhornia crassipes*, mostró una biomasa máxima en agosto de 1995 con 72 kg m⁻²; un valor mínimo en abril de 1996 de 12 kg m⁻² y una media de 33.75 ± 11.07 kg m⁻². Este tipo de lirio como se menciono anteriormente y se examinó de forma visual, es producto del desprendimiento de los tapetes de las diferentes zonas, principalmente del área de Ocotlán- Jamay, donde se encuentra y es afectado de manera significativa, ya que la altura y la falta de pecíolos

globosos en su mayor parte facilitan el doblamiento de la planta, esto por que el lirio al ser transportado es sometido al efecto cortante del viento y al oleaje, que combinados afectan a las plantas ocasionándoles incluso su hundimiento. Al realizar una relación entre el lirio fijo y el marginal se obtuvo que esta fue de 0.75, es decir que las plantas del lirio fijo poseen mayor biomasa.

Los valores del coeficiente de variación (CV) y el error estándar para el peso húmedo en el lirio marginal fue de 13.33% y 1.94% respectivamente, para el lirio móvil de 27.90% y 4.48; y por último para el lirio fijo de 18.74% y 2.53. Es claro que el coeficiente de variación y el error estándar son altos en las plantas que conforman al lirio móvil, esto debido a que es una combinación de las plantas provenientes de la zonas marginales y fijas, situación similar que se presento en el lirio fijo de la zona de Ocotlán, donde coexisten plantas con y sin pecíolos globosos, donde predominan las segundas.

De forma general, la mayor cantidad de maleza se ubicó en la zona Este (Ocotlán-Petatán) y oeste (Chapala-Jocotepec) del lago, dependiendo de la época del año. Esto como consecuencia del traslado en dirección Este a Oeste y viceversa llegando como punto final a las riberas de éstas zonas (Figura 4.3). Por lo que la biomasa promedio para la zona Oeste (Jocotepec) fue de 35.92 kg m⁻² y para el área de Ocotlán (Este) de 35.52 kg m⁻², lo que significa que las características del lirio presente en ambas zonas es muy semejante, como consecuencia del movimiento originado por el viento. Para confirmar este resultado se comparó con Chapala los valores encontrados en la laguna de Zumpango en el Estado de México, donde el viento también influye (Gutiérrez y Bravo, 1990).

Se aplico entre éstos un análisis de comparación de medias mediante una prueba de "t", resultando que no existen diferencias significativas excepto para el mes de julio donde Zumpango (48 kg m⁻²) presentó una diferencia de 13 kg m⁻² con respecto a la del lago de Chapala (35 kg m⁻²). En suma, al considerar los datos de biomasa en peso húmedo fue debido a que esta característica tiene poca variabilidad para esta especie como ha sido demostrado en otros estudios (Bock, 1966).

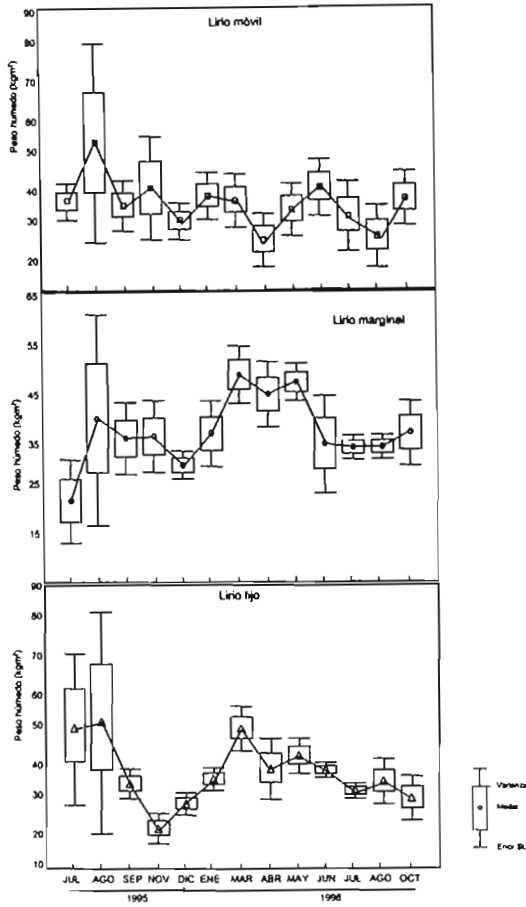


Figura 5.18. Comportamiento de la Biomasa como peso húmedo (kg m⁻²) de *Eichhornia crassipes* en el lago de Chapala, Jal

Respecto a la determinación del porcentaje de humedad de las plantas, se obtuvo un valor de $93.34 \pm 0.43\%$, con un tamaño de muestra (N) de 157. Asimismo, se obtuvo que el coeficiente de variación (CV) fue de 0.0018%, indicando condiciones similares a lo largo del año. Lo anterior origina un valor promedio de $2.32 \pm 1.04 \text{ kg m}^{-2}$ de materia seca en el lago de Chapala, al revisar la tabla 5.6, se puede comparar el valor obtenido con los determinados en Florida, USA que crecieron en medio enriquecido, lo que permite suponer un medio con nutrientes suficientes para su crecimiento (Reddy, Agami y Tucker, 1990).

Tabla 5.6. Registros de biomasa como peso seco (kg m^{-2}) del lirio acuático en diferentes partes del mundo. Gutiérrez, (1995).

Referencia	Peso seco (kgm^{-2})	Sitio/Observaciones
Penfound & Earle, 1948	1.500	Louisiana, USA: estimación en campo
Penfound, 1956	1.276	Louisiana, USA: estimación en campo
Knipling <i>et al.</i> , 1970	2.400	Florida, USA
Wooten & Dodd, 1976	2.970	Plantas creciendo en aguas residuales
Boyd & Scarsbrook, 1975	2.130	Alabama, USA: medio enriquecido
Reddy <i>et al.</i> , 1983	2.310	Florida, USA: medio enriquecido
Sahal & Sinha, 1970	0.723	Ghorakphur, India: estimación en campo
Sahal & Sinha, 1979	0.630	Ghorakphur, India: máximo de Junio
Gopal, obs. pers.	3.460	Bharatpur, India: estimación en campo
Gopal <i>et al.</i> , 1978	2.070	Jaipur, India: estimación en campo
Trivedy, 1980	5.960	Jaipur, India: estimación en campo
Del Viso <i>et al.</i> , 1968	1.400	Cuenca media del río Paraná, Argentina: campo
Lallana, 1981 ^a	2.213	Cuenca media del río Paraná, Argentina: campo
Neiff <i>et al.</i> , 1977	3.200	Cuenca media del río Paraná, Argentina: campo
Marta 1977 (cf. Lallana, 1981a)	2.106	Cuenca media del río Paraná, Argentina: campo
Sabatini <i>et al.</i> , 1983	1.73	Río Paraná entre Goya y Diamante, Argentina. Diciembre 1981 - Marzo 1982
Oki, <i>et al.</i> , 1981	0.963	Japón, máxima en Noviembre
Uribe (Presente trabajo)	2.32 ± 1.04	Lago de Chapala, Jalisco

Sin embargo, en las plantas ubicadas en el lirio móvil se encontró un porcentaje de 95.91% (CV=30.57%), en las plantas de la orilla el valor fue de 90.98 de agua (CV=22.44%) y por último en los tapetes fijos el porcentaje de agua fue del 93.15% (CV=23.88%). Al comparar los tapetes del lirio acuático de la orilla con las del lirio fijo se observó que los primeros tienen una menor cantidad de agua, esto debido a la presencia de pecíolos globosos y a una mayor cantidad espacios aéreos, en cambio las segundas es por una condición contraria pues son pecíolos angostos; asimismo, se puede determinar que las plantas con mayor variabilidad son las del lirio móvil debido a que son una combinación de las otras dos.

Al realizar un análisis de clasificación, aplicando el método de cluster entre los tipos de lirio para el peso húmedo y peso seco, se observó la presencia de dos grupos, el primero que comprende el lirio móvil-fijo y el segundo integrado por los tapetes marginales, dicha prueba se confirma al aplicar la prueba de t de student para muestras dependientes y existir una correlación entre ambos tapetes móvil y fijo (0.38 y 0.4) y que en el caso con el lirio fijo y marginal fue de 0.083 y 0.012, situación atribuida a la acción del viento sobre la zona de Ocotlán con intensidades de viento de 18-35 km h⁻¹.

Aunque es difícil precisar el concepto de individuo en el caso de poblaciones vegetales como el lirio o de otros organismos con arquitectura modular, se utilizó la variable de densidad poblacional, esto con la finalidad de tener otro parámetro de comparación entre las posibles clases del lirio.

La densidad poblacional del lirio acuático presentó un valor promedio de 136 ± 40 Núm. Ind m⁻² durante el periodo de muestreo, con un valor máximo en el mes de enero de 1996 con 295 Ind m⁻² y un mínimo en julio del mismo año con 45 Ind m⁻². Estos valores se pueden deber a que en el mes de enero se llevó a cabo un efecto de refugio contra las bajas temperaturas y el viento; y en julio disminuyó debido a que se incrementa el volumen y el espacio; por lo que planta se encuentra en una fase de adaptación.

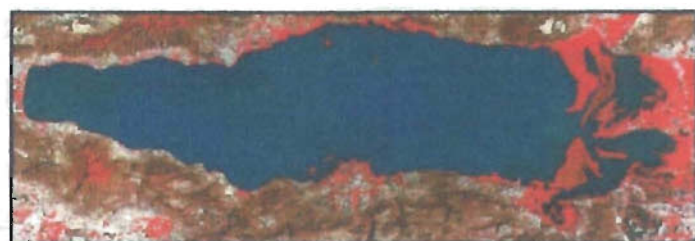
La biomasa y la densidad se comportan de acuerdo a la influencia de la época del año que corresponde a los periodos de lluvia (jul-sep) y estiaje (oct-jun) que se presentan en la zona, ambos determinados por la radiación y la temperatura ambiente, situación que demuestran Gay (1960), quien menciona que el periodo de mayor actividad del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) está estrechamente relacionado con la presencia de valores altos de radiación solar (500 Wm^2) y temperatura ambiente (20°C) en el mes de mayo.

En relación con la cobertura vegetal, que es el otro parámetro que incide en la dinámica poblacional de *Eichhornia crassipes*, las imágenes de satélite permitieron obtener el área infestada y la ubicación de cubierta vegetal del lirio acuático y del tule en el lago de Chapala. Al procesar y analizar de forma supervisada las cuatro imágenes correspondientes a marzo y octubre de 1994, junio de 1995, marzo de 1996 (Figura 5.19), se pudo observar la evolución de la cobertura tanto del lirio acuático y del tule con relación al área y al volumen del lago de Chapala (Figura 5.20).

Resulta así que en enero de 1993, el área infestada por lirio acuático fue de 14,900 ha que equivalen al 13.56% del área total del lago y 3,100 ha (2.82%) de tule. Para 1994, a quince meses (marzo) la cobertura fue del 9.84% de lirio (10,656 ha) y del 2.58% (2,800 ha) de tule por lo que la cobertura del lirio acuático sufre un decremento del 3.82 % que significa un cambio de 4,244 ha.

En el siguiente año (1995), durante el mes de junio el área infestada por los tapetes del lirio acuático sufrieron una reducción considerable ocupando 5,885 ha que representan el 5.77% del área inundada que fue de 101,866 ha en el lago para la misma fecha, lo anterior significa un decremento del 7.79 % en casi dos años y medio.

Para 1996, la población de lirio acuático para el mes de noviembre sufrió un descenso radical, esto al llegar a tener una cobertura del 0.38% que significan 365 ha, valor semejante al del tule que fue de 310.6 ha para el mismo mes.



Mar-84

Área (ha): 108,217
 Vol.(Mm³): 480.6
 Lirio acuático (ha): 10,658 Tule (ha): 2,800



Oct-84

Área (ha): 102,460
 Vol. (Mm³): 488.1
 Lirio acuático (ha): 11,482 Tule (ha): 2,742



Jun-85

Área (ha): 101,666
 Vol. (Mm³): 367.0
 Lirio acuático (ha): 5,885 Tule (ha): 2,087



Nov-86

Área (ha): 96,373
 Vol.(Mm³): 3 225,81
 Lirio acuático (ha): 385 Tule (ha): 310

Figura 5.19. Área (ha), volumen (Mm³) y cobertura de malezas acuáticas (lirio acuático y tule) en el lago de Chapala.

Resulta entonces que el área y la capacidad volumétrica del lago sufren de forma general un decremento, lo cual fue una consecuencia de las actividades antropogénicas (recreación, agricultura, abastecimiento de agua, pesca, deportes acuáticos, así como cuerpo receptor de aguas residuales domésticas, municipales, agrícolas industriales provenientes principalmente de la zona que recorre el río Lerma) (Lind y Dávalos, 2000). Si consideramos una biomasa promedio de $32.35 \pm 13.44 \text{ kg m}^{-2}$ como peso húmedo, se puede inferir que la biomasa total encontrada en el lago de Chapala fue la siguiente :

Año	Mes	Área cubierta (ha)	Biomasa total Peso húmedo (ton)	% de reducción
1993	Enero	14,900	4'820,150	100
1994	Marzo	10,656	3'447,216	71.51
1995	Junio	5,885	1,903,797	39.49
1996	Noviembre	365	118,077	2.44

Al observar la tabla anterior y la figura 5.20, se aprecia una reducción en la biomasa total del 97%, situación que puede ser atribuible a varios factores que a continuación se mencionan.

- Durante 1996 y en los siguientes años, el tule sufrió grandes modificaciones en su posición (Zona este) y abundancia dentro del lago. Debido a que al aumentar el nivel del agua las grandes masas se desprendieron de su anclaje en sedimento (rizoma) y se disgregaron modificando la distribución que se había observado durante el periodo de 1993-1995 (Figura 5.19).
- Las malezas (lirio acuático y tule) quedaron retenidas cerca de la ribera al disminuir el nivel del lago y parte del material fue transportado a zonas agrícolas. En la zona donde estas plantas se enraizaron se procedió a quemarlas removidas para convertir esas áreas en tierras de cultivo (Figura 5.19) .

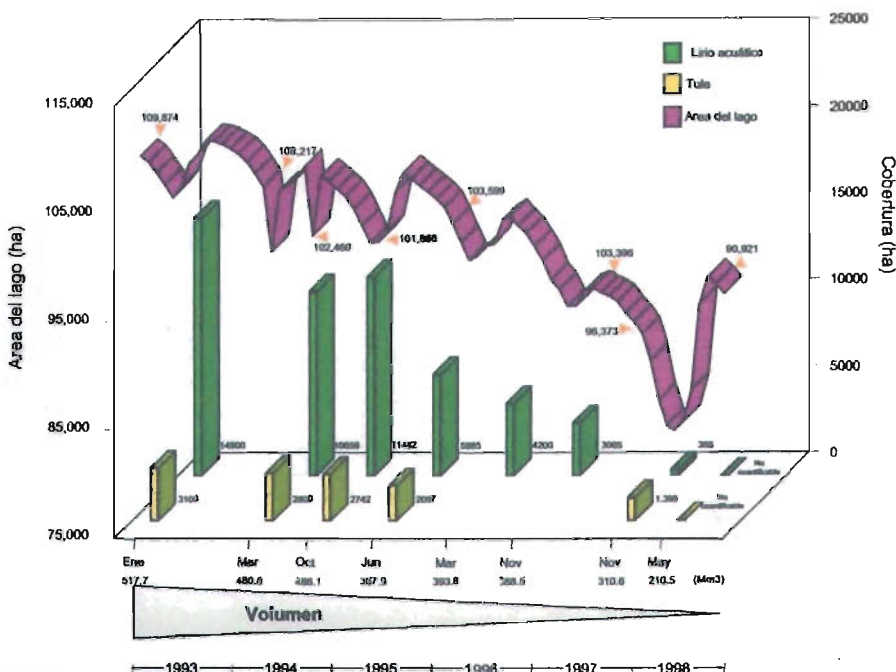


Figura 5.20. La disminución de la cobertura del lirio acuático y del tule en el lago de Chapala, se relaciona directamente con el decremento en el área y volumen.

- Al desaparecer la barrera de tule en la zona de Ocotlán, el lirio ya no contó con el refugio que este le brindaba, lo que ocasionó que este se disgregara y dispersara por efecto de los vientos dominantes; transportándose a grandes distancias y exponiéndose al oleaje y al efecto cortante del viento, ocasionando el hundimiento de grandes masas de plantas. En cambio otras grandes masas se quedaron ancladas en las zonas aledañas al río Lerma secándose a medida que el lago fue perdiendo volumen (Figura 5.20).
- El fenómeno fue provocado por la extracción de agua que se hace del lago en la época de estiaje y con ello se provocó que mucho del lirio se quedará en las orillas y otra parte se muera por desecación. Otra parte mantiene humedad y se recupera con las lluvias en el siguiente incremento de nivel del agua.

- Se ha mencionado que uno de los factores que limitan las poblaciones del lirio acuático es el hidrológico (Figura 5.20). Las bajas de nivel del agua interactivas con los factores climáticos causan anualmente disminuciones sustanciales en el tamaño de poblaciones de este tipo de plantas. Es de notar que al disminuir el nivel del agua en los meses de estiaje, se esperaría como algo similar al ciclo anterior, o sea un aumento en la cobertura de la maleza en los meses subsiguientes, lo cual no sucedió por los factores antes mencionados.
- Faltan muchos datos como para poder dar pautas de esta variación pero se señala que los factores más importantes que influyen en el crecimiento del lirio acuático son el status de nutrientes y la temperatura.
- Los factores mencionados, permiten explicar porque en sitios donde existen condiciones ambientales adecuadas y una disponibilidad de nutrientes suficiente no se presentan las tasas de crecimiento esperadas como quizá ocurra en la presa Solís en Gto. o el caso especial de Chapala en Jal., en donde el aumento de la cobertura del lirio acuático esta relacionada más al aporte de plantas de la cuenca por el río Lerma que al crecimiento de las plantas dentro de este sistema.
- La mortandad de las plantas en la época de invierno debido a las heladas (diciembre-febrero) y la pérdida de biomasa por la baja de nivel en el lago en la época de estiaje (diciembre/abril), permitió que el lirio se postrara, secase y quemara en las riberas de la presa.
- Durante la estación de lluvias el lirio acuático se incorporó por el río Lerma y parte de este se asoció a las grandes masas de tule o las zonas marginales. Otra parte se trasladó hacia el Oeste siguiendo los patrones de circulación de las corrientes. Al desaparecer la barrera de tule el traslado de *Eichhornia crassipes* se hizo más importante. Al no conservarse las zonas de protección el lirio acuático, este fue sometido a fuertes presiones ambientales producto de la acción del viento y el oleaje

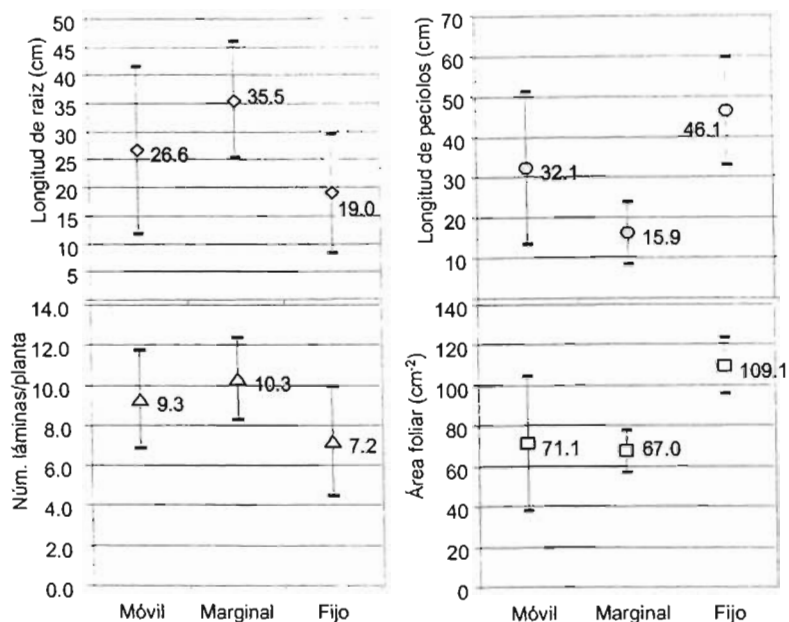
5.4.4 Morfometría del lirio.

Durante el periodo de 1995 a 1996, se realizó una evaluación de los datos morfométricos del lirio acuático, con la finalidad de identificar los cambios fenotípicos sufridos en esta población, donde los valores promedio para cada tipo de lirio, dependiendo la zona de localización, se sometieron a una prueba de "ANOVA" para una sola vía, cuyo propósito fue establecer la hipótesis "La presencia de discrepancias entre las medias observadas corresponden a cambios atribuidos a que las diferentes zonas difieren en su comportamiento". Las medidas comparadas de acuerdo al criterio utilizado por Zar (1974) fueron longitud de peciolas, longitud de raíz, número de láminas por planta y área foliar.

Los valores derivados de esta expresión con un nivel de confianza del 95%, demostraron que no existe diferencia significativa para las mediciones realizadas para cada tipo de lirio dependiendo de la zona de localización y con el objeto de interpretar todos los resultados para cada una de las zonas de lirio acuático, se procedió a promediar cada una de las características morfológicas y de esta manera obtener un sólo dato para cada mes, sustentando esta decisión en que el error obtenido durante el muestreo no fue superior al 10% y por ende, se consideró a los resultados obtenidos como homogéneos y significativos (Figura 5.21).

Por tanto, al analizar la figura 5.21 se puede observar que la longitud de la raíz en las plantas de la orilla fue de 35.5 ± 10.4 cm que supera casi en el doble a la presente en la zona de lirio fijo (19 ± 10.7 cm), en cambio, la longitud de los peciolos para ésta zona fue superior (46.1 ± 13.3 cm) en casi tres veces con relación a las plantas ubicadas en la orilla del lago (15.9 ± 7.6 cm).

Al contar el número de láminas por planta, se encontró que las plantas de la zona marginal tuvieron 10 ± 3 y las de la zona este del lago (lirio fijo) con 7 ± 2 láminas por planta. Esta situación se refleja en el área foliar debido a que al existir mayor número de láminas como ocurrió en las plantas de orilla, éstas tenían un promedio de área foliar de 67 cm^2 por lámina, que es casi la mitad del área foliar de las láminas de la zona de Ocotlán-Jamay con $109.1 \pm 13.8 \text{ cm}^2$ por lámina.



Planta del lirio acuático
Zona fija



Figura 5.21. Comportamiento y representación de las plantas maduras de lirio acuático. Arriba, representación gráfica de los valores promedio de la longitud de raíz , longitud de peciolo, número de láminas y área foliar. Abajo, imagen de las láminas de plantas maduras del lirio marginal y del fijo.

En relación a las plantas que se encontraban desplazándose por el cuerpo de agua del lago de Chapala y son denominadas como lirio móvil (IMTA-DHTA, 1993), se puede decir que presentaron valores intermedios entre las plantas de la orilla y las del lirio fijo, situación que se ve reflejada en la desviación estándar; debido a que estos tapetes son una combinación de ambos, sin dejar de lado que su comportamiento es más relacionado con las plantas del lirio fijo, por lo que se podría decir que son las que dominan dichos tapetes al ser desprendidas de las zonas de origen, incorporadas y trasladadas por la acción del viento y las corrientes. Lo anterior se confirma con la longitud foliar de los pecíolos, los datos mostraron que esta característica es variable y por lo mismo los coeficientes de variación fueron altos (50- 79%).

Para contribuir a estas observaciones, se puede decir que existe una relación inversa entre la longitud de la raíz con la de los pecíolos tanto para el lirio fijo como para el marginal (Figura 5.22) relación que se refleja en el número de láminas y el área foliar por planta (Figura 5.23); lo cual puede ser atribuido a las condiciones ambientales presentes en estas áreas, debido a que en el lirio fijo se observó que las plantas de *Typha*, mantienen una "zona de confort" y de rompe viento. De la misma manera las condiciones del nitrógeno amoniacal ($0.04-0.03 \text{ mg L}^{-1}$), de los nitratos ($0.28-0.13 \text{ mg L}^{-1}$) y de los fosfatos ($1.2-0.55 \text{ mg L}^{-1}$); así como los aportes de agua tanto por precipitación como por el río Lerma ocasionan que el descenso en el nivel de agua no sea tan marcado, generándose una asociación de vegetación tipo humedal entre el lirio acuático y el tule.

Estas características no son similares con las plantas de la orilla del lago, debido a que el nivel de agua varía demasiado, incluso llega a descender tanto, que las plantas del lirio se fijan al sustrato, incrementando la longitud de raíz. Esto es atribuido a que el lirio acuático puede crecer en condiciones terrestres o libremente flotantes (Penfound y Earle, 1948), y se reproduce vegetativamente formando estolones (Ligia Collado, 1997) por lo que en el agua la reproducción vegetativa forma tapetes vegetales compuestos de rosetas individuales e interconectados con los estolones (Sculthorpe, 1967) (Figura 5.17).

Asimismo, no se debe dejar de lado que éstas no están al abrigo del tule por lo que los tapetes del lirio son sometidos a la acción del viento siendo empujadas por el mismo y las corrientes a formar tapetes que se van traslapando, causa por la cual se puede inferir la formación de pecíolos globosos y por ende mayor cantidad de aerenquima (Figura 5.12). Estas condiciones, asociadas a una menor concentración de nutrientes, los cuales se han visto diluidos por el volumen de agua y las corrientes puede ser la causa de este comportamiento como respuesta a la presión ambiental (Figura 5.15 y 5.16).

El sistema de raíces representó del 20 al 50 % de la biomasa de la planta en función de la época de año y al hábitat, en la mayoría de las plantas maduras de lirio el sistema radicular es fibrosa, con densos racimos de raíces principales adventicias y cientos de raíces laterales (Penfound y Earle, 1948). Al aplicar un análisis de conglomerados, resultó que la distribución de la longitud de la raíz es similar a la densidad poblacional, esto debido a que existe la asociación lirio móvil/marginal, quedando de forma unitaria el lirio fijo, situación atribuible a que el nivel de agua y de nutrientes en ambos tipos de lirio son diferentes.

El área foliar de las plantas presentó un comportamiento totalmente diferente pero por demás interesante, en la figura 5.23 se presentan los valores promedio por lámina a lo largo del periodo de estudio, donde se puede observar que el área foliar se incrementa de mayo-julio a agosto, cuando la temperatura del agua y la radiación solar se incrementan, situación que es correlacionada con la biomasa y la densidad poblacional de *Eichhornia crassipes*, por tanto el comportamiento en el tamaño de las láminas disminuyó como lo hacen los parámetros ambientales y como ha sido registrado por Center y Wright, 1991, en un lago de la zona centro-norte de Florida en los Estados Unidos de América, el incremento se presentó de junio a septiembre decayendo hasta llegar a octubre-noviembre, aunque valores altos se encontraron en el lirio móvil en noviembre, resultaría difícil poder interpretar esta aparente contradicción; pero la explicación más convincente se refiere al efecto que tiene el viento sobre la producción, sobrevivencia y mortandad de las láminas de las plantas de esta zona.

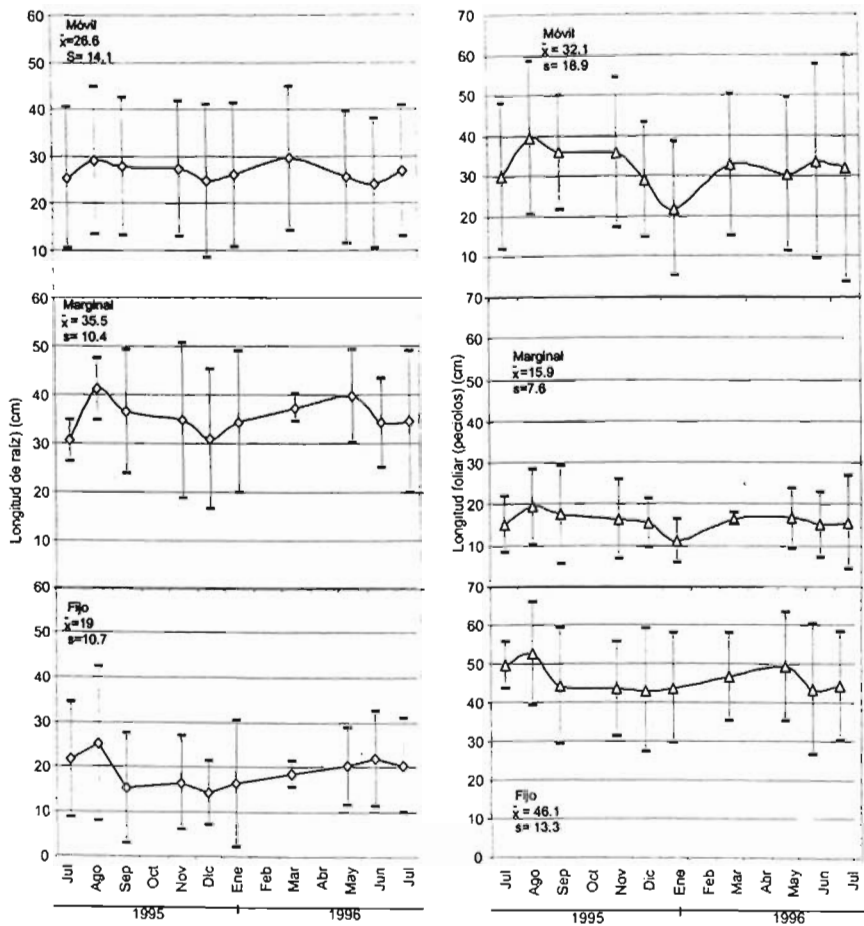


Figura 5.22. Graficas de los valores promedio de la longitud de raíz (cm) y de la longitud de los peciolos (cm) del lirio acuático en sus diferentes zonas del lago de Chapala, Jal.

En Florida los valores máximos de área foliar por planta fueron de 120 cm² (1974) y 103 cm² (1975) ambos en julio. En Chapala el valor máximo fue de 135.4 cm en agosto de 1995 para el lirio fijo y el mínimo en diciembre de 1995 para el lirio móvil con 23.87 cm². Cabe mencionar que en el lago Alice en Florida, se presentaron en noviembre

temperaturas cercanas a 0.5°C y el invierno es más intenso que en Chapala en donde las temperaturas mínimas son menos drásticas, las cuales se presentan de diciembre a febrero siendo de 9 a 12°C y la más cálida de mayo a julio de 27 a 30°C.

Al aplicar el análisis clúster, el comportamiento es similar al reportado para peso húmedo y peso seco, esto debido a que se presentaron dos grupos para la longitud de pecíolos y el área foliar asociándose el lirio marginal/móvil y el segundo grupo formado por el lirio fijo, situación atribuida al efecto del viento donde el lirio marginal se libera y se incorpora al lirio móvil.

En general se puede decir que existen sólo dos tipos de plantas maduras en el lago de Chapala, unas son las plantas de la zona marginal al ser pequeñas con pecíolos bulbosos y con grandes espacios aéreos (aerenquima), contrario las plantas del lirio fijo que son largas, angostas y con espacios aéreos pequeños.

Por tanto, la diferencia entre forma y tamaño se puede considerar igual a la relación de longitud de pecíolo. Por lo tanto, las plantas de la orilla tienen una relación pequeña con los tapetes del lirio fijo. La relación de la longitud del pecíolo ancho, pecíolo grande o la similitud de la longitud del pecíolo con la circunferencia del pecíolo se ha utilizado por varios investigadores para describir las diferencias entre las hojas de las plantas bajo varias condiciones (Pieterse, 1978).

Otra diferencia es la forma laminar, que es diferente en las láminas de la orilla comparadas con las del lirio fijo, es decir que en los tapetes de lirio marginal tienen lámina ancha a lo largo y las plantas de la zona fija tienen lámina relativamente larga aunque esta lámina varía principalmente en el ancho.

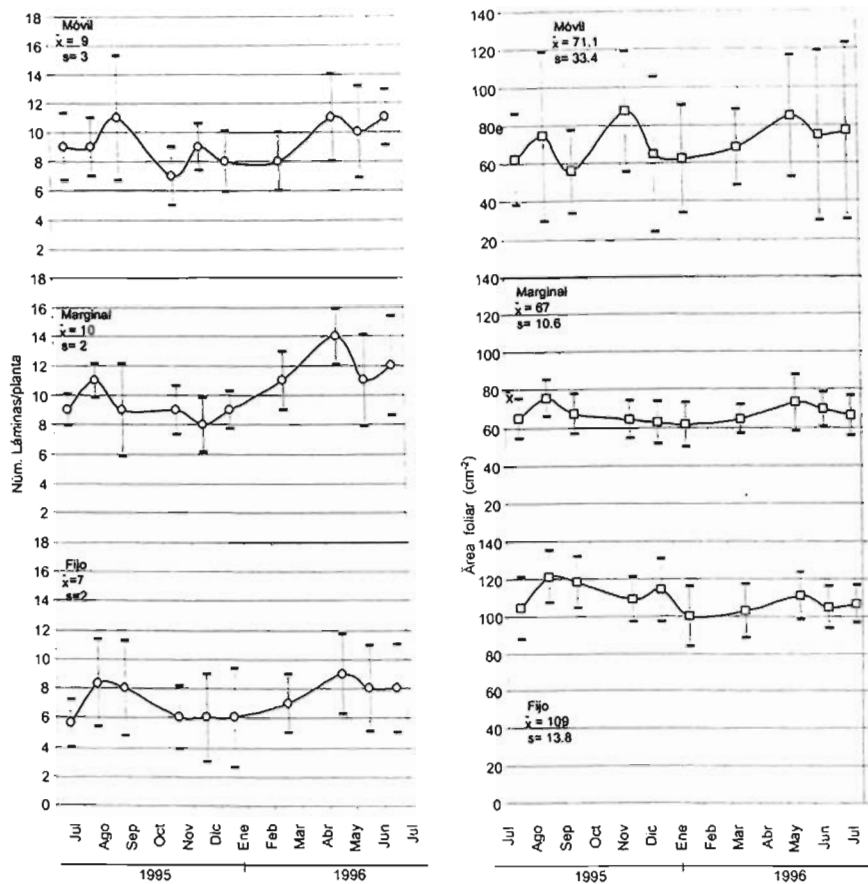


Figura 5.23. Gráficas de las diferentes zonas del lago de Chapala, Jal. con los valores promedio del número de láminas por planta y del área foliar (cm²) del lirio acuático.

Una forma de explicar esta respuesta (a las condiciones ambientales se sustenta en la plasticidad, como la define Bradshaw (1965), que es “la cantidad de la expresión de las características individuales de un genotipo y son cambiadas por ambientes diferentes”, como consecuencia de este fenómeno se presenta la heterofilia inducida ambientalmente, que es un tipo de plasticidad morfológica. El grado de esta plasticidad esta bajo control genético y es presumiblemente una estrategia para la sucesión evolutiva o fracaso de la especie según Cook y Jonson, 1968.

Goebel, (1891 citado en Cook y Jonson, 1968), considera que en las plantas de *Eichhornia crassipes*, la diferencia entre los pecíolos globosos y los angostos se relaciona con la edad. El mismo interpreta esta heterofilia como un desarrollo heteroblástico que es un cambio gradual en la madurez morfológica foliar que ocurre entre una planta joven y una adulta. La evidencia para Goebels, podía ser la presencia de ambos tipos foliares en el mismo tapete. Sin embargo, esta evidencia no distingue entre los cambios ontogenéticos y los ambientales, porque como crece una planta se incrementa la reproducción vegetativa y por tanto también aumenta el tapete alrededor de la misma. Después de un tiempo al incrementarse la edad es relacionado con el crecimiento amontonado. Estos factores son responsables de la heterofilia en las plantas del lirio acuático pero no son decisivas para la sucesión foliar de las mismas.

En contraste a lo mencionado por Goebel, una evidencia contundente esta disponible en el cambio de un tipo de hoja a otra como una respuesta plástica. En *Eichhornia crassipes* las hojas juveniles son lineares y son diferentes a los otros pecíolos de las otras plantas, este desarrollo heteroblástico, superficialmente distinto de la heterofilia es asociado con la posición de la planta en el tapete.

Independientemente a esto Penfound y Earle (1948), demostraron de forma experimental que la formación de diferentes tipos de hojas en las plantas del lirio acuático fue dependiente de las condiciones externas, como son el enraizamiento, sustrato, la sombra y quizás las temperaturas bajas que podrían causar la producción de hojas largas con pecíolos angostos; contrario a las plantas libremente flotadoras

donde se presenta luz, altas temperaturas y la producción de hojas pequeñas y pecíolos globosos, lo que ha dado como resultado las plantas del lirio marginal y fijo. Ellos también demostraron que el cambio de una forma a otra es reversible, por lo tanto este cambio no es resultado del incremento en edad sino también como una respuesta plástica a las condiciones ambientales dicho comportamiento no es exclusivo del lirio acuático pudiéndose observar en otras plantas como se indica en la a continuación:

Especie investigada	Autor
<i>Callitriche spp.</i>	Jones, 1955
<i>Marsilea vetita</i>	Gaudet, 1964
<i>Prosepinaca palustris</i>	Schmidt y Millington, 1968
<i>Ranunculos aquatilis</i>	Cook, 1969
<i>Salvinia sp</i>	Croxdale, 1978
<i>Muehlenbeckia platyclados</i>	Bruck y Kaplan, 1980

Una separación clara del desarrollo heteroblástico de la heterofilia ambiental inducida en *Eichhornia crassipes* hace del lirio acuático un buen sujeto para conocer las bases del desarrollo plástico.

Las diferencias en tamaño de las hojas es una expresión de cambio entre ambas plantas de los diferentes tapetes, viéndose reflejado en otras características poblacionales como es el peso seco. Las plantas del lirio fijo (21.91 ± 1.94 g planta⁻¹) cuyo fue de casi el doble que las de la orilla (14.57 ± 0.57 g planta⁻¹). Mas sin embargo el peso seco se espero en plantas viejas y ocurrió en la mayoría de las plantas del tapete fijo, contrario a las plantas marginales que se forman y expanden al tener mayor espacio, por tanto se podría decir que éstas últimas, son más jóvenes rosetas y el incremento en peso seco se debe a la mayor cantidad de brotes en la plantas de la orilla.

El número de láminas de una planta de la orilla (10 láminas planta⁻¹) comparadas a las presentes en la zonas fijas (7 láminas planta⁻¹) y aplicando la prueba de Wilconson indican una marcada diferencia ($P \leq 0.1$).

Se puede decir que las diferencias encontradas entre las plantas (marginal y fijo), no son resultado de la madurez de las mismas, pero se podría decir que son estrategias de plasticidad a diferencias ambientales. Gopal (1987), mostró que las plantas del lirio acuático responden a cambios en condiciones extremas que ocasionan una variación en la morfología foliar.

Como evidencia de estos cambios, Musil y Breen (1977), reportan cambios en la concentración de aniones entre los tipos de plantas; Ultsch (1973), mostró que diferencias de temperatura, pH, oxígeno disuelto y dióxido de carbono pueden ser algunas causas. Musil y Breen (1977), encontraron cambios en la concentración de varios nutrientes en plantas de diferentes partes del tapete. Ambos estudios sugieren cambios en la fisiología con posición en el tapete. En el caso del incremento porcentual de hojas del tapete fijo el cambio es consecuencia de la proporción de energía invertida en cada hoja, cuyos cambios en la morfología foliar son ambientalmente inducidos. Dichos efectos ambientales responden a diferencias ambientales diferentes, el estímulo relevante es mas uniforme en la orilla que las del centro.

Resulta entonces que los cambios en la actividad fotosintética y los periodos vegetativos/reproductivos de las plantas son consecuencia de los cambios estacionales y por lo tanto, los cambios temporales de las plantas se reflejaron en cambios en sus parámetros poblacionales que a su vez son función de la temperatura, radiación, nutrientes y las condiciones físicas y químicas del área de crecimiento (Lorber, Wishoe y Reddy, 1984).

Para reafirmar esta aseveración, el peso seco muestra que los recursos invertidos en la producción foliar favorece a las plantas ubicadas en los tapetes fijos reflejándose esto en el peso seco, aunque las relaciones fisiológicas entre plantas emparentadas son

desconocidos, la cantidad de reproducción vegetativa entre las dos partes es claramente diferente, la diferencia entre ellas puede ser debida a la variación del costo-beneficio de producción vegetativa en cada lugar. Los cambios en la inversión para la reproducción vegetativa entre las poblaciones de alta y baja densidad ha sido descrito para plantas terrestres por Abramson, 1975, quien propone un intercambio entre la reproducción sexual y vegetativa a diferentes densidades poblacionales, la reproducción vegetativa es favorecida por las bajas densidades y la sexual con las altas.

Aunque este estudio examina solo dos criterios extremos de la morfología foliar, el posible cuestionamiento relacionado a las formas intermedias no se conoce y ni mucho menos las condiciones ambientales que seleccionan estas.

El efecto del viento sobre el lirio acuático es poco conocido, pero existen evidencias de la influencia del mismo en otras plantas. Desde los primeros trabajos relacionados con la respuesta de las plantas al viento se demostró que este es capaz de reducir su productividad medida como peso seco, área foliar o altura, Además de afectar la tasa de transpiración y fotosíntesis, aunque existen diferencias considerables dependiendo de la especie. Algunos estudios han indicado que las plantas pueden ser extremadamente sensibles a efectos mecánicos (Grace, 1977).

6. CONCLUSIONES

6.1 Generales

- Se recopilaron y analizaron los elementos históricos, conceptuales y metodológicos del lirio acuático presente en el lago de Chapala; lo cual tuvo no sólo la finalidad de estimular el interés para que *Eichhornia crassipes* sea objeto de estudio, sino primeramente con la meta de desarrollar una estrategia que solucione el problema a nivel nacional.
- El éxito de *Eichhornia crassipes* se sustenta en sus propiedades estructurales y de adaptación como lo fue en las estrategias de sobrevivencia expresadas en la plasticidad genética, que se reflejó en el fenómeno de heterofilia y que consistió en la presencia de láminas y pecíolos de tamaño y forma diferentes.
- Este fenómeno de heterofilia inducida ambientalmente se consideró que depende de las condiciones externas como son: el enraizamiento, la sombra y quizás las temperaturas mas o menos bajas que podrían causar la producción de hojas largas con pecíolos angostos; contrario a las plantas libremente flotadoras donde se presenta luz, temperaturas relativamente altas y la producción de hojas pequeñas con pecíolos globosos, situación que se evidenció en el número de láminas, longitud de raíz, así como en las mediciones poblacionales de biomasa y densidad. Por lo tanto, la heterofilia se puede considerar como un tipo de plasticidad morfológica que le da éxito al lirio acuático en la sucesión evolutiva.
- El lirio fijo y el marginal están sujetos principalmente, a la variación del nivel del agua, lo que origina la presencia de microhabitats, que aunados a los factores climáticos causan anualmente disminuciones sustanciales en el tamaño de la población del lirio acuático; aun y cuando la biomasa y la densidad del lirio se comportaron de acuerdo al patrón anual, que corresponde a los periodos de lluvia y estiaje que se presentan en la zona; donde dichos periodos están determinados y caracterizados por la radiación, la temperatura y la precipitación pluvial.

- El lirio acuático como macrofito flotante, está a merced de las corrientes del agua, factor que influye en los procesos de compactación de las plantas y que se refleja en sus características morfológicas y poblacionales. La densidad y la biomasa como peso húmedo están sostenidos por las características del viento, generador de las olas y de la mezcla en el sistema.
- La consecuencia de la evapotranspiración (E_t) es la pérdida irrecuperable del agua transpirada a través de las hojas, por lo que los valores encontrados de este proceso para el Lago de Chapala y su relación con la evaporación de superficie libre (E_o) fue de 0.928 ± 0.082 .
- Debido a que la relación E_t/E_o estuvo alrededor de uno, se puede decir que este valor es como consecuencia del tamaño, la homogeneidad y la continuidad de la población del lirio acuático. Situación presente en las plantas ubicadas en los tapetes fijos al ser plantas vigorosas y no sufrir déficit hídrico, considerando las condiciones meteorológicas favorables. Contrario a esto, las plantas localizadas en las orillas y forman franjas relativamente angostas y que están en contacto con la tierra seca de la ribera y son sometidas al efecto de advección térmica. La proporción E_t/E_o aumentó por el fenómeno de advección de energía térmica de los hábitats secos adyacentes a las zonas de infestación secas a las húmedas (Efecto oasis) y estará correlacionada positivamente probablemente con la biomasa, el área foliar o la altura de las plantas, suponiendo que las plantas están provistas de agua y las condiciones climáticas son favorables.
- La respuesta de las plantas al viento demostró que éste es capaz de reducir la productividad como peso seco, área foliar o altura, actuando indirectamente en que afecta la tasa de transpiración y fotosíntesis ocasionando que las plantas sean más vulnerables a los efectos mecánicos generados.

- 6.2. *Particulares*

Entre las posibles causas de la infestación del lirio en el lago se encuentran los siguientes factores:

- Físicos: La infestación ocurrida durante 1993 fue debida principalmente a causas externas, como consecuencia del transporte y aportación de grandes cantidades de plantas que fueron arrastradas de la cuenca alta por un incremento en la precipitación durante los años de 1991 y 1992. Una fuente importante de aporte es el río Lerma, en el tramo comprendido entre la Piedad y la desembocadura al lago de Chapala. La aportación de estas plantas al lago varía de un año a otro, dependiendo primeramente de la magnitud de la infestación al final del estiaje y del transporte con las avenidas de agua.
- Químicos: Condiciones de fertilización en el río Lerma y en las zonas de influencia antropogénica, así como la modificación de la calidad del agua del lago.

La distribución del lirio acuático en el lago de Chapala dio como resultado que esta población vegetal se comportara de la siguiente forma:

- Biomasa como peso húmedo promedio del lirio fue de $32.35 \pm 13.44 \text{ kgm}^{-2}$, la densidad poblacional presentó un valor promedio de $136 \pm 40 \text{ Núm. Ind m}^{-2}$. La biomasa como peso seco fue de $2.32 \pm 1.04 \text{ kgm}^{-2}$ y por lo tanto el porcentaje de humedad promedio fue de $93.63 \pm 0.43\%$.
- La biomasa como peso seco y la densidad son afectados por las épocas del año que corresponden a los periodos de lluvia (jul-sep) y estiaje (oct-jun), ambos determinados por la radiación y la temperatura ambiente, situación estrechamente relacionada con la presencia de valores altos de radiación solar (500 Wm^2) y temperatura ambiente (20°C) en el mes de mayo.

- La cobertura vegetal que incidió en la dinámica poblacional de *Eichhornia crassipes*, permitió determinar una reducción del área infestada de 14,900 ha en 1993 a 365 ha para 1996 lo que significa un decremento del 97%, lo que significa una biomasa total de 118,077 toneladas como peso húmedo. Situación debida a la reducción del área y a la capacidad volumétrica del lago como consecuencia de las actividades antropogénicas, aunado a los los factores climáticos desfavorables.
- Los parámetros morfológicos del lirio marginal como la longitud de raíz (35.5 ± 10.4) cm y de los pecíolos (15.9 ± 7.6 cm) fueron de dos a tres veces más pequeños comparados a los tapetes de lirio fijo presente en la zona este (raíz 19 ± 10.7 cm, pecíolos 46.1 ± 13.3 cm). Situación similar se presento en el número de láminas por planta y que se reflejo en el área foliar debido a que al existir mayor número de láminas como ocurrió en las plantas de orilla, éstas tenían un promedio de área foliar de $67 \text{ cm}^2 \text{ lámina}^{-1}$, que es casi la mitad del área foliar de las láminas con pecíolos angostos no globosos del lirio fijo ($109.1 \pm 13.8 \text{ cm}^2 \text{ lámina}^{-1}$).
- Estos resultados son atribuibles a las condiciones ambientales presentes en estas áreas, debido a que en el lirio fijo se observó que las plantas de *Typha spp.* manteniendo una "zona de confort" y de rompe viento. Por lo tanto, existen dos tipos de plantas maduras en el lago de Chapala, las plantas de la orilla que son pequeñas, pecíolos bulbosos con grandes espacios aéreos (aerenquima), contrario a las plantas del lirio fijo que son largas angostas y con espacios aéreos pequeños confirmando una variación en la morfología foliar denominada como heterofilia inducida ambientalmente. Aunque este estudio sólo determina dos formas foliares, aún se desconocen las formas intermedias o transicionales, así como las condiciones ambientales que determinan la presencia de estas.
- La presencia y permanencia del lirio acuático en el lago de Chapala fue determinado por ciertas características ambientales como:

- Viento dominante (Este a Oeste) y constante (28 a 44 kmh⁻¹) producto de la topografía y conformación de la zona montañosa.
- El 75 % del año el lago recibe una alta radiación solar (441 W m⁻²), esto debido a la situación latitudinal del sistema.
- Las fluctuaciones en la dinámica limnológica como interacción del área, volumen, profundidad longitud máxima, ancho máximo y residencia hidráulica, indican un proceso de perturbación hidrológica en el sistema, que no puede ser atribuible solamente a cambios climáticos sino a la perturbación de origen antropogénico.
- Las concentraciones de oxígeno disuelto (6.92±1.01 mgL⁻¹), DBO₅ (2.53±1.68 mgL⁻¹) y las concentraciones altas de DQO (35.78 ± 9.39 mgL⁻¹). Al nitrógeno amoniacal (0.2 ± 0.25mg L⁻¹), los nitratos (0.24 ± 0.52 mg L⁻¹) donde el nutriente limitante fue el fósforo con 0.8 ± 0,53 mgL⁻¹.

El efecto atribuible al lirio acuático fue el de evapotranspiración el cual se presento de la siguiente forma:

- La relación Et/Eo para la población de *Eichhornia crassipes* se encuentra con valores intermedios con otras hidrófitas como *Lemna* y *Typha*.
- El promedio mensual de la evaporación y de la evapotranspiración fueron de 263.87 y 236.04 mm, lo que signífico diariamente una Et de 4.05 a 13 mm día⁻¹ ((1.53 a 4.93 Mm³ año⁻¹).también es un valor intermedio con otras plantas como *Salvinia molesta* y *Nymphaea lotus*, *Phragmites australis* y *Typha latifolia* tuvieron ámbitos de 2.1-6.8, 2.5-6.0, 1.4-6.9 y 2.01-7.7 mm día⁻¹ respectivamente; diferencias atribuibles al área foliar y al "efecto oasis".

7. RECOMENDACIONES

- Desarrollar una estrategia que solucione el problema ocasionado por las infestaciones de *Eichhornia crassipes* a nivel nacional.
- Elaborar más estudios sobre las propiedades estructurales y de adaptación como la plasticidad genética del lirio acuático en los cuerpos de agua del país.
- Evaluar bajo condiciones controladas o de laboratorio los factores que motivan y estimulan la heterofilia como son la temperaturas del agua y ambiente, la radiación solar, los periodos de luz, los nutrientes, el viento, la variación del nivel del agua, entre otros y su correlación.
- En la evapotranspiración una variable involucrada en el modelo, es la altura del follaje, que de cierto modo representa la biomasa del lirio, en tanto que en otras formulaciones se toma la biomasa directamente. Aquí es importante puntualizar que no hay una relación simple y directa que establezca la biomasa como función de la altura.
- En general se han realizado experimentos para determinar el efecto de nutrientes en la biomasa en los que aparecen la altura del follaje y la biomasa, pero no se sabe de un estudio específico que haya relacionado estas dos variables. Lo anterior implica que se utiliza la altura del follaje en el modelo de evapotranspiración con la expectativa de que esta relación no produzca efectos importantes en la evaporación, sin embargo el mejoramiento del modelo también debe contemplar la realización de experimentos, para establecer si estas hipótesis son verdaderas o si se está sobre simplificando el problema.
- Determinar y cuantificar la advección térmica que ocasiona un "efecto oasis" bajo condiciones controladas.

- El aprovechamiento a largo plazo del lago de Chapala requiere una ordenación y una interrelación de los elementos relacionados con el agua y su calidad, considerando los aspectos que más influyen como el vertido de aguas residuales domésticas mal tratadas, los controles inadecuados de los desechos industriales, las pérdidas y destrucción de las zonas de captación, la ubicación imprudente de las fábricas, la deforestación, la agricultura migratoria y los malos métodos de cultivo debido a que los ecosistemas acuáticos se ven perturbados y los recursos vivos de agua dulce amenazados.
- Es necesario prestar una atención especial a los efectos cada vez más importantes de la urbanización en la demanda y el consumo de agua, así como al papel decisivo que desempeñan las autoridades locales y municipales en la gestión sostenible del abastecimiento, la utilización y el tratamiento general de las aguas.

• BIBLIOGRAFÍA

- Abrahamson, W.G. 1975. Reproductive strategies in dewberries. *Ecology* 56:721-726.
- American Public Health Ass. (APHA), AWWA, WPFC. 1989. Standard Methods for the examination of water and wastewater. 17 Ed.
- Alba, H.I. 1994. Rompimiento de la latencia de las semillas de *Eichhornia crassipes*, Tesis Licenciatura Biología, Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala-UNAM. México. 54
- Arredondo, F. J. L. y D. C. Aguilar. 1987. Bosquejo histórico de las investigaciones limnológicas, realizadas en lagos mexicanos, con especial énfasis en su ictiofauna. En: Contribuciones en hidrobiología. Instituto de Biología. UNAM. 99 pp.
- Banks, B.R., Jaramillo, R.N., Lizarraga, R.J.A. y P.M.A. Predes, 1973. Estudio limnológico del lago de Chapala. SARH, México.
- Banks, R.B. y Herrera, F.F. 1977. Effect of wind and rain on surface reaeration. *J. Environ. Eng. Div., ASCE* 103 (EE3); 489-504.
- Barrett, S.C.H. 1989. Water weed invasions, *Sci. Amer.*, Oct., 90-97.
- Barnatowics, S. Leszczynsky, S. y S. Tyczynska. 1976. The influence of traspiration by emergent plants on the water balance in lakes. *Aquatic Botany*. 2: 275-288.
- Bidwell, 1990. Fisiología Vegetal. AGT Ed. México. 783 p.
- Bock, J.H. 1966. An ecological study of *Eichhornia crassipes* with special emphasis on its reproductive biology. PH. D. Thesis. Univ. de California, Berkeley. 175 p.
- Bradshaw, A. D. 1965. Evolutionary significance of phenotypic plasticity in plants. *Advances Genet* 13: 115-155.
- Brenzy, O, Metha, I. y R.K. Sharma. 1973. Studies on evapotranspiration of some aquatic weeds. *Weed Sci.* 21: 197-203.
- Brower, E.J. ; Zar. J. H. and C.N. Von Ende. 1990. Field and laboratory methods for general ecology, Wm. C. Brown Co. Iowa, EU. 235 p
- Bruck, D.K. y D. R. Kaplan. 1980. Heterophyllic development in *Muehlenbeckia*. *Amer. J. Bot.* 67
- Campos, A.D.F. 1992. Procesos del ciclo hidrológico. Univ. Autónoma de S.L.P. México. Cap. 3.

Center, T.D. y Wright A.D. 1991. Age and Phytochemical composition of waterhyacinth (Pontederiaceae) Leaves Determine Their Acceptability to *Neochetina eichhorniae* (Coleoptera: Curculionidae). *Environmental Toxicology*. Vol. 20, No. 1. 324-334.

Collado, V. L. 1997. Aspectos ecológicos y evolutivos de la arquitectura modular en plantas. *Rev. Chilena de Hist. Nat.* 70, 23-39.

Comisión Lerma-Chapala-Santiago. 1962. El lirio en el lago de Chapala. *Ingeniería Hidráulica en México*. 16(2):55-70.

Comisión Nacional del Agua (CNA). 1998. Lago de Chapala. Datos hidrométricos y de las aguas superficiales. Gerencia Regional Lerma-Santiago. Subgerencia Técnica. Guadalajara, Jalisco. México.

Consejo Consultivo de Evaluación y Seguimiento del Programa de Ordenación y Seguimiento de la Cuenca Lerma-Chapala. 1992. Volúmenes máximos de extracción de agua superficial para los sistemas de usuarios de la Cuenca Lerma-Chapala. Ciclo Nov. 1992 - Oct. 1993. Grupo de Trabajo Técnico, Boletín No. 2. Comisión Nacional del Agua. Gerencia Regional Lerma-Balsas.

Cook, S. A. y M.P. Johnson. 1968. Adaptation to heterogenous environments. Variation en heterophylli in *Ranunculus flammula* L. *Evolution* 22:496-516.

Cook, C. D. K. 1969. On the determination of leaf form in *Ranunculus aquatilis*. *New Phytol.* 68:469-480.

Corell, D. S. y Corell, H.B. 1975. Aquatic and Wetland Plants of Southwestern United States. Vol. I. Stanford University Press. California. 856 pp.

Croxdale, J. G. 1978. *Salvinia* leaves. Origen and early differentiation of floating and submerged leaves. *Cand. J. Bot.* 56:1988-1991.

De Anda, J. 1995. Datos de calidad del agua del lago de Chapala. Trabajo de Campo, muestreo longitudinal en el lago de Chapala. CIATEJ AC. Reporte interno. Guadalajara Jalisco. Agosto.

De Anda, J., Quiñones, S.E., French, R., y M. Guzmán. 1998. Hidrologic balance of lake in Chapala, México. *Journal of the American Water Resources Ass.* 34(6):1319-1331.

De Busk, T.A., Ryther, J. H. and Williams, L. D., 1983. Evapotranspiration of *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms and *Lemna minor* L. in central Florida: relation to canopy structure and season. *Aquat. Bot.*, 16:31-39.

Diario Oficial de la Federación, 2 de diciembre de 1989. Criterios Ecológicos de Calidad del Agua. CE-CCA-001/89.

Dirección General de Usos del Agua y Prevención de la Contaminación (1984). "Proyecto Estudio y Monitoreo del Lago de Chapala", a cargo del Centro de Estudios limnológicos. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.

Donn, L. W. 1975. Meteorology. Mc. Graw Hill. Book. USA. 442 p.

Engman, E. T. 1993. Remote sensing In: Handbook of hidrology. Mc Graw-Hill, Inc. U. S. A.

Escalante, M. Y F.L. León. 1991. Hidrodinámica en el lago d Chapala. Informe Técnico SH-9101. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec, Mor., México. 63 p.

Estrada, F.E. Flores, E.T. y J.E.R. Michel. 1983. Lago de Chapala, Investigación actualizada. Instituto de Geografía y Estadística. Universidad de Guadalajara, Guadalajara, México.

Filonov E. A.; Tereshchenko E.I. y Monzón O.C. 1998 Oscillations of the hydrometeorological characteristics in the region of lake Chapala for intervals of days to decades. *Geofísica International*. 37(4): 293-307 pp.

Food and Agriculture Org. of the United Nations. 1992. Crop water requirements. Rome Italy. 144P.

Galindo, I. y Chávez, A. 1977. Estudio del clima solar en la República Mexicana. I. Radiación Solar Total. Instituto de Geofísica, UNAM, Dirección general del Servicio Meteorológico Nacional. 24 pp.

García, E. 1981. Modificación al sistema de clasificación climática de Köeppen. Instituto de Geografía, UNAM. México, D. F. 252 p.

Gaudet, J.J. 1964. Morphology of *Marsilea vestita*. Morphology of the adult land and sumerged leaves. *Amer. J. Bot.* 51:591-597.

Gay, P. A. 1960. Ecological studies of *Eichhornia crassipes* Solms in the Sudan. Analysis of spread in the Nile. *J. Ecol.* 48:183-191.

Gopal, B. 1987. Water Hyacinth Aquatic Plant, Studies 1, Elsevier Science. Amsterdam, The Netherlands. 471 p.

Grace, J. 1977. Plant response to wind. Academic Press INC (London) LTD. Great Britain. 204 pp.

Grace, J.; Ford, D.E. y P.G. Jarvis. 1981. Some effects of wind on plants. En: Plants and their atmospheric environment. Blackwell Sci Pub. USA. 31-56.

Grundwell, M.E. 1986. A review of hydrophyte evapotranspiration. Rev. Htdrobiol. Trop. 19 (3-4):215-232.

Gutiérrez, L. E. 1989. Técnicas de evaluación del lirio acuático densidad, cobertura y crecimiento. En control y aprovechamiento del lirio acuático de México. IMTA. Serie de Divulgación Núm. 17, 79-100 pp.

Gutiérrez, L. E. y I. L. Bravo. 1990. Caracterización preliminar de la Laguna de Zumpango, Edo. de México y control químico de las malezas acuáticas flotantes, En: Díaz, Z. G. *et al.* Informe del proyecto: Control de la eutroficación y malezas acuáticas, CNA., IMTA., CIECCA., México. 54 p.

Gutiérrez L. E.; Arreguín F.; Huerto R. y Saldaña P. 1994. *Aquatic Weed Control*. Water Resources Development, Vol 10, No. 3.

Gutiérrez L. E. 1995. Experiencias sobre el control del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) en México. Tesis de Maestría en Ciencias (Biología). Facultad de Ciencias, UNAM. México. 178 p.

Guzmán, M. 1992. El lago de Chapala. Información básica. Instituto de Limnología. Universidad de Guadalajara, Jalisco, Méx. 75 P

Guzmán, A. M. 1995. El lago de Chapala. En: Lagos y Presas de México. De la Lanza E. G. y C. J. L. García (Recopiladores). Centro de Ecología y Desarrollo. México. 129-145 pp.

Harper, J. 1981. The concept of population in modular organisms. En May R. (ed) *Theoretical ecology : principles and applicattions* 53-77. Blackwell Scientific Pub. London.

Holm, G.L.; Plunkett L.D. y J.P Herberger. 1977. The world's worst weed, distribution and biology, Published for the east-west center by the University Press of Hawaii, EU. 72-77 p.

Hutchinson, G. E. 1975. A treatise on Limnology. Limnological Botany. Vol. III. Wiley-Interscience Pub. New York. USA. 660 P.

Idso, S.B., 1979. Evapotranspiration from water hyacinth (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solm in Texas reservoirs. Water Resour. Bull., 15:1466-1467.

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 1989. Control y aprovechamiento del lirio acuático en México. Serie de divulgación, No. 17. Jiutepec, Morelos. 152 p.

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 1993. Características del viento en el lago de Chapala. Coordinación de Hidráulica. Cuernavaca Morelos. 44 p.

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua y Diseños Hidráulicos y Tecnología Ambiental. 1994. Programa de Control de Malezas Acuáticas en el lago de Chapala, Jal. Contrato IMTA-93/755.

Jasso, I. R. 1999. Análisis e interpretación de imágenes de satélite. CENID-RASPA. Gómez Palacio Dgo. México. 90 P.

Jones, H. 1955. Further studies on heterophylly in *Callitriche intermedia*. Leaf development and experimental induction ovate leaves. *Ann. Bot.* 19:369-388.

Lafleur, P.M., 1990. Evapotranspiration from sedge-dominated wetland surfaces. *Aquat. Bot.*, 37(4):341-353

Leckie, O.J. 2000. Introduction. In: First International Symposium on the Lerma-Chapala Basin. IMTA. México.

León F.L. 1991. Sistema de información del lago de Cha (SILCH). Informe Técnico SH-9101. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec, Mor., México. 57 pp.

León F.L. y Gonzáles V.L. 1993. Información de viento en el lago de Chápala. Informe Técnico SH-9302/04. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec, Mor., México. 65 pp.

Limón J.G., Lind O. T., Vodopich, D.S., Doyle R. and Trotter B.G. 1989. Long-and short-term variation in the physical and chemical limnology of a large, shallow, turb tropical lake (Lake Chapala, México). *Arch. Hydrobiol./Suppl.* 83 (Monographische Beiträge) 1. 57-81. Stuttgart, Mai.

Linacre, E.T., Hicks, B.B., Sainy G.R. and G. Gaze. 1970. The evaporation from a swamp. *Agric. Meteorol.*, 7:375-386.

Linacre, E.T. 1976. Swamp. En: J.L. Monteith (Ed): *Vegetation and atmosphere*. Vol 2. Academia Press. London.

Lind, O., Doyle, T., Darrell, R., Vodopich, S., Trotter, B. y J.G. Limón. 1992. Lago de Chapala: Factores que controlan la producción de fitoplancton. *Ingeniería Hidráulica en México*. May_Dic. 17-28.

Lind O. and L. Dávalos. 2000. An introduction to the limnology of lake Chapala. In: First International Symposium on the Lerma-Chapala Basin. IMTA. México.

Lopretto, C.E. y G. Tell. 1995. (Dir). Tomo I Ecosistemas de aguas continentales. *Metodologías*. ediciones Sur. La Plata. Argentina.

- Lorber M.N.; Wishoe N.J. y Reddy P.R.: 1984. Modeling and analysis of waterhyacinth biomass. *Ecological Modelling*. 24: 61-77.
- Lot, H. A. 1991. Vegetación y flora vascular acuática del estado de Veracruz. *Fac. de Ciencias, UNAM. México*. pp 165-168.
- Mc Neely, R.N.; Neumanis, P.V.; Dewyer, L: 1979. *Water Quality Sourcebook. A Guide to Water Quality Parameters Inland Waters Directorate. Water Quality Branching. Ottawa, Canadá*. 89 p.
- Madsen. J.D. 1993. Biomass techniques for monitoring and assessing control of aquatic vegetation. En: Madsen J.D. y Bloomfield A.J (eds). *Aquatic Vegetation Quantification for Lake Management. Lake and Reserv. Manage.* 7(2): 141-154.
- Matteucci, D. S. y A. Colma. 1982. *Metodología para el estudio de la vegetación. OEA. Washington, USA*. 167 P.
- May. M.R. 1981. The concept of population in modular organisms. In: *Theoretical Ecology. UK. Blackwell Sci. Pub.* pp. 53-77.
- Mestre, R. E. 1995. La cuenca Lerma- Chapala. En : *Lagos y presas de México . De la Lanza E. G. y C. J. L. García (Recopiladores). Centro de Ecología y Desarrollo. México*. pp. 147-153.
- Miller, R.R. 1986. Composition and derivation of freshwater fish fauna of México. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. IPN. México* 30: 121-153.
- Miranda, M.G.A. y A. H. Lot. 1999. El lirio acuático, ¿una planta nativa de México?. *Ciencias. Enero-Marzo*.
- Monteith, J.L. 1965. Evaporation and environment. *Symp. Soc. Empir. Biol.* 19: 205-234.
- Musil, C.F. and C.M. Breen. 1977. The influence of site and position in the plant community on the nutrient distribution in, and content of *Eichhornia crassipes* (Mart.)Solms. *Hydrobiologia*. 53:67-72.
- Munn, R. E. 1970. *Biometeorological Methods. Academic Press. USA*: 335 P.
- Novelo, R.A. y Gallegos, M. M.1988. Estudio de la flora y la vegetación acuática relacionada con el sistema de chinampas en el sureste del Valle de México, *Biótica*. Vol. 13. No 1-2.
- Novelo, R.A. y Lot, A. 1994. Pontederiaceae. Descripción de la familia y clave genérica. En: Davidse, G.; Sousa, M. y A. Crater (eds). *Flora Mesoamericana. Vol VI Alismataceae a Cyperaceae. UNAM, Missouri Botanical Garden y The Natural History Museum (London) UK*. 65-71.

NOM-001-1996. Norma Oficial Mexicana que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

Olvera, V. 1989. Biología del Lirio Acuático. En: 1^{er} Seminario Taller de Control y Aprovechamiento del Lirio Acuático, del 18 al 20 Enero, 1988, Cuernavaca Morelos IMTA/SARH.1988. 10-22 pp.

Peltier, W. 1978. Method for measuring the acute toxicity of effluent to aquatic organisms, EPA-600/4-78-012, Cincinnati, Ohio, EU. 52 p.

Penfound W.T. y T.T. Earle. 1948. The biology of the waterhyacinth. *Ecological Monographs*. 18: 447-472.

Penman H.L.,1948. Natural evaporation from open soil and grass. Proc. Royal Soc., London series A, 193:120:145.

Pieri P. y M. Fuchs. 1990. Coparison of Bowen ratio and aerodynamic estimates of evapotranspiration. *Agric.Meteor.* 49:243-256.

Pieterse, A. H., 1978. *The Water Hyacinth (Eichhornia crassipes); a review*", Abstr. Trop. Agric., Amsterdam, Vol. 4, núm.2, pág. 9-42.

Rabinovich, J. E. 1980. Introducción a la ecología de Poblaciones animales. Consejo para la enseñanza de biología. México. 290 P.

Rao A. S. 1988. Evapotranspiration rates of *Eichhornia crassipes* Solms, *Salvinia Molesta* D.S. Mitchel and *Niphae Lotus* (Willd. Linn.) in a humid Climate, *Aquat. Bot.* 30, 215-222

Rathore L.S., Maske S.J. y Shaha S.K., 1984. Water Hyacinth and pan evaporation. *Maussam* 35(1):81-86.

Reddy K. R., Agami M y Tucker J.C., 1990. Influence of phosphorus on growth and nutrient storage by water hyacinth (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) plants. *Aquat. Bot.* 37:355-365.

Russell, E.T. 1985. Quality Criteria for Water. Castle House Publications. 256 p.

Sandoval, F. 1981. Obras, sucesos y fantasías en el lago de Chapala. Colección Textos de Jalisco. Gobierno del estado de Jalisco. México. 77 P.

San Roman, G. R. O., Gutiérrez, L.E. y R.I.D. Huerto. 1996. Evapotranspiración del Lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) en sistemas acuáticos. Informe Técnico. Coord. Trat. y Calidad del Agua. Subcooord. Imapacto Ambiental, IMTA. Jiutepec, Morelos. 50 P.

SARH. 1981. Levantamiento Hidrográfico del lago de Chapala, en Jal. y Mich. Dirección General de Estudios, Subsecretaría de Planeación. 270 láminas escala 1:50,000; 11 láminas escala 1:20,000 y gráfica de áreas y capacidades.

Sculthorpe, C.D. 1967. The Biology of Aquatic Vascular Plants. Edward Arnold (eds), London, UK. 610 p.

Secretaría de Programación y Presupuesto. 1988a. Síntesis Geográfica del Estado de Jalisco. Coord. Gral. de los Servicios Nacionales de Estadística Geografía e Informática, 306 pp.

Secretaría de Gobernación y Gobierno del Estado de Jalisco, 1988b. Los municipios del Estado de Jalisco. 440 p.

SEDUE, 1985. Evaluación de información de la calidad del agua del lago de Chapala en el Estado de Jalisco. Recopilación y primera etapa. Subsecretaría de Ecología. Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación del Agua. México 207 p.

Singh, S.B. 1962. Control of some emergent and floating weeds with Taficide-80, Proc. 49th Indian Sci. Cong, pt III:379. Resúmenes

Simons, T. J. 1984. Effect of outflow diversion on circulation and water quality of Lake Chapala. CEL-SARH, Jalisco. México. Pan American Health Org. Proyecto MEX-CWS-010.

Schmidt, B.L. y W.F. Millington. 1968. Regulation of leaf shape in *Proserpinaca palustris*. Bull. Torrey Bot. Club. 95:264-286.

Snyder R.L., Boyd C.E., 1987. Evapotranspiration by *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms and *Typha Latifolia*. Aquat. Bot., 27: 217-227.

Tuomi J. and T. Vuorisalo. 1989. GAT are the units of selection in modular organisms?. Oikos. 54:227-233.

Timmer, C.E. y L.W. Weldon. 1967. Evapotranspiration and pollution of water by water hyacinth control J. 6:34-37

Thomann, R.V. y J.A. Muller. 1987. Principles of surface water quality modeling and control. Ed. Harper & Row. New York. 644 P.

Ultsch, G.R. 1973. The effects of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) on the microenvironment of aquatic communities. Arch. Hydrobiol. 72:460-473.

Van der Weert, R. y G.E. Kamerling. 1974. Evapotranspiration of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) J. Hydrol 22:201-212.

Wester, P., Melville P. y S. Ramos-Osorio. 2000. Institutional arrangements for water management in the Lerma Chapala Basin. En First International Symposium on the Lerma-Chapala Basin. April 10-12. Hotel Real Chapala, Ajijic, Jalisco, México.

Wetzel; R.G. 1975. Limnology. Philadelphia. W.B. Saunders Co. 743 p.

Zar, J.H. 1974. Biostatistical analysis, Prentice Hall INC, EUA. 620 pp.