

00377



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

**POSGRADO EN CIENCIAS  
BIOLÓGICAS**  
INSTITUTO DE BIOLOGÍA

**DIAGNÓSTICO AMBIENTAL PRELIMINAR  
Y PROPUESTA DE REHABILITACIÓN DE LA  
LAGUNA DE ZUMPANGO, EDO. DE  
MÉXICO.**

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:

**MAESTRA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS  
(BIOLOGÍA AMBIENTAL (RESTAURACIÓN  
ECOLÓGICA))**

P R E S E N T A:

**BIOL. FLOR LETICIA RIVERA ALVAREZ**

DIRECTOR DE TESIS: **Dr. ANTONIO OT HELGUERAS**

MÉXICO, D.F.



JUNIO, 2004

**COORDINACIÓN**



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.

ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

## POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS COORDINACIÓN

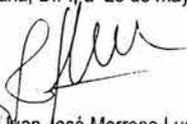
Ing. Leopoldo Silva Gutiérrez  
Director General de la Administración Escolar, UNAM  
Presente

Por medio de la presente me permito informar a usted que en la reunión ordinaria del Comité Académico del Posgrado en Ciencias Biológicas, celebrada el día 11 de mayo del 2004, se acordó poner a su consideración el siguiente jurado para el examen de grado de Maestría en Ciencias Biológicas (Biología Ambiental (Restauración Ecológica)) del alumno(a) Rivera Álvarez Flor Leticia, con número de cuenta 90222784, con la tesis titulada: "Diagnóstico ambiental preliminar y propuesta de rehabilitación de la Laguna de Zumpango, Edo. de México", bajo la dirección del(a) Dr. Antonio Lot Helgueras.

Presidente:	Dra. Alma Delfina Lucia Orozco Segovia
Vocal:	Dra. Leticia Merino Pérez
Secretario:	Dr. Antonio Lot Helgueras
Suplente:	Dr. Ricardo Reyes Chilpa
Suplente:	Dr. Jorge Enrique Gama Castro

Sin otro particular, quedo de usted.

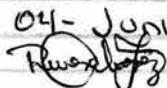
Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
Cd. Universitaria, D.F., a 28 de mayo de 2004.

  
Dr. Juan José Morrone Lupi  
Coordinador del Programa

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.  
NOMBRE: Flor Leticia Rivera A.

c.c.p. Expediente del interesado

FECHA: 04 - Junio - 2004

FIRMA: 

“Contemplar no es comprender, mirar no es ver, ver no es saber.  
Además, no todo se deja ver. Lejos de exhibirse en la luz de la  
evidencia,  
el universo oculta sus leyes. La realidad es capaz de no ser más que  
una ilusión y la evidencia no es garantía de verdad”.

Ikram Antaki.  
(Diálogos de Platón. Filosofía.)

Entreteneos aquí con la esperanza.  
El júbilo del día que vendrá  
os germina en los ojos como una luz reciente.  
Pero ese día que vendrá no ha de venir: es éste.

Jaime Sabines.  
Recuento de Poemas. (1950/1993).

*El planeta tierra es nuestra casa,  
la nave que nos transporta en el espacio,  
es aquí en la tierra donde se engendra la vida tal  
y como la conocemos,  
es urgente aprender a amar sus desiertos, bosques,  
selvas, océanos, lagos y ríos,  
para que la semilla continúe germinando.*

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México, al Instituto de Biología de la UNAM y a todos los profesores que dentro de la maestría han contribuido a mi crecimiento profesional y académico dentro de la maestría.

Con un profundo respeto, agradecimiento y cariño, a los Doctores Antonio Lot, Ricardo Reyes, Alma Orozco y Jorge Gama, por todo el apoyo, tiempo y paciencia que me brindaron durante la realización y revisión de este trabajo.

A la Dra. Leticia Merino por su tiempo y recomendaciones en la revisión de la tesis.

A la Mtra. Julia Carabias por el entusiasmo que me ha transmitido para proseguir por este camino de la restauración ecológica.

Al Dr. Sergio Palacios, al Mtro. Teodoro, al Biol Daniel, del Dpto. de Edafología del Instituto de Geología; a las personas que colaboraron conmigo en el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares; al Instituto de Geografía por las imágenes aéreas y de satélite proporcionadas.

Con mucho cariño a Georgina Méndez y a Rocío (secretaría del posgrado en el Instituto de Biología) por toda la paciencia que me han brindado.

Al profesor Vicente Arriaga por su amistad, cariño, paciencia, apoyo y consejos que me brindó. Muchas gracias.

A todos aquellos que de alguna manera han contribuido a la realización de este trabajo: Biol. Rocío Delgado, QFB. Alejandro Tovar, Oscar Hernández, Roberto Otáñez, Biol. Lourdes Cruz, Biol. Iván Pérez y a los pescadores de la Laguna de Zumpango.

Este proyecto fue financiado por la Fundación Packard y contó con una beca de CONACYT.

Este trabajo lo dedico a:

Mis padres por transmitirme el amor por la naturaleza, por todo el cariño e infinita paciencia que solo ustedes saben dar. Los quiero mucho y les estoy muy agradecida por la vida que me han dado.

Mis hermanos por compartir conmigo la vida y disfrutar siempre de mis pequeños triunfos. Los quiero mucho y espero que siempre estén conmigo.

Mis cuñados Pilar y Ramiro por el apoyo, amistad y tolerancia que me han brindado.

Mis sobrinos Andrés, Emiliano y Samuel por inyectarme vida con su sola existencia. Los adoro por igual a los tres.

Mis tíos José, Belem y su hijo José Alberto, por todo el cariño a través de mi vida. Por la paciencia y tolerancia que siempre me han tenido, gracias por estar conmigo.

Mis tíos Calixta, Jesús y familia, por que se que aun en la distancia siempre me apoyan.

A todos mis amigos por compartir mis alegrías, tristezas y fracasos; por el apoyo y ánimo en la constante lucha de la vida. Gracias por seguir hilando las historias que dan sentido a mi existencia. Aidé Ríos, Alejandro Tovar, Araceli Lara, Azucena Reyes, Itzel Cuellar, Cynthia, Gustavo Guzmán, Iván Pérez, Lourdes Cruz, Luis Miguel C, Manuel Becerril, Miroslava Cruz, Nayeli Murueta, Ramón, Ricardo y Oscar.

A la señora Socorro Villalobos y al seños Jorge Lara por la amistad y apoyo brindados durante tantos años.

A la Sra. Socorro Terán, al señor Diego Cruz, a Diego Cruz, Dina, Erick, Yazmín, Juan Carlos, Maritza, Marusia, Vania y Quique, por los momentos tan gratos y especiales que he compartido con cada uno de ustedes.

A mi Universidad por seguir brindándome un espacio en la construcción de mi conocimiento.

---

# CONTENIDO

Pág.

RESUMEN

JUSTIFICACIÓN ..... 1

MARCO TEÓRICO ..... 3

1. GENERALIDADES ..... 3

1.1. Impacto ambiental ..... 3

1.2. Diagnóstico ambiental ..... 3

1.3. Desarrollo sustentable ..... 3

1.4. Ecología del paisaje ..... 4

1.5. Restauración ecológica ..... 4

1.6. Rehabilitación ..... 4

2. HISTORIA DE LA LAGUNA DE ZUMPANGO COMO PARTE  
DE LA CUENCA DEL VALLE DE MÉXICO ..... 5

2.1. La Laguna de Zumpango en la época prehispánica ..... 6

2.2. Deseccación de la Laguna de Zumpango ..... 8

2.2.1. Época prehispánica (siglos XIV y XV) ..... 8

2.2.2. Época colonial (siglo XVI) ..... 8

2.2.3. Siglo XVII ..... 9

2.2.4. Siglo XVIII ..... 10

2.2.5. Siglo XIX ..... 10

2.2.6. Primera mitad del siglo XX ..... 10

2.2.7. Segunda mitad del siglo XX ..... 13

2.2.8. Primeros años del siglo XXI ..... 14

2.3. Registros de la flora y fauna acuática de la cuenca del Valle de  
México ..... 15

3. FUNCIONAMIENTO ECOLÓGICO DE LOS HUMEDALES ..... 18

OBJETIVOS ..... 21

ZONA DE ESTUDIO ..... 22

MATERIAL Y MÉTODO ..... 25

1. FACTORES SOCIALES E HISTÓRICOS ..... 26

1.1. Manejo socio-económico ..... 26

---

---

1.2. Crecimiento poblacional .....	26
1.3. Proyectos realizados en la laguna .....	26
1.4. Interés de la población .....	26
2. FACTORES ABIÓTICOS .....	28
2.1. Caracterización de la laguna .....	28
2.2. Caracterización espectral de la zona aledaña a la laguna .....	29
2.3. Estado físico-químico del suelo sumergido .....	29
2.4. Estado físico-químico del agua .....	30
3. FACTORES BIÓTICOS .....	32
3.1. Estado microbiológico de la laguna .....	32
3.2. Identificación de la flora y comparación con registros anteriores .....	32
RESULTADOS Y ANÁLISIS .....	33
1. FACTORES SOCIALES E HISTÓRICOS .....	33
1.1. Manejo socio-económico de la zona .....	33
1.2. Crecimiento poblacional .....	36
1.3. Trabajos gubernamentales .....	39
1.4. Interés de la población .....	41
2. FACTORES ABIÓTICOS .....	44
2.1. Caracterización de la laguna .....	44
2.2. Caracterización espectral de la zona aledaña a la laguna .....	45
2.3. Análisis físico-químico del sedimento .....	53
2.4. Análisis físico-químico del agua .....	53
3. FACTORES BIÓTICOS .....	60
3.1. Estado microbiológico del agua .....	60
3.2. Identificación de la flora acuática y comparación con registros anteriores .....	62
DISCUSIÓN .....	67
CONCLUSIONES .....	82
PROPUESTA DE REHABILITACIÓN .....	84
1. DESARROLLO DE LAS FASES DE LA PROPUESTA DE REHABILITACIÓN ....	87
1.1. PRIMERA ETAPA .....	87

---

---

a) Formar asambleas y foros de discusión .....	87
b) Establecer convenios con las instituciones interesadas .....	88
c) Crear grupos de trabajo .....	89
1.2. SEGUNDA ETAPA .....	89
a) Tratamiento del agua .....	89
b) Revegetar el sistema acuático .....	97
c) Establecimiento de chinampas .....	100
1.3. TERCERA ETAPA .....	103
a) Reintroducción de la fauna acuática .....	103
b) Revegetación de la zona perimetral de la laguna .....	104
c) Construcción limitada de establecimientos para venta de alimentos .....	107
d) Reparación de la isla .....	108
1.4. CUARTA ETAPA .....	108
a) Unidades de recurso .....	108
b) Rol de usuarios .....	109
c) Otras actividades .....	109
1.5. QUINTA ETAPA .....	109
1.6. SEXTA ETAPA .....	111
a) Razones para establecer un decreto de protección de la zona .....	112
b) Bases jurídicas .....	112
c) Establecimiento del área .....	113
LITERATURA CITADA .....	116
ANEXO I .....	124
ANEXO II .....	126
1. CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS .....	126
2. LEY DE AGUAS NACIONALES (1992) Y REGLAMENTO (1994) .....	127
3. LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE .....	129
4. NORMAS OFICIALES MEXICANAS .....	131

---

## RESUMEN

La Laguna de Zumpango es un cuerpo de agua que al paso del tiempo se ha visto mermado en su composición florística y faunística por diversas actividades humanas. Hoy en día es necesario que pongamos atención en ella no solo por ser uno de los últimos relictos de lo que fue la Cuenca del Valle de México, sino por tener importancia histórica, cultural, biológica y por constituir uno de los pocos cuerpos de agua cercanos a la metrópoli de la Ciudad de México.

En este estudio se abarcaron los siguientes objetivos: 1) elaborar un diagnóstico ambiental preliminar sobre las condiciones actuales de la Laguna de Zumpango (factores bióticos, abióticos y sociales); 2) identificar los principales factores que contribuyen al deterioro ambiental de la Laguna de Zumpango y 3) elaborar una propuesta de rehabilitación del hábitat.

Para lograr dichos objetivos se realizó una investigación bibliográfica sobre la historia, uso de suelo y proyectos realizados en la laguna. Se realizaron encuestas en cinco pueblos aledaños. Se analizó la fotointerpretación de la zona por medio de imágenes aéreas de las últimas tres décadas para medir el crecimiento urbano y para conocer el estado del suelo. Se hicieron análisis físico-químicos del agua y sedimento así como de coliformes totales. Se realizó la identificación de la flora presente en el cuerpo de agua.

Los resultados en general muestran un crecimiento urbano poco acelerado, pero en desorden, así mismo, se aprecia un aumento en las áreas de cultivo con empobrecimiento de suelo, dado que muchos de los suelos utilizados no son aptos para uso agrícola. Algunos suelos presentan riesgo a la salinidad y a la sodicidad.

La calidad del sedimento de la laguna presenta buenas condiciones para restablecer la densidad de plantas acuáticas, mientras que los parámetros medidos en la calidad del agua se encuentran por encima de los que presentan los lagos no contaminados, sin embargo, están dentro de los límites permisibles establecidos en la NOM-001-ECOL-1996 y con la FAO. Esto indica que se trata de aguas residuales.

Las encuestas realizadas evidencian una gran desinformación de la población sobre la laguna, así como falta de interés sobre ésta. Sin embargo, en su mayoría están de acuerdo en el desarrollo de un proyecto que involucre su recuperación por medio de un manejo de desarrollo sustentable.

Se determinó que los factores que han contribuido al empobrecimiento del cuerpo de agua han sido principalmente el desagüe de la Cuenca del Valle de México y los proyectos que en las últimas tres décadas se han implementado en la laguna. En estos proyectos se ha desecado por completo dos veces la laguna, se levantó un bordo perimetral, se ha removido el suelo de todo el vaso y se inició el llenado con la combinación de aguas negras y pluviales; además como parte del programa de erradicación del lirio acuático, se retiró toda la vegetación acuática, por lo que al principio de este proyecto se encontraron solamente ocho especies.

Finalmente se plantea una rehabilitación con los siguientes objetivos: 1) mejorar la calidad del agua; 2) maximizar el uso potencial del cuerpo de agua; 3) incrementar la diversidad de vegetación acuática; 4) incrementar la diversidad de fauna acuática; 5) reforestar la zona perimetral de la laguna, 6) desarrollar un manejo sustentable de la laguna que provea beneficios a la comunidad, 7) la construcción de un museo de sitio y 8) gestionar para que se decrete como área de protección de los recursos naturales. Se plantea que dichos objetivos se cumplan en seis etapas.

## JUSTIFICACIÓN

A lo largo de la historia humana, el hombre ha transformado más que ningún otro ser vivo su hábitat y por consiguiente el de las especies que interactúan o se desarrollan en él. Esto lo ha logrado sobreexplotando los recursos de la tierra y acelerando los procesos naturales de la misma. Ha propiciado el desarrollo de hábitats inhóspitos o en el mejor de los casos, ha inducido el crecimiento de especies invasoras las cuales, suelen desplazar a las nativas (Rapport 1992). Todo esto, ha generado cambios en los ecosistemas y por lo tanto en el nicho ecológico de los organismos.

Uno de los recursos vitales para la vida es el agua, la cual además, es utilizada en casi toda clase de actividades humanas. Asimismo, la contaminación de ésta ha llegado a ocasionar la desaparición completa de la población en algunas ciudades (Enkerlin *et al.* 1997).

Lo anterior es importante porque el agua que contiene el globo terrestre constituye una mínima parte del planeta. El mar abarca 6 371 kilómetros de la superficie de la tierra y de la cual sólo representa el  $0.6 \times 1000$ . A su vez, la profundidad de los cuerpos de agua epicontinentales (ríos, lagos, embalses, charcos temporales y presas) es muy baja (0.5 a 1 500 metros) comparada con el promedio oceánico (De la Lanza-Espino y García Calderón 2002).

Las aguas epicontinentales son la base para la vida de un gran número de organismos y han estado asociados con la aparición y florecimiento de todas las civilizaciones. Por lo mismo, de la cantidad y calidad de estos recursos hídricos depende la supervivencia de la humanidad y las actividades económicas (De la Lanza-Espino y García Calderón 2002). Es por ello, que este trabajo pretende dar algunas rutas que sirvan para la recuperación de la Laguna de Zumpango, perteneciente a la antigua Cuenca del Valle de México.

El Valle de México, desde hace más de siete siglos, ha sido el centro político, económico y cultural de la actual República Mexicana. En él, se localiza la capital del país, que comprende al Distrito Federal, a la ciudad de México y a su área metropolitana, uno de los centros urbanos más poblados del mundo en la actualidad (Valek 2000).

Desde hace 18 000 años los recursos lacustres de la Cuenca de México proporcionaron sustento a la población, cuyas actividades de caza, pesca y agricultura paulatinamente se integraron al ecosistema desarrollando desde hace 7 000 años las primeras actividades agrícolas (De la Lanza-Espino y García Calderón 2002).

Según De la Lanza-Espino y García Calderón (2002) la historia lacustre en el Valle de México hasta la época prehispánica se caracterizó por cambios en el nivel de los lagos, condicionados por fluctuaciones climáticas. Sin embargo, la notable disminución en la cuenca empezó después de la conquista española (Valek 2000).

Así, con la pérdida de la mayor parte del cuerpo lacustre de la Cuenca del Valle de México, hubo pérdida de identidad étnica, cultural y económica (Valek 2000).

Es así, que no podemos soslayar la necesidad de rescatar un cuerpo de agua como es la Laguna de Zumpango, la cual no sólo tiene importancia biológica, sino también histórica, económica, social y cultural.

Para lograrlo, se requiere en primer lugar la evaluación del impacto ambiental (EIA), a la cual puede definirsele como: “el examen sistemático de las consecuencias ambientales de cualquier actividad humana, proyectos, programas, planes y políticas propuestas” (Enkerlin *et al.* 1997; Oñate *et al.* 2003; Schaeffer *et al.* 1988).

Dicha evaluación puede proveer las bases para el direccionamiento biológico. Las rutas posibles para realizar tal evaluación son diversas. Así, de forma sumaria se darán los posibles pasos a seguir en este trabajo basándose en esquemas anteriormente propuestos. El primero es identificar el impacto biológico (cambio o pérdida de hábitat de las diferentes especies nativas y/o endémicas; ciclos biogeoquímicos y disrupción de la sucesión ecológica). El segundo, describir el actual ambiente en términos de hábitat (diversidad de especies; dominancia de especies y abundancia de las mismas). El tercero, la relación y el equilibrio que puede establecer el sistema con los asentamientos humanos. El cuarto, generar alternativas de regulación sobre los recursos biológicos del sistema, para la protección del mismo, lo cual debe estar apoyado en reglamentos jurídicos establecidos (Canter 1996).

## MARCO TEÓRICO

### 1. GENERALIDADES

En el desarrollo de un proyecto que implica la recuperación y por ende el manejo de un ecosistema cualquiera que éste sea, es necesario comprender las herramientas que nos puedan ser útiles para llegar a establecer criterios sólidos en la gestión a proponer.

#### 1.1 Impacto ambiental.

Se puede definir al impacto ambiental, como cualquier cambio en el ambiente ya sea adverso o beneficioso, el cual es el resultado directo de diversas actividades humanas. Así, el impacto ambiental evidencia la diferencia entre la condición o estado de un ecosistema sujeto a acciones que se han llevado a cabo en el y a la condición en que se encontraba antes de cualquier actividad llevada a cabo en ese ambiente. (Carl y Carrillo 2003; Dobson *et. al.* 1997).

#### 1.2. Diagnóstico ambiental.

Identifica y presenta información sobre la situación del ambiente y los recursos naturales de una región, así como sobre las interacciones positivas y negativas entre los factores bióticos, abióticos y sociales (atmósfera, biodiversidad, agua, suelo, productos contaminantes, medio urbano). De éste modo, el diagnóstico ambiental junto con las características socioeconómicas debe de constituir una base que sirva para desarrollar un programa de desarrollo sostenible conforme a las prioridades identificadas (Enkerlin *et. al.* 1997).

De tal modo que el diagnóstico ambiental es en realidad la evaluación del impacto ambiental, que establece una herramienta útil para su protección. Así, esta herramienta se puede entender como un proceso de análisis que anticipa los futuros impactos ambientales negativos y positivos de determinadas acciones humanas permitiendo seleccionar alternativas que maximicen los beneficios y disminuyan los impactos no deseados.

#### 1.3. Desarrollo sustentable.

La definición más conocida está dada por la Comisión Mundial del Ambiente y Desarrollo (1987) donde lo refieren como: "las rutas del progreso humano que satisfacen las necesidades y aspiraciones de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus necesidades" (Corona 2000).

Por la definición anterior se debe de comprender que la protección ambiental no puede plantearse como un dilema frente al desarrollo, sino como uno de sus elementos. Un desarrollo sustentable debe promover la conservación de los recursos naturales- tales como el suelo, el agua, y los recursos genéticos-y, a la vez, ser técnicamente apropiado, económicamente viable y socialmente aceptable, de tal manera que permita satisfacer las necesidades crecientes y lograr el desarrollo requerido de un país (Costanza *et. al.* 1999 y Saldívar 1998).

De este modo se debe de entender que el crecimiento económico y la protección ambiental son aspectos complementarios. Sin una protección adecuada del medio ambiente, el crecimiento se vería menoscabado y sin crecimiento.

#### 1.4. Ecología del paisaje.

Según la Asociación Internacional de Ecología del Paisaje (IALE) creada en los años 80 y ampliamente difundida en Europa y Norteamérica, cuyos objetivos básicos son desarrollarla como una base para el análisis, planificación y gestión de los paisajes del mundo, la ecología del paisaje es: "el estudio de la variación espacial de los paisajes a escalas diversas, incluyendo las causas y consecuencias biofísicas y sociales de la heterogeneidad de los mismos", tanto a una escala local como regional (Van der Zee y Zonneveld 2001).

El estudio del paisaje, por si mismo trans-disciplinario, puede jugar un papel importante desde dos perspectivas por un lado atendiendo demandas de investigación específicas y, por otro, generando información crucial para el manejo integrado del territorio (<http://www.javeriana.edu.co/>; Van der Zee y Zonneveld 2001).

#### 1.5. Restauración ecológica.

Se define a este proceso como la disminución del tiempo de regeneración que le tomaría al sistema hacerlo de manera natural. La restauración ecológica lleva el propósito de obtener la mayor similitud posible en cuanto a diversidad, estructura y funcionamiento del ecosistema o comunidad original o prístina (Dobson *et. al.* 1997).

No obstante, acotar la restauración al regreso de las condiciones "originales de un sistema", podría ser incorrecto debido a que en ningún caso se llevaría a cabo dicha práctica. Por lo que debe aceptarse que existen niveles de restauración, los cuales pueden alcanzarse por medio de diversas prácticas (reforestación, regeneración, rehabilitación, etcétera.).

#### 1.6. Rehabilitación.

La rehabilitación es una práctica de restauración, y Bradshaw (1989) considera que cuando se lleva a cabo una rehabilitación del ecosistema, las manipulaciones están dirigidas a lograr un punto medio en términos de la diversidad, estructura y funcionamiento, con la meta de establecer un equilibrio que permita mantener cierto nivel de estabilidad.

En este trabajo se pretende una propuesta dirigida hacia la rehabilitación que pudiera permitir recuperar algunos elementos del sistema original sin intentar necesariamente llegar a él, dados los cambios y interrupciones que se han dado a través del tiempo, ya que resultaría utópico pretender volver a las condiciones originales.

## 2. HISTORIA DE LA LAGUNA DE ZUMPANGO COMO PARTE DE LA CUENCA DEL VALLE DE MÉXICO.

La Cuenca del Valle de México situada entre los valles de Puebla y de Toluca, comprende un área de unos 9600 km<sup>2</sup> y se encuentra a 2240 m.s.n.m. entre los paralelos 19°2' y 20°12' y los meridianos 99°40' del este y 98°15' al oeste. Así, se ubica entre la parte más alta y hacia el sur del altiplano mexicano. Es una cuenca sin salidas naturales, es decir, es endorreica. Está rodeada por dos cadenas montañosas (la sierra Madre Oriental y Occidental) y por volcanes (Valek 2000).

El origen y evolución de la Cuenca de México ha sido el producto de fenómenos naturales como son el tectonismo, el vulcanismo y los procesos de sedimentación y de erosión. El material de los cimientos proviene de los sedimentos marinos del Mesozoico (hace 70 millones de años), a los que se agregaron los materiales de origen volcánico del Terciario. Posteriormente, los abanicos aluviales del Plioceno (Mosser 1975) que datan de hace 5.0 millones de años y los rellenos del Cuaternario de hace 2.0 millones de años (Mosser 1963).

Todo este proceso se desarrolló en una sucesión de fases, las cuales dieron origen hace 32 millones de años al Cerro de Sincoque (2da fase) al norte de Tepotztlán-Huehuetoca. Posteriormente al Cerro de Xochitepec, Zacatepetl, Chapultepec, al Peñón de los Baños, y al Cerro de Santa Isabel en el Tepeyac hace entre 21 y 16 millones de años (3ra fase). A continuación entre 14 y 12 millones de años (cuarta fase) al cerro del Chiquihuite, la Sierra de Tepotztlán, la de las Pitayas y la de Patlachique. En las últimas fases se produjeron levantamientos del relieve por la aparición de conos volcánicos, sus cenizas y lavas. Posteriormente se formaron los conos y domos del Iztacihuatl y el cono del Popocatepetl, los cerros de Chimalhuacán, la Estrella y el Chichinautzin. Este último taponeó el drenaje hacia el sur, con lo que la cuenca se transformó en endorreica (Mosser 1975).

Una vez formada la cuenca se inició el proceso de salinización al no tener las aguas continentales otra salida, sino por evaporación hacia la atmósfera, con el consiguiente incremento en la concentración de materiales disueltos (Enkerlin *et. al.* 1997).

Los registros disponibles de mayor antigüedad permiten suponer que hace unos 100 000 años el lago tenía entre 30 y 35 metros de profundidad, con aguas dulces y frías, al que sucedió uno de poca profundidad con márgenes de pantanos. A éste evento le sucedieron avances y retrocesos sujetos a cambios climáticos (Mosser 1975).

A la zona este del lago la caracterizaron la presencia de sedimentos lacustres y los procesos de salinización; en cambio, los afloramientos de agua dulce provenientes de las infiltraciones en las montañas del sur de la cuenca, condicionadas por precipitaciones pluviales, aportaron un caudal suficiente para mantener una frontera de agua dulce fluctuante, que se encontró en la parte sur y oeste (Mosser 1975).

Hasta hace 27 000 años, el lago era profundo y de aguas salobres, sin embargo, antes de la llegada de los mexicas se produjo una regresión de las aguas saladas que permitió el establecimiento de cuerpos de agua poco profundos y de agua dulce como el lago de Chalco (Mosser 1975).

## 2.1. La laguna de Zumpango durante la época prehispánica.

Hacia la época prehispánica el Valle de México estaba ocupado por cinco lagos: 1) Zumpango y 2) Xaltocan al norte; 3) Texcoco al centro; 4) Xochimilco y 5) Chalco al sur, los cuales en algunos meses del año se transformaban en uno solo (DDF 1976) como se puede ver en la figura 1. La extensión y profundidad de estos cuerpos lacustres variaban de estación a estación y año con año, sin embargo, en general eran de tipo somero (de 1 a 5 metros de profundidad). Durante el imperio mexica ocuparon una superficie de entre 1500 y 2000 km<sup>2</sup>. lo cual es aproximadamente una quinta parte de la superficie total de la cuenca (Valek 2000).

El lago que aquí nos interesa (Zumpango), junto con el de Xaltocan se encontraban a mayor altura que el lago de Texcoco y por lo tanto descargaban en el sus aguas en época de intensas lluvias. Los dos primeros lagos eran más salobres que Xochimilco y Chalco, pero menos que Texcoco (Valek 2000).

Así mismo, todo el sistema lacustre del Valle de México se nutría de las aguas provenientes de múltiples arroyos, diversos manantiales y once ríos. El río más grande era el de Cuautitlán (que baja por la Sierra de las Cruces) seguido por los ríos Pachuca, La Magdalena (de la sierra del Ajusco) y Tenango y Tlalmanalco (provenientes de los volcanes). El lago de Zumpango recibía el cauce de los ríos Pachuca y Cuautitlán, mientras que Xaltocan recibía las aguas de Zumpango (Sanders *et. al.* 1979).

La relación que mantenían los pobladores con los lagos, su habilidad para adaptarse a ellos y transformarlos parcialmente con propósitos específicos de supervivencia determinó el carácter económico y político de los mexicas (Valek 2000). Así, de dicha relación provenía la fortaleza económica, cultural y militar de esa sociedad.

Los lagos proveían a la población de sal, plantas y animales acuáticos; además, propiciaron el desarrollo de una agricultura altamente productiva por medio de las chinampas (Ezcurra 1990) que principalmente se desarrollaron en los lagos de Chalco y Xochimilco dado que eran cuerpos permanentes de agua dulce con poca profundidad (Rojas *et. al.* 1974).

Durante el siglo XV bajo el dominio mexica, la Cuenca del Valle de México fue la mejor planeada y con la mayor producción agrícola en su historia (Rojas *et. al.* 1974). Así, el sistema de chinampas era la fuente más importante de recursos alimenticios para el imperio ya que se ha estimado que cubría más de la mitad de los requerimientos de subsistencia de la población. El sistema chinampero se llevó a cabo por medio de un sistema de canales bien planeado que permitía regular el flujo de aguas y evitar las inundaciones en temporada de lluvias, así como fungir como vías de comunicación (Valek 2000).

En el año de 1521 tras la caída del imperio mexica por los españoles, entre la destrucción casi total de la ciudad comenzaron a rellenarse sus canales con los despojos y las ruinas. A partir de ese momento, los lagos, las especies animales que los habitaban y su vegetación particular (factores todos determinantes para el asentamiento y posterior desarrollo del imperio mexica y de otros grupos que formaron la cultura que floreció en el Valle de México) comenzaron a sufrir enormes transformaciones (Valek 2000).



Figura 1. El Valle de México en la época prehispánica estaba ocupado por cinco lagos: 1) Zumpango y 2) Xaltocan al norte; 3) Texcoco al centro; 4) Xochimilco y 5) Chalco al sur, los cuales en algunos meses del año se transformaban en uno solo. Tomado de DDF. 1975. Tomo III.

## 2.2. Deseccación de la laguna de Zumpango.

Como ya se ha dicho, la grandeza de las civilizaciones prehispánicas estaba fundamentada en el profundo conocimiento del agua. Así, la Gran Tenochtitlan fue una ciudad sobre el agua con avanzadas tecnologías para controlar sus niveles y reciclar sus desechos. Sin embargo, con la llegada del viejo mundo la situación cambió. El conocimiento profundo, manejo adecuado y dominio integral sobre el agua que tenían nuestros antepasados, nunca lo pudieron entender los conquistadores, quienes con su llegada empezaron la tarea de desecar la cuenca de México.

### 2.2.1. Época prehispánica (siglos XIV y XV)

La cuenca del Valle de México a lo largo de toda su historia con los diferentes asentamientos humanos, causó dificultades con inundaciones que se presentaban en época de lluvias. Sin embargo, los habitantes prehispánicos lograron mantener un control por medio de calzadas, albarradones y diques, aunados a una baja población que probablemente era la clave para mantener el equilibrio hidráulico de la cuenca.

Tras la conquista española se empezaron a introducir en la cuenca, caballos, ganado, vías de transporte, materiales de construcción y usos de suelo (como prácticas agrícolas) que fueron transformando radicalmente el modo de vida de la región. Así, muchos de los antiguos canales fueron rellenados construyendo sobre de ellos calles y calzadas elevadas para la transportación con caballos y carretas. Las chinampas fueron desplazadas del centro del lago hacia el sur, lo que comenzó a formar grandes extensiones cubiertas por agua estancada, mientras el pastoreo y la tala de árboles en las colinas y en las montañas de la cuenca aceleraban la erosión, la sedimentación de los lagos y el flujo incontenible de agua en la temporada de lluvias (Valek 2000).

### 2.2.2. Época colonial (siglo XVI)

Los españoles se dieron cuenta de que la destrucción de las obras prehispánicas durante la guerra de conquista causaría inundaciones en la ciudad; por tal motivo se rehabilitaron y construyeron obras nuevas con las mismas técnicas mexicas. No obstante, las autoridades coloniales no lograron reproducir con la precisión requerida los sistemas prehispánicos de manejo hidráulico.

Es importante entender como funcionaba el sistema hidráulico y que importancia adquiría en éste la laguna de Zumpango. Así, las inundaciones provenían generalmente del norte y del noroeste debido a que el Lago de Zumpango era rebasado por las aguas de los ríos Cuautitlán y Pachuca, lo cual provocaba que posteriormente desaguara en el lago de Xaltocan (el cual más adelante se dividió en los lagos de Xaltocan y San Cristóbal) y finalmente en la parte más baja de la cuenca: en el lago de Texcoco y en la ciudad de México (Clavijero 1945; DDF 1975; y DDF 1976).

Al cerrarse la comunicación entre el lago Xochimilco y la Laguna de México (por medio del dique de Mexicaltzingo) se provocó la desecación de la zona circundante a la ciudad y una elevación del nivel de las aguas en los lagos del sur, lo que arruinó las chinampas y obligó a sus pobladores a abandonar sus sitios históricos de producción agrícola. También, al bloquearse la

comunicación entre Xaltocan-Zumpango y Texcoco por una reconstrucción inapropiada llamada "calzada-dique Ecatepec-Chiconautla", se provocaron inundaciones en el norte del valle (Bataillon *et. al.* 1973; Clavijero 1945; DDF 1975 y DDF 1976).

Así, la principal causa para que los nuevos habitantes desaguaran a la Cuenca del Valle de México y por consiguiente a la Laguna de Zumpango, fueron las severas inundaciones por parte de los cinco lagos, las cuales no fueron controladas con las construcciones de herencia mexicana (DDF 1975 y Valek 2000).

Para el año de 1524 (tres años después de la caída del imperio mexicano), comenzó a hacerse visible una reducción en el nivel de las aguas que rodeaban a México-Tenochtitlan (Motolinía 1971). Al respecto, algunos historiadores adjudican este evento a los proyectos que había de cultivo e irrigación en las regiones de Tenayuca y Coyoacan, así como a la construcción del canal ya mencionado entre los lagos de Xaltocan y Zumpango que comenzó a drenar el agua de los mismos (Bataillon *et. al.* 1973; Clavijero 1945; DDF 1975 y DDF 1976).

Todo lo anterior provocó, que a medida que los lagos iban desecándose, los habitantes de las orillas se desplazaran sobre los lechos lacustres ya secos. Este fenómeno alcanzó la mayor proporción en Xaltocan donde la falta de agua provocó la salinización del suelo que además de producir suelos improductivos, provocaba el avance de la salinización.

Posteriormente, en el año de 1540, la ruta prehispánica que conectaba los lagos de Xaltocan y Zumpango con la ciudad quedó bloqueada permanentemente; mientras que la ruta de México-Tenochtitlan a Chalco y Xochimilco se mantuvo a través de canales que entraban a la ciudad por la llamada "Acequia Real" hasta alcanzar la "Plaza Mayor". Esa ruta fue la única que permaneció abierta durante la Colonia, debido a que el nivel de sus aguas era lo suficientemente alto para permitir el tránsito de canoas (Bataillon *et. al.* 1973; Clavijero 1945; DDF 1975 y DDF 1976).

Debido a estos cambios, hacia mediados del siglo XVI algunas partes del antiguo lago (desde Ecatepec hasta Zumpango) se secaron y los lagos del norte fueron empobreciéndose hasta quedar definitivamente separados del lago de Texcoco. Durante la segunda mitad de ese siglo los lagos del norte y el mismo lago de Texcoco sufrieron largos periodos de desecación, mientras que los lagos del sur (Xochimilco y Chalco) siguieron con agua (D.D.F. 1975 y D.D.F. 1976).

### 2.2.3. Siglo XVII

En este siglo, se inició un proyecto de desagüe desde el lago más alto que era el de Zumpango. Este proyecto impedía la entrada del cauce del Río Cuahutitlán en la laguna de Zumpango, que crecida con éste, desaguaba en la laguna de San Cristóbal y esta en la de Texcoco donde estaba la capital. Tal construcción consistía en el canal llamado de Huehuetoca y en cruzar el partaguas mediante un túnel de cerca de 7 Km. de longitud, bajo el sitio conocido como Nochistongo, el cual descargaría al Río Tula (no obstante, el desarrollo de las obras tomó casi dos siglos).

En 1630 Simón Méndez, propuso el primer sistema para el drenaje del valle, que consistía en un gran canal por el lago de Texcoco y un túnel de 13 Km. por Tequiquiac, que

desembocaría en el Río Salado. En lugar de continuar ese proyecto, en 1637 se decidió trabajar en Huehuetoca, transformando el socavón que había realizado Enrico Martínez en un tajo abierto (este proyecto se terminó 150 años después). Ésta, fue la primera perturbación a la orografía del valle de México, y con ella se inició un lento pero definitivo desagüe hidráulico que con el tiempo extinguiría casi totalmente su sistema lacustre (D.D.F. 1975).

#### 2.2.4. Siglo XVIII

Ignacio Castera el arquitecto neoclásico creador del primer plano regulador de la ciudad, construyó en 1794 el Canal de Guadalupe para tomar, ahora, las aguas de otro lago, el de San Cristóbal-Xaltocan.

Así, en el siglo XVIII el área conocida como la laguna de México antes de la Conquista (parte del lago de Texcoco y situada hacia el oeste de la ciudad) estaba completamente seca. Además, los cinco lagos ya estaban separados entre sí por tierras y asentamientos humanos cruzados en algunas secciones por canales y calles (Bataillon *et. al.* 1973; Clavijero 1945; D.D.F. 1975 y D.D.F. 1976).

#### 2.2.5. Siglo XIX

Fue en este siglo que se terminó la obra del canal de Huehuetoca y el tajo de Nochistongo. Sin embargo, el lago de Texcoco no tenía posibilidades de descargar fuera del valle, de tal forma que se concibió la idea de construir el "Gran Canal" o "Canal del Desagüe" de Garay (figura 2).

El proyecto del gran canal, fue realizado por el Ingeniero Francisco de Garay en 1848, quien fuera director general del Desagüe del Valle de México en el gobierno de Maximiliano de Habsburgo. Dicho proyecto constaba de tres partes: 1) construir un tajo abierto de 39.5 kilómetros desde el lago de Texcoco al de Zumpango; 2) construir un túnel de 10 kilómetros de largo (de Zumpango a Tequixquiac y 3) el tajo de Tequixquiac que permitía drenar el río del mismo nombre y de allí a los ríos Tula (como había sugerido Enrico Martínez), Moctezuma, Pánuco y finalmente al Golfo de México (D.D.F. 1975 y D.D.F. 1976). Las obras se llevaron a cabo de manera intermitente, primero durante el Imperio de Maximiliano y luego durante la República Restaurada.

No obstante, a pesar de la desecación de los lagos durante la época colonial, los lagos permanecieron todavía durante el primer siglo del México independiente, pues en el siglo XIX, los lagos cubrían aun alrededor de 1 000 km<sup>2</sup> (figura 3) (Valek 2000).

#### 2.2.6. Primera mitad del siglo XX

No obstante, hasta el porfiriato en el año de 1900, se terminaron las obras del canal de desagüe (la obra constituyó la segunda salida artificial para el drenaje del valle de México). Con dicha construcción, se pensó que se había dado una solución definitiva a las inundaciones de la ciudad, que por aquellos años albergaba poco menos de un millón de habitantes.

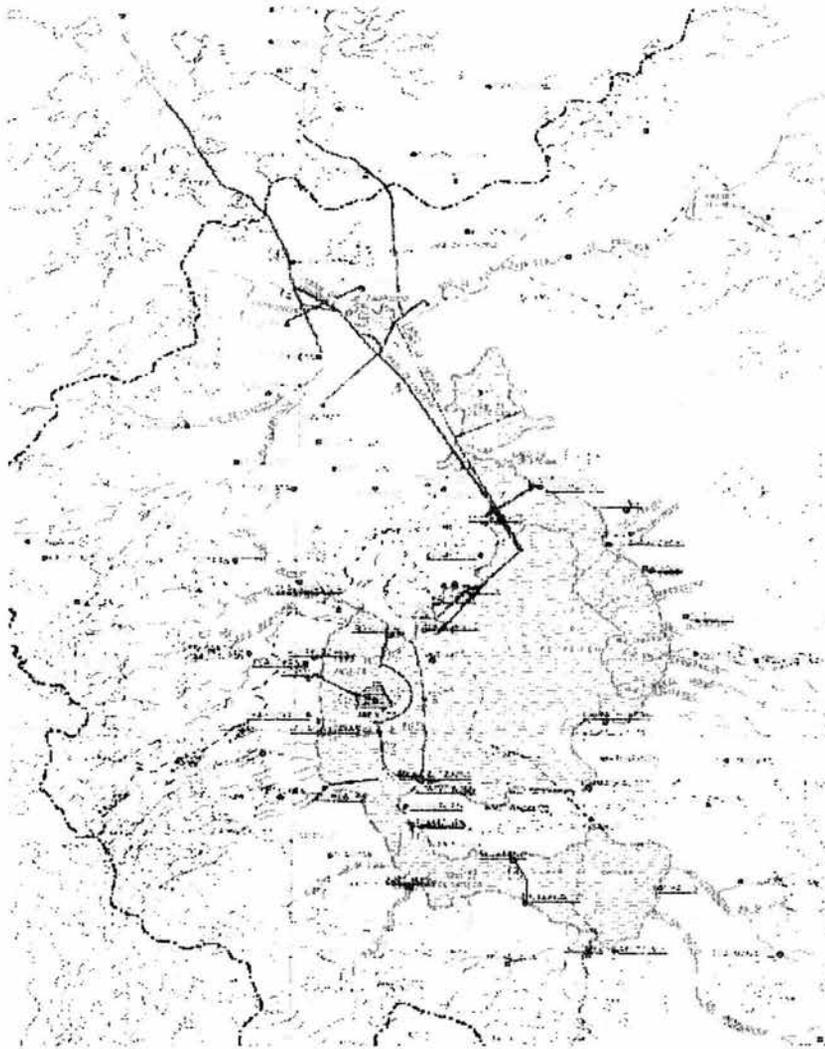


Figura 2. Obras hidráulicas en el Valle de México en los siglos XV, XVI, XVII, XVIII y XIX. Donde 1) tajo abierto después de socavón, 2) socavón, 3) tajo abierto y Río Cuautitlán, 4) canales de vertidores y Guadalupe, 5) Dique que separaba a Coyotepec de Zitlaltepec, 6) canal de Castera, 7) dique que separaba a San Cristóbal de Texcoco e iba de Ehecatepec a Venta de carpio, 8) albardón de Nezahualcoyotl, 9) albardón de San Lázaro, 10) calzada de Tepeyac o Guadalupe, 11) calzada de Tlacopan y Tacaba, 12) calzada de Iztapalapan, 13) dique de Mexicaltzingo que dividía a las lagunas de México y Xochimilco y 14) dique de Cuicahuac que dividía a las lagunas de Xochimilco y Chalco. (Modificado de Valek 2000).

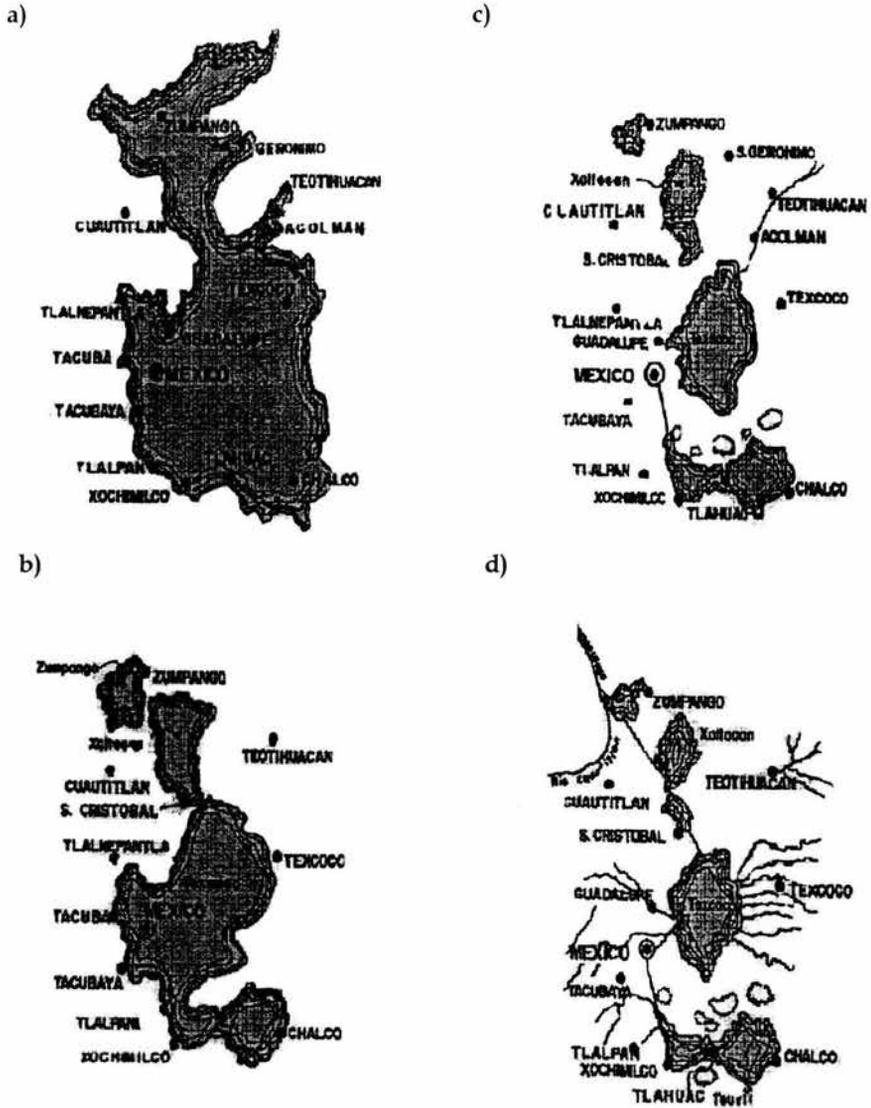


Figura 3. Transformación de la extensión de los lagos de la Cuenca del Valle de México hasta el siglo XIX. a) Época mexicana, b) 1875, c) 1880 y d) 1889 (Tomado de Valek 2000).

En esta misma época, el ingeniero Roberto Gayol promovió la construcción de la red de alcantarillado de la ciudad mediante colectores y atarjeas que combinaban aguas negras y pluviales; obra que se concluyó durante los primeros años del siglo y permitió desalojar las aguas negras hacia el desagüe central (D.D.F. 1975).

El crecimiento de la población se hizo explosivo a partir de 1930, para el que se calcula que la ciudad estaba habitada por un millón de personas, que se incrementaron a dos millones en 1940, tres en 1950 y más de cinco en 1960 (D.D.F. 1975).

Nuevamente se trabajó en soluciones "globales", dentro de las que destacan la construcción de grandes plantas de bombeo de los colectores principales al Gran Canal y el incremento sustancial de la capacidad de éste mediante la ampliación de las secciones y la construcción del segundo túnel de Tequixquiac, que se terminó en 1954.

Así, los proyectos porfirianos no fueron suficientes para resolver el problema de las inundaciones. Los hundimientos del subsuelo, debido al bombeo del agua subterránea, ya visibles al mediar el siglo XX acentuaron la vulnerabilidad de la ciudad en los años cuarenta y cincuenta (D.D.F. 1975).

Finalmente, la Cuenca de México fue drenada hacia el Río Pánuco por medio de un canal y un túnel que llevan fuera de la cuenca los excedentes de agua para evitar las inundaciones de la ciudad de México que ocupa su parte más baja. El sistema del Drenaje Profundo (1967-1975) se inauguró el 9 de junio de 1975 con el presidente Luis Echeverría Álvarez (D.D.F.1975).

### 2.2.7. Segunda mitad del siglo XX

De los lagos que en ella existían solamente subsisten el de Xochimilco (ya muy mermado) y parcialmente el de Zumpango que se utiliza para realizar el escurrimiento de las aguas del canal de desagüe por el túnel que las saca fuera de la cuenca.

En el año de 1979, pese a la reducción y al deterioro del cuerpo de agua de la Laguna de Zumpango, aun se mantenía la relación con los pobladores, por medio del cultivo y explotación del tule, de la carpa (*Cyprinus carpio*); la caza de aves y como lugar recreativo (Godínez 1989).

Sin embargo, en 1982 se inició la desecación de la Laguna de Zumpango de acuerdo al convenio firmado por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), así como por el gobierno del Estado de México. Esto se hizo con el objeto de hacer una elevación del bordo perimetral de la laguna con el propósito de: 1) aprovechar a la laguna de Zumpango como vaso regulador del Sistema Hidrológico del Poniente (SHP) y "teóricamente" como embalse; 2) alimentar al distrito de riego "los Insurgentes"; y 3) garantizar la producción y el incremento de agricultura y ganadería propios de la región. Así, se propuso sobreelevar el bordo perimetral de la Laguna de Zumpango (CNA 1990) 7.5 metros a lo largo de sus 18 kilómetros para aumentar la capacidad y así cubrir las necesidades requeridas (G.E.M. 2003). Las tierras beneficiadas circundan a la laguna por el poniente, norte y oriente, sumando 24. 600-00 ha (C.N.A. 1990).

En principio, el terreno de la laguna (1, 863-00 ha) fue repartido a grupos de campesinos, tales como la Asociación de Tuleros del pueblo de San Juan Zitlaltepec, Colonia 18 de Marzo, Santa María Zumpango, Fracción III del Dique Oriente, San Pedro de la Laguna y Barrio San

Pedro entre otros. De tal modo que el terreno de la laguna entre 1979 y 1985 estuvo ocupado por cultivos de maíz y hortalizas, lo cual propició la suspensión de las obras y la generalización de problemas legales con la dotación de tierras primero y la expropiación de las mismas en 1985 (C.N.A. 1990).

El proyecto planteaba que el vaso recibiera los excedentes de la Presa de Guadalupe y se complementara con aguas del Emisor Poniente en una relación máxima permisible determinada por la CNA y la SEDAGRO, de un 20% de aguas negras y un 80% de aguas blancas (como actualmente ocurre), procurando así contar con este recurso hidráulico sin riesgos sanitarios según las propias dependencias (C.N.A. 1990).

El vaso recibe dichos excedentes por medio del canal de Santo Tomás construido en 1960, el cual tuvo que ser ampliado para dichos propósitos.

En 1990 aun no se habían cubierto todas las metas planteadas del proyecto original (por ejemplo, el bordo perimetral se encontraba terminado, sin embargo faltaba el recubrimiento por el talud interno y el revestimiento de la corona del mismo) y solo algunas se encontraban funcionando, entre las cuales se pueden mencionar a la planta de bombeo Miguel Hidalgo ubicada en el poniente de la laguna; las compuertas del puente: Represa de Santo Tomás II y Represa Caliac, con líneas eléctricas y subestaciones y a la puesta en marcha de La planta de bombeo Palafox (C.N.A. 1990).

De tal modo, que debido a los pocos avances, el distrito de riego de los Insurgentes para el año de 1990 aun no se encontraba funcionando (C.N.A. 1990), sin embargo posteriormente se comenzó a abastecer a 6,725 hectáreas de sembradíos del distrito citado (G.E.M. 2003).

En el año de 1997, se inició un programa de saneamiento que desecó la laguna por segunda vez con el propósito de limpiarla de toda la maleza acuática que ya se había vuelto un grave problema en el cuerpo de agua. Sin embargo al volver a ser llenada, debido a la carga de contaminantes que recibe, la maleza acuática nuevamente volvió a proliferar hasta finales del siglo (G.E.M. 2003).

#### 2.2.8. Primeros años del siglo XXI

El 19 de diciembre del año 2001, se firmó un convenio entre diversas agrupaciones sociales<sup>1</sup>, Instituciones del Estado de México y la C.N.A., con el fin de controlar a las malezas acuáticas. Tal convenio consiste en la trituración del lirio acuático, mejoramiento de la calidad del agua del embalse y consolidar el sistema de cuerpos de agua del Valle de México (G.E.M. 2003).

Además de lo ya mencionado, entre otras cosas, el convenio firmado pretende la limpieza del lirio acuático en drenes y canales aledaños al cuerpo de agua; la extracción del material de azolve de la Laguna; el monitoreo de la calidad de agua; el saneamiento de los

---

<sup>1</sup> Asociación de Usuarios de Riego de la Laguna de Zumpango, La Federación de Pescadores, La Sociedad Cooperativa de Producción de Tule, los ayuntamientos de Zumpango, Teoloyucan y el Patronato de Defensa, Conservación y Preservación de la Flora, Fauna, Canales y Zonas de Riego de la Laguna de Zumpango.

residuos sólidos municipales y un programa de reforestación en la zona que plantea la introducción de 1 millón y medio de árboles durante el proyecto (G.E.M. 2003).

Según el convenio firmado al inicio del proyecto se tenía destinada una inversión de 9.47 de pesos por parte del Gobierno del Estado de México para la limpieza del lirio acuático y 4.4 millones de pesos por parte de la C.N.A., para el mantenimiento permanente de la Laguna, la cual estará a cargo de los municipios de Zumpango y Teoloyucan (G.E.M. 2003).

Así, en diciembre del año 2001 se dio inicio el trabajo de la limpieza de las malezas acuáticas en el cuerpo de agua y se concluyó en mayo del año 2002. El trabajo se realizó por medio de máquinas trituradoras. En enero del año 2003 se realizó la supervisión de los trabajos por parte de los Presidentes municipales de Zumpango y Teoloyucan, así como por los Presidentes de la Asociación de Usuarios de la Laguna y la Federación de Pescadores, además del personal de la secretaría del Desarrollo Agropecuario y la Secretaría de Ecología del Estado de México. De éste modo se concluyó la primera etapa del convenio en los tiempos establecidos (G.E.M. 2003).

Por otro lado, se realizaron gestiones con la agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA) y se acordó que dicha agencia lleve a cabo los monitoreos de la calidad del agua. Los cuales se realizaron en enero del año en curso.

### 2.3. Registros de la flora y fauna acuática en la cuenca del Valle de México.

La historia de la flora y fauna de la cuenca del Valle de México ha podido reconstruirse parcialmente a partir de varios milenios antes de Cristo y hasta la actualidad, gracias a diversos estudios arqueológicos (Rojas 1985) y biológicos que han tenido la colaboración de profesionistas de las ciencias sociales, por medio de pinturas, murales, códices, etcétera (Lot 1977). Así, en base a los datos que se han obtenido a través del tiempo, se sabe que el sistema lacustre en combinación con un entorno montañoso rico en recursos animales y vegetales, hicieron de la región un punto privilegiado que mantuvo y atrajo a poblaciones humanas desde los albores del poblamiento de América (Rojas *et. al.* 1974).

Flora (Estrada-Lugo 1989; Lot 1977; Lot y Miranda 1982 y Rojas 1985). A continuación se mencionan las familias y las especies que se han logrado identificar, en dicha lista, el nombre entrecomillado corresponde a denominación náhuatl:

Familia Alismataceae con la especie *Sagittaria macrophylla* Zucc., "acuítlacpalli". Familia Apiaceae, representada con la especie *Berula erecta* (Huds.) Coville. Familia Compositae representada con las siguientes especies: *Bidens chrysanthemoides* Michx., *B. tetragona* DC., ambas llamadas en náhuatl "axochoquilitl"; *Cnicus* sp., "uitzquilitl"; *Lactuca intybaseae* Jacq., "chichicaquilitl"; *Jaegeria bellidiflora* (DC.) Torres & Beaman (= *Aganipea bellidiflora* Mac & Sesse); *Jaegeria dentata* (DC.) Torres & Beaman (*Aganipea dentata* DC.) nombradas por los mexicas "acacpacquilitl"; *Solidago paniculata* DC., "amamalacotl"; *Sonchus ciliatus* Lam., y *S. oleraceus* L., "chichicaquilitl" en náhuatl. Familia Crassulaceae representada por *Bryophyllum* sp., "amamalacotl", al igual que la ya mencionada *S. paniculata*. Familia Cyperaceae con tres especies identificadas, *Schoenoplectus californicus* (C.A. Mey.) Soják (= *Scirpus californicus* C.A. Mey.), *S.*

*tabernaemontani* (Vahl) A. Lóve. (= *Scirpus validus* Vahl) y *Cyperus sp.*, conocida por los mexicas como "caltolli". Familia Gramineae, con la especie *Phragmites communis* Trin., "acatl"; Familia Haloragaceae con el género *Myriophyllum* L; Familia Lemnaceae representada por *Lemna obscura* (Austin.) Daubs. (= *L. minor* Austin), "chilacastle". Familia Menyanthaceae, con la especie *Nymphoides fallax* Ornduff; Familia Nymphaeaceae, con las especies: *Castalia gracilis* Rose., "atzatzamolli", *Nymphaea gracilis* Zucc, *N. mexicana* Zucc y *N. odorata* Aiton. Familia Piperaceae con las especies *Piper amalago* L. "mecaxochitl". *P. cuernavacum* C.D.C. "mecaxochitl" y *Vanilla fragrans* Ames "mecaxochitl". Familia Polygonaceae, representada por las especies: *Polygona verticillata* L. "aacxoratic"; *Polygonum acre* H.B.K., "achilli"; *P. aviculare* L., "iztacaxipatli" y *P. hydropiperoides* Michx., "achilli". Familia Potamogetonaceae, representada por el género *Potamogeton* Morong. Familia Ranunculaceae, con las especies: *Ranunculus dichotomus* Moc. & Sesse., "atlepatli" y *R. stoloniferus* Hemsl., "atlepatli". Familia Scrophulariaceae con las especies *Mimulus glabratus* H.B.K., "chichicaquilitl" y *M. luteus* L., "chichicaquilitl". Familia Typhaceae, con la especie *Typha latifolia* L., "tollan". Familia Umbelliferae con las especies: *Circium mexicanum* DC., "uitzquilitl" e *Hydrocoyle ranunculoides* L. "amalacotl".

También existen registros del alga *Spirulina maxima* de la cual hay abundantes estudios y muchas descripciones antiguas debido a que llamó la atención al ser observada en el lago de Texcoco desde el siglo XVI.

Aves (Herrera 1890 y Rojas 1985): en el periodo Clásico Teotihuacano, los habitantes de esta zona cazaban gran cantidad de aves migratorias que venían al lago de Texcoco en grandes números durante el invierno.

De las 40 aves acuáticas que fray Bernardino de Sahagún registra y describe en su obra se identifican a 24 como migratorias, cuatro residentes, tres tanto migratorias como residentes y nueve no se han identificado. Las aves acuáticas que visitaban la Cuenca de México así como las que residían permanentemente en ella, pertenecían principalmente a seis familias zoológicas de tres órdenes diferentes:

#### Orden Anseriformes

Familia Anatidae (patos, gansos y cisnes).

Las especies identificadas del código Florentino son: *Anhinga anhinga* L; *Anser albifrons gambeli* M. (especie migratoria); *A. albifrons* M. (especie migratoria); *Anas diazi* M. (especie migratorio); *A. platyrhynchos* L. (especie migratoria); *A. crecca* L. (especie migratorio); *A. discors* L. (especie migratoria); *A. acuta* L. (especie migratoria); *A. cyanoptera* Vieillot (especie migratoria); *Aythya collaris* Donovan; *A. valisineria* Wilson. (especie migratoria); *Bucephala albeola* L. (especie migratoria); *Lophodytes cucullatus* L. (especie migratoria); *Oxyura jamaicensis* Gmelin. (especie migratoria); *Spatula clypeata* L. (especie migratoria); *Phalacrocorax olivaceus mexicanus* Brandt. (especie migratoria); *P. pelagicus* Pall; *Charadrius squallata* L., y *Dendrocygna fulva* Gmel.

#### Orden Gruiformes

Familia Gruidae (grullas)

La única especie identificada del código Florentino es: *Grus canadensis* L. (migratoria).

Familia Rallidae (gallaretas, gallinas de agua)

Las especies identificadas del código Florentino son: *Fulica americana* Gmelin. (especie migratoria) y *Porphyryla martinico* L. (especie migratoria).

Orden Caradriformes

Familia Charadriidae (chichicuilotes)

Las especies identificadas del código Florentino son: *Lobipes lobatus* M; *Steganopus tricolor* Vieillot; *Iriga solitaria* Wilson; *Actitis macularis* L; *Erolia melanotos* Vieillot; *Catoptophorus semipalmatus* y *Crocethia alba* (migratoria).

Familia Scolopacidae (agachones y gangas)

Las especies identificadas del código Florentino son: *Podiceps caspicus*, *Podilymbus* sp. y *Aechmophorus* sp.

Familia Recuvirostridae (avocetas y zancudas)

Peces (Rojas 1985): la pesca en la Cuenca de México se practicaba fundamentalmente en los lagos. En los más salinos era frecuente que se concentrara en las desembocaduras de los ríos tributarios que reducían la salinidad. Se ha encontrado que las especies de peces eran de tallas medianas y pequeñas, las cuales pertenecían a las siguientes familias: Antheridae, Cyprinidae y Goodeidae. Martín del Campo (1955) en Rojas (1985), atribuye de un total de 10 especies, tres a la primera (*Chirostoma regani* (Jordan.) Hubbs, *Chirostoma jordani* (Cuvier.) Valenciennes y *Chirostoma humboldtianum* (Cuvier.) Valenciennes; cuatro a la segunda *Algansea tincella* (Cuvier.) Valenciennes, *Evarra eigenmanni* Woolman, *Evarra elahuacensis* Meek., y *Azteculata vittata* Girard., y por último tres a la tercera *Girardinichthys innominatus* Bleeker., *Neophorus diazi diazi* Meek y *Skiffia lernae variegata* Meek.

Anfibios y reptiles (Herrera 1890; Rojas 1985 y Torres 1957): Se han identificado anfibios como el ajolote perteneciente a las tres siguientes especies: *Ambystoma lacustris* Taylor y Smith; *A. trigrinum* Velascoi Wolterstorff; *A. carolinae* Petiver; *Rana montezumae* Bd., *R. halecina* Kalm., *Bufo compactiles* Wieg. Reptiles como las culebras de agua de las siguientes especies: *Eutania collares* Jan, *E. pulchrilatus* Cope, *E. insignarum* Cope, *E. scalaris* Cope y *E. melanogaster* Jan. Tortugas de los géneros *Pseudemys* y *Kinosternon*.

Artrópodos (Herrera 1890; Rojas 1985 y Torres 1957): Se han identificado acociles (*Camberellus montezumae*), al cual llamaban "Acocili"; insectos lacustres que parecen ser larvas de libélulas (Odonata) al cual denominaban Aneneztlí; invertebrados no bien identificados denominados por los mexicas como "Amoyotl" y gusanos de agua color blanco "Ocuiliztac".

### 3. FUNCIONAMIENTO ECOLÓGICO DE LOS HUMEDALES.

Los ambientes acuáticos pueden clasificarse según su contenido de sales en marinos y límnicos. En los ambientes marinos la concentración de sal es alta (en ocasiones mayor a 30 g/l); mientras que en los ambientes límnicos son de aguas dulces con bajas concentraciones de sales (< de 1 g/l). Por otro lado se encuentran los ambientes de aguas salobres que se caracterizan por tener mezclas de aguas saladas y dulces en diferentes proporciones (Margalef 1983 y Rossell-Hunter 1970).

Los ambientes límnicos dulceacuícolas pueden agruparse en lóticos y lénticos según presenten o no, corriente. Los ambientes lénticos son aquellos que no presentan corriente, entre ellos se encuentran los lagos, lagunas, charcas, etcétera. Cada uno de estos ambientes presenta condiciones propias que dan lugar a una biodiversidad particular para cada ecosistema (Margalef 1983 y Wetzel 1983).

Comúnmente se le denomina lago a la masa de agua que alcanza o rebasa cierta profundidad mínima, suficiente para el establecimiento de una termoclina durante el período de estratificación. A los cuerpos menos profundos se les denomina estanque, laguna o charca, sin embargo ésta última nomenclatura es imprecisa (Margalef 1983).

En cualquier cuerpo de agua puede distinguirse una zona litoral que limita con la tierra mediante un gradiente de humedad y una zona pelágica retirada de la ribera. En la zona pelágica la vida vegetal está representada por el fitoplancton integrado por algas microscópicas, mientras que en el litoral crecen plantas acuáticas y palustres, formando el fitobentos. Estas plantas portan el llamado perifiton (algas microscópicas que viven adheridas a ellas) (Ramírez *et. al.* 1982).

El cuerpo de agua que nos ocupa en este trabajo es una laguna y es un ambiente léntico propicio para albergar un humedal. Los humedales son áreas en donde la saturación con agua superficial o subterránea es el factor dominante que determina la naturaleza del desarrollo del suelo y del tipo de comunidades de plantas y animales que viven en el suelo o en su superficie. La característica que todos los humedales comparten, es que el suelo o el sustrato está al menos periódicamente saturado o cubierto con agua. (Carrera y de la Fuente 2004 y Ramírez *et. al.* 1982).

La presencia o ausencia de las especies de plantas acuáticas en estos sistemas obedece a las condiciones físico-químicas y a la profundidad del sistema. Las plantas son selectivas de su hábitat y así de las condiciones de éste depende la composición de la comunidad vegetal. De este modo, algunas son capaces de crecer en zonas profundas con poco acceso a la luz (ej. algunas especies de *Potamogeton*) y otras necesariamente necesitan una gran cantidad de ésta, por lo que requieren de zonas más superficiales (ej. el género *Lemna*) (Rapport 1992).

Limnológicamente, las plantas juegan un papel importante en la formación de los márgenes de los cuerpos acuáticos, entre otras cosas, ayudan a prevenir la erosión del suelo evitando azolvamientos (Ramírez *et. al.* 1982 y Rapport 1992).

Además, la vegetación proporciona superficies para la formación de películas bacterianas, facilita la filtración y la adsorción de los constituyentes del agua residual, permite la transferencia de oxígeno a la columna de agua y controla el crecimiento de algas al limitar la penetración de luz solar (Lara 1999; Ramírez *et. al.* 1982 y Wetzel 1983).

La acumulación de restos de vegetación aumenta la cantidad de materia orgánica en el humedal y da lugar al intercambio de materia, fijación de microorganismos, asimismo es una fuente de carbono, que es la fuente de energía para algunas de las más importantes reacciones biológicas en el humedal (Rossel-Hunter 1970).

El mayor beneficio de las plantas es la transferencia de oxígeno a la zona de la raíz. Su presencia física en el sistema (los tallos, raíces, y rizomas) permite la penetración a la tierra o medio de apoyo y transporta el oxígeno de manera más profunda, de lo que llegaría naturalmente a través de la sola difusión (Rossel-Hunter 1970).

Las plantas emergentes contribuyen al depuramiento del agua del sistema y escorrentía de varias maneras: estabilizan el sustrato y limitan la canalización del flujo; dan lugar a velocidades de agua bajas y permiten que los materiales suspendidos se depositen; toman el carbono, nutrientes y elementos traza incorporándolos a los tejidos de la planta; transfieren gases entre la atmósfera y los sedimentos (Rossel-Hunter 1970).

Por otro lado todas las plantas acuáticas permiten el escape de oxígeno desde las estructuras subsuperficiales de las plantas oxigenando otros espacios dentro del sustrato. Además, su tallo y los sistemas de la raíz dan lugar a sitios para la fijación de microorganismos (Rossel-Hunter 1970).

Una característica fundamental de los humedales es que sus funciones son principalmente reguladas por los microorganismos y su metabolismo. Los microorganismos incluyen bacterias, levaduras, hongos, y protozoarios. La biomasa microbiana consume gran parte del carbono orgánico y muchos nutrientes (Wetzel 1983; Margalef 1983 y Rossel-Hunter 1970).

La actividad microbiana transforma un gran número de sustancias orgánicas e inorgánicas en sustancias inocuas o insolubles; altera las condiciones de potencial redox del sustrato, asimismo está involucrada en el reciclaje de nutrientes (Rossel-Hunter 1970).

Algunas transformaciones microbianas son aeróbicas (es decir, requieren oxígeno libre) mientras otras son anaeróbicas (tienen lugar en ausencia de oxígeno libre). Muchas especies bacterianas son facultativas, es decir, son capaces de funcionar bajo condiciones aeróbicas y anaeróbicas en respuesta a los cambios en las condiciones medioambientales (Rossel-Hunter 1983).

Las poblaciones microbianas se ajustan a los cambios en el agua que les llega y se pueden extender rápidamente cuando se tiene la suficiente energía. Cuando las condiciones medioambientales no son convenientes, muchos microorganismos se inactivan y pueden permanecer así durante años (Rossel-Hunter 1983).

Los humedales proveen un hábitat para una rica diversidad de invertebrados y vertebrados. Los animales invertebrados, como insectos y gusanos, contribuyen al proceso de tratamiento

fragmentando el detritus consumiendo materia orgánica. Las larvas de muchos insectos son acuáticas y consumen importantes cantidades de materia durante sus fases larvales. Los invertebrados también tienen varios papeles ecológicos; por ejemplo, las ninfas de la libélula son rapaces importantes de larvas de mosquito (Rossel-Hunter 1983).

Aunque los invertebrados son los animales más importantes para la depuración del agua del sistema, también atraen a una gran variedad de anfibios, tortugas, pájaros, y mamíferos (Rossel-Hunter 1983).

Así, la presencia de las plantas es de vital importancia tanto los animales acuáticos como para los semiacuáticos, ya que utilizan a las plantas acuáticas como alimento y refugio (Rapport 1992). Las aves acuáticas se alimentan de los pequeños organismos que habitan en el agua (peces, anfibios, insectos, etcétera) y a su vez esos pequeños organismos dependen de las plantas acuáticas y de las algas. Muchos insectos acuáticos viven en las plantas y en ese ambiente han desarrollado su historia de vida, utilizándolas como alimento, refugio de sus huevecillos o como refugio para su supervivencia (Lara 1999).

Actualmente, los humedales se han visto afectados significativamente por presión humana. A través de un gran número de estudios se han clasificado a las causas de estrés como: extracción intensiva de material vegetal; contaminación por descargas, reestructuración física por el hombre; introducción de especies exóticas; eventos naturales y otras múltiples causas. Las claras evidencias de la disrupción de un sistema están acompañadas por cambios en los ciclos de los nutrientes, productividad primaria, riqueza, distribución y talla de las especies (Oberts y Osgood 1991).

Así, se ha producido alteración en la composición de las comunidades y por lo tanto en la estructura biótica; esto ha ido acompañado de una reducción en la diversidad de especies nativas y de una facilitación al incremento y dominio por las exóticas; lo cual en conjunto ha provocado una reducción en la estabilidad de todo el sistema (Oberts y Osgood 1991).

## OBJETIVOS

### Objetivos generales:

- 1) Elaborar un diagnóstico ambiental preliminar sobre las condiciones actuales de la Laguna de Zumpango (factores bióticos, abióticos y sociales).
- 2) Identificar los principales factores que contribuyen al deterioro ambiental de la Laguna de Zumpango.
- 3) Elaborar una propuesta de rehabilitación del hábitat.

### Objetivos particulares:

- 1) Determinar la extensión, profundidad, afluentes y efluentes actuales de la Laguna de Zumpango, así como compararlos con posibles registros anteriores.
- 2) Identificar la flora presente en la laguna y cotejarla con los registros anteriores existentes.
- 3) Investigar si existen y en que zona de la laguna se llevan a cabo descargas de aguas negras y otros contaminantes.
- 4) Determinar el estado físico-químico del agua.
- 5) Determinar el estado físico-químico del suelo.
- 6) Conocer la actitud de la comunidad respecto a la laguna.
- 7) Realizar una reconstrucción de los trabajos gubernamentales con orientación hacia la recuperación de la laguna, llevados a cabo en décadas recientes.
- 8) Generar una propuesta de rehabilitación de la laguna con base en los resultados obtenidos de los objetivos anteriores, la cual esté direccionada hacia la sustentabilidad para beneficio de los usuarios del cuerpo de agua.

## ZONA DE ESTUDIO

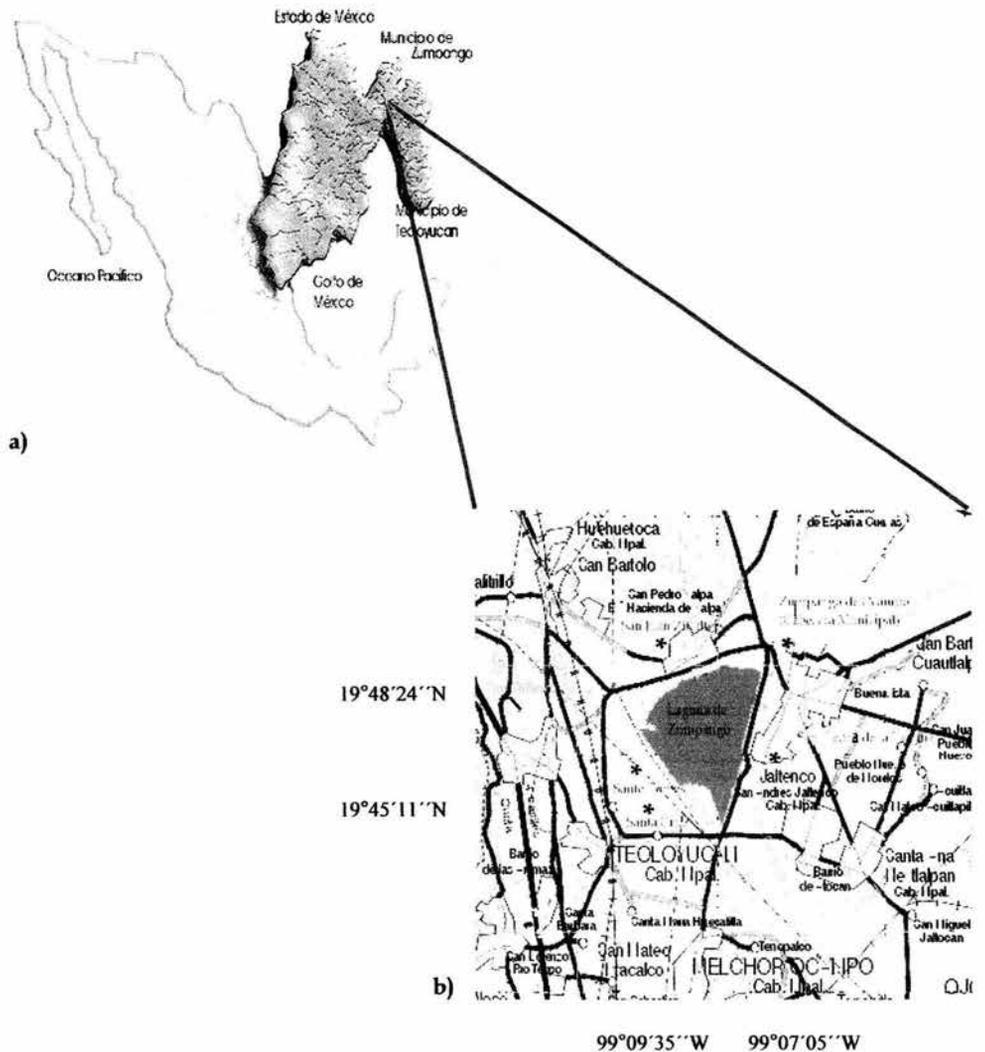
La Laguna de Zumpango se ubica entre los paralelos  $19^{\circ} 45' 11''$  y  $19^{\circ} 48' 24''$  latitud N y los meridianos  $99^{\circ} 07' 05''$  y  $99^{\circ} 09' 35''$  de longitud O a una altitud de 2250 m.s.n.m en el Estado de México como se puede observar en la figura 4. El cuerpo de agua mide 6.5 km de ancho y 4.5 de ancho (Miranda 1980), con una superficie de 1,865 hectáreas y 18 kilómetros de longitud de su bordo. La laguna funciona como vaso regulador y de almacenamiento con capacidad de 100 000 000m<sup>3</sup> de agua.

Se encuentra en medio de tres vías terrestres: por el oriente se localizan paralelas la carretera libre México-Pachuca y la autopista México-Pachuca; por el poniente se encuentra la autopista México-Querétaro (Ramírez 1999).

Pertenece en dos terceras partes al Municipio de Zumpango y en una tercera parte al Municipio de Teoloyucan (Ramírez 1999 y G.E.M. 2003). Se encuentra rodeada por diversas poblaciones, de las cuales sólo se consideraron para el trabajo, de las más cercanas al cuerpo de agua, las más grandes. Del Municipio de Zumpango se tomaron en cuenta tres poblaciones y del de Teoloyucan solamente dos. Al suroeste del lago se localiza el pueblo de San Juan Zitlaltepec, constituido por cuatro barrios y una colonia. Este pueblo es el más cercano a la laguna (Miranda 1980). Por otro lado la ciudad de Zumpango de Ocampo (cabecera municipal) se localiza al sur y está constituida por siete barrios y siete colonias; por último el pueblo de San Pedro de la laguna se localiza al sureste del cuerpo de agua y está constituido por dos colonias (Ramírez 1999 y G.E.M. 2003). Respecto del Municipio de Teoloyucan se consideraron los barrios de Santa Cruz y de Sto. Tomás.

El clima de esta región corresponde a la fórmula C (wio) – (w) b (i), que es el más seco del los subhúmedos, con lluvias en verano y con un cociente de P/T menor de 44.2. Presenta un porcentaje de lluvia invernal menor que el 5% de la total anual. Es templado con verano fresco largo, la temperatura media anual oscila entre 12 y 18 °C, la temperatura media del más frío va de -3 a 18 °C, mientras que la temperatura media del mes más caliente va del 6.5 a 22 °C, con poca oscilación anual de las temperaturas medias mensuales (entre 5 y 7 °C) (García y De la Lanza 2002).

Este cuerpo de agua, pertenece al grupo hidrográfico del noroeste al cual le corresponden las corrientes más importantes de la cuenca por su rendimiento individual, como son los Ríos Cuautitlán y Avenidas de Pachuca que como ya se mencionó, contribuyeron en el pasado a las inundaciones de la ciudad de México (Miranda 1980). Actualmente el río de las Avenidas de Pachuca se ha convertido en conductor de aguas contaminadas por residuos industriales, de establos y descargas domiciliarias; su cauce vierte en el gran canal de desagüe del Valle de México. Circunda una gran parte de la cabecera municipal despidiendo permanentemente olores y gases nocivos par la salud. El Río Cuautitlán descarga en el canal de Santo Tomás y éste a su vez en la Laguna de Zumpango (Ramírez 1999).



El mencionado canal de desagüe atraviesa parcialmente el municipio, pasa entre la Laguna de Zumpango y la ciudad del mismo nombre, donde al noreste se une con dos túneles que pasan subterráneamente hacia Tequixquiac (Ramírez 1999).

El canal de desagüe pasa entre la Laguna de Zumpango y la ciudad del mismo nombre donde al noroeste entronca con dos túneles que corren subterráneamente rumbo a Tequixquiac (Ramírez 1999).

La región de Zumpango cuenta con un cuerpo de agua permanente, denominado "Presa Encinillas", ubicado al Este de la región. No obstante, en general existen corrientes superficiales de tipo dendrítico, los escurrimientos que dan origen a estas corrientes consisten esencialmente de pequeños arroyos que tienen su origen en las montañas que se encuentran al Norte y Noreste del área (Espinoza 1986).

Respecto de la flora nativa en la zona aledaña a la laguna está representada principalmente por tres comunidades vegetales: 1) comunidad halófila, la cual se desarrolla en los llanos aluviales salobres con características salino-sódicas; 2) comunidad de matorral xerófito, la cual prevalece al Este y Noreste de la zona y 3) pastizales como comunidad dominante del paisaje, donde el estrato que prevalece es el herbáceo y se encuentra constituido por las gramíneas y compuestas respectivamente (Espinoza 1986).

Además, existen otros componentes del paisaje (por ejemplo, *Acacia schaffeneri* (S. Watson) F.J. Herm., *Agave lechuguilla* Torr., *Mamillaria rhodanta*, *Schinus molle* L., entre otras.) que no forman comunidades, por lo que se presentan aisladas y su población es pequeña dentro de la zona (Espinoza 1986).

Respecto de la fauna se distingue la típica de matorral xerófilo, donde entre los mamíferos sobresalen liebres, conejos, ratones, ratas de campo y coyotes; mientras que de anfibios y reptiles se encuentran sapos, camaleones, lagartijas, culebras y víboras como la de cascabel; tocante de las aves hay gavián, colibrí blanco, lechuza, halcón y águila (Ramírez 1999).

La fauna acuática se encuentra muy diezmada debido al deterioro ecológico de la laguna. Por tal motivo han disminuido las poblaciones de sapos, culebras de agua y una gran cantidad de aves acuáticas migratorias que viajan desde el norte de nuestro continente durante el invierno. Entre éstas se puede mencionar al pequeño pato mexicano, a las ocas, garzas, pelicanos, cigüeñas, gallaretas, martín pescador y garcetas (Ramírez 1999).

Por otro lado los suelos del área de estudio se derivan a partir de rocas ígneas extrusivas (Basaltos y Andesitas). El grado de desarrollo de los suelos es de reciente a joven y el modo de formación del suelo es variado, predominando el coluvio-aluvial, aluvial y residual. Las unidades de suelos que se encuentran en la región, son cuatro: 1) Inceptisoles o suelos incipientes, 2) Entisoles o suelos recientes, 3) Mollisol y 4) Vertisol (Espinoza 1986), los dos primeros se caracterizan por ser menos desarrollados que los dos últimos.

## MATERIAL Y MÉTODO

A lo largo de dos años, se realizaron 25 salidas al campo con el fin de obtener información de los diferentes factores físicos, químicos, biológicos y sociales que afectan el estado actual de la Laguna de Zumpango. Para ello, el proyecto se dividió en tres partes a manera de hacer una estrategia experimental más práctica tanto para su elaboración, como para su seguimiento: 1) factores sociales e históricos, 2) factores abióticos y 3) factores bióticos (figura 5).

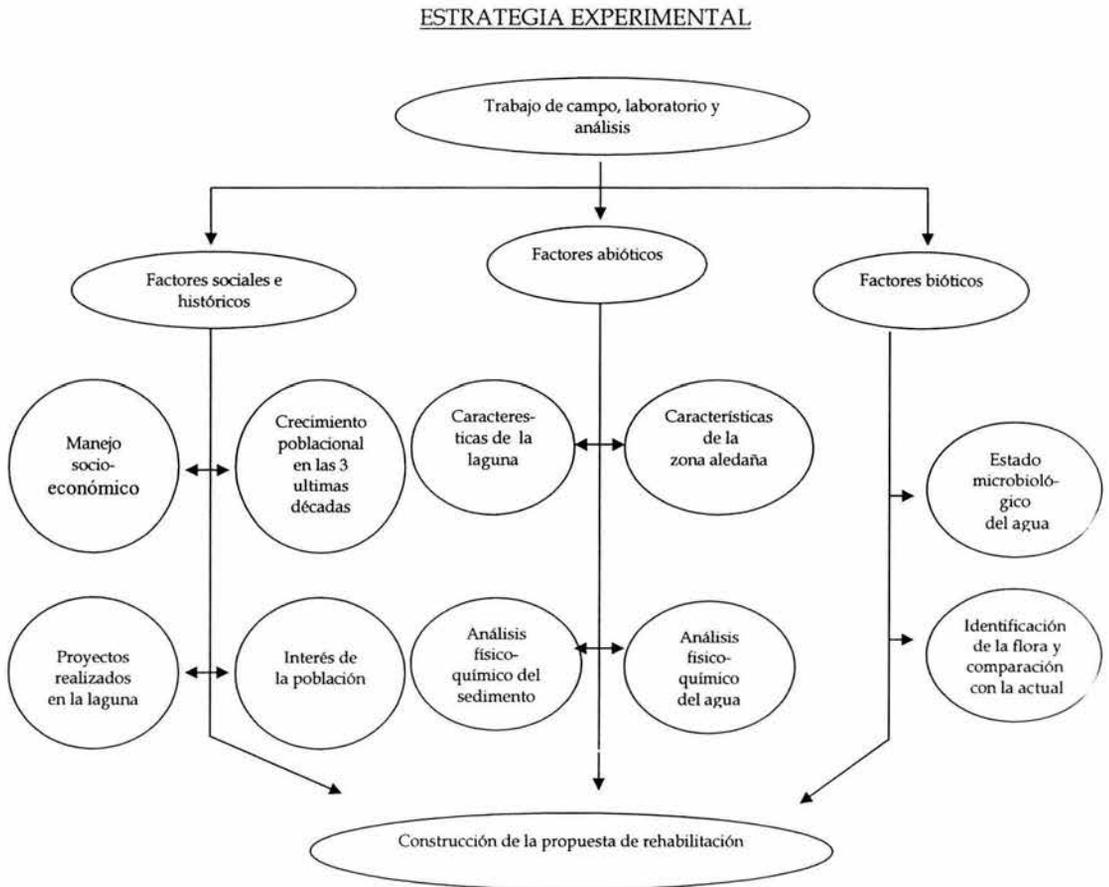


Figura 5. Diagrama general del método del trabajo.

## **1. FACTORES SOCIALES E HISTÓRICOS.**

### **1.1. Manejo socio-económico.**

Se llevó a cabo la determinación del cambio de porcentaje de uso de suelo en la zona aledaña a la laguna para las diversas actividades (agricultura, ganadería y viviendas) entre las décadas de los 80s y 90s con fotografías aéreas (1:35 000) y cartas topográficas proporcionadas por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). La determinación de este factor se realizó por medio de las técnicas de fotointerpretación.

Por otro lado, se llevó a cabo una investigación documental del uso de tierra, así como del cambio de habitantes ocupados en los tres sectores económicos (1río, 2río y 3río) a través de las últimas décadas.

### **1.2. Crecimiento poblacional.**

Esta información se obtuvo por medio de una búsqueda bibliográfica en la biblioteca del Instituto Nacional de Estadística Geográfica e Informática (INEGI) (INEGI 1980, 1990 y 2000), la cual sirve de complemento al análisis anterior. La búsqueda documental se realizó para los cinco poblaciones más grandes y más cercanos a la laguna (Zumpango de Ocampo, San Juan Zitlaltepec y San Pedro de la Laguna del Municipio de Zumpango, y del municipio de Teoloyucan los de Santa Cruz y Santo Tomás).

### **1.3. Proyectos realizados en la laguna.**

Se llevó a cabo una investigación de tipo bibliográfico vía Internet, biblioteca del Archivo Histórico del Agua y visitas a la Comisión Nacional del Agua (C.N.A.), así como por diversas noticias del periódico sobre proyectos y trabajos que se han realizado anteriormente las autoridades a las que corresponde la laguna de Zumpango.

### **1.4. Interés de la población.**

Se realizó un monitoreo en las poblaciones aledañas a la laguna, con el fin de obtener información acerca del posible interés sobre el cuerpo de agua. Las poblaciones censadas, fueron la de Zumpango de Ocampo, San Juan Zitlaltepec y San Pedro de la Laguna del Municipio de Zumpango, y del Municipio de Teoloyucan las de Santa Cruz y Santo Tomás.

El monitoreo se llevó a cabo mediante una entrevista preestablecida que se aplicó de forma azarosa (sin importar ni el sexo, ni la edad) a 100 habitantes de cada una de las poblaciones ya mencionadas. Las entrevistas se hicieron por escrito y en algunos casos con ayuda de una grabadora, esto último se hizo generalmente con personas mayores, ya que la información que proporcionaban era la más interesante por el tipo de información proporcionada.

FORMATO DE LA ENTREVISTA APLICADA

NOMBRE DEL POBLADO

1.- Nombre de la persona

2.- Edad

3.- Sexo

4.- Escolaridad

5.- Ocupación

6.- ¿Conoce algo acerca de la historia de la laguna? ¿Qué?

7.- ¿Su familia depende económicamente de la laguna?

Si la respuesta es si responda la 8, si no, pase a la 9.

8.- ¿De qué forma se relaciona?

9.- ¿Cuánto tiempo tiene viviendo en el poblado?

10.-¿Cuál es su percepción acerca de la Laguna de Zumpango y porqué?

11.- Visita en la actualidad la laguna. ¿qué hace en ella?

a) frecuentemente      b) a veces      c) casi nunca      d) nunca

12 Conoce algún uso anterior o actual de algunas plantas de la laguna por la comunidad.

13. ¿Cuáles son esos usos y de que plantas?

14.- Conoce algún uso anterior o actual de las aves que frecuentan la laguna por la comunidad

15.- ¿Cuáles son esos usos y de que aves?

16.- Conoce algún uso anterior o actual acerca de la fauna acuática (peces, anfibios, etcétera) de la laguna por la comunidad

17.- ¿Cuáles son esos usos y de que peces o anfibios?

18.- Conoce alguno de los ejemplares que se colectaron de plantas

19.- Si los conoce. ¿Qué uso se le da o se le daba en la comunidad?

Por medio de fotografías de animales.

20.- ¿Cuáles de estos animales conoce y cuando fue la última vez que los vio?

21.- Conoce algún proyecto de la CNA en la laguna, piensa que ha hecho algo por recuperar la laguna, ¿por qué?

22.- Le interesaría que existiera algún proyecto que restaurara la laguna. ¿Por qué?

23) ¿Tiene alguna idea de si la laguna le puede traer beneficios a usted?

24) En caso de existir algún proyecto de restauración de la laguna ¿estaría dispuesto a colaborar?

Una vez terminadas las encuestas en las cinco poblaciones antes mencionadas, se realizó una selección de preguntas tomando como parámetro que la respuesta brindara ayuda para el desarrollo de la propuesta de rehabilitación y el que dichas respuestas además, fueran comparables en términos de porcentaje en cada población y entre las cinco poblaciones censadas.

Las preguntas seleccionadas fueron la 11, 22 y 24. De éstas se obtuvo la siguiente información: 1) porcentaje de periodicidad con que la comunidad de cada uno de las poblaciones visita la laguna; 2) porcentaje de interés sobre su recuperación y 3) porcentaje de apreciación a futuro de la laguna por parte de las cinco comunidades censadas.

Respecto de la última pregunta, dado el tipo de respuestas se realizó una agrupación en tres tipos de conceptos: desarrollo sustentable abierto (D.S.A.); área de conservación (A.C.) y desarrollo sustentable restringido (D.S.R.).

Donde D.S.A., se refiere a un proyecto de recuperación y manejo en la laguna donde pueda ser beneficiado cualquier miembro de la comunidad de las poblaciones aledañas; A.S., se refiere a la recuperación de la laguna sin involucrar un manejo posterior en el cuerpo de agua que implique la explotación de sus recursos y D.S.R., significa que la recuperación de la laguna incluya un manejo de desarrollo sustentable que solo permita la participación de los actuales usuarios de la laguna.

Para cada pregunta se obtuvieron datos porcentuales representados por medio de gráficas en forma de pastel.

## **2. FACTORES ABIÓTICOS.**

### **2.1. Caracterización de la laguna.**

La delimitación geográfica se realizó por medio de una búsqueda bibliográfica de los registros anteriores disponibles, así como, de información cartográfica (1:250000), fotografías aéreas (1:35000) y algunos recorridos en campo con GTP.

Además, se realizó una investigación sobre los afluentes y efluentes que hubo y los que aún persisten contribuyendo al nivel de agua de la laguna. Esto se realizó con ayuda bibliográfica, visitas a la biblioteca de la C.N.A., el Archivo Histórico del Agua y con recorridos en campo.

Por otro lado se estimó con base en la bibliografía, la extensión y superficie de la laguna

a fines de la época prehispánica, medida en ese entonces en varas (una vara es igual a 0.83 m.); posteriormente esos datos fueron transformados a metros y comparados con los obtenidos en campo actualmente, por medio de recorridos en lancha en las diferentes visitas al cuerpo de agua.

La profundidad promedio se obtuvo registrando 60 datos a lo largo de la laguna, ya que ésta tiene 6 kilómetros de largo (tratando de abarcar una gran parte del terreno, ya que éste es muy irregular), cada punto se obtuvo a una distancia de 100 metros entre cada uno. A lo ancho se obtuvieron 45 puntos (tiene de ancho 4.5 Km.) con una distancia de 100 metros entre cada uno. Finalmente se obtuvo un promedio de cada grupo de datos y posteriormente un promedio final entre ambos, el cual se tomó como la profundidad promedio. Esto se hizo por dos ocasiones, una en octubre y otra en diciembre del año 2002, ya que el nivel del agua cambió mucho. Cabe mencionar que no se localizaron datos en la literatura sobre estas medidas.

## 2.2. Caracterización espectral de la zona aledaña a la laguna.

Inicialmente se realizó un fotomosaico en escala 1:25 000 de la zona de estudio, para ello se utilizaron fotografías aéreas a color de un vuelo especial del Instituto de Geografía, UNAM, realizado en diciembre del 2001. Posteriormente, el armado del mosaico y su corrección fue realizada con el programa Photo Shop (1997). Una vez obtenido el mosaico se hizo un análisis de cuatro imágenes representativas del área de estudio, utilizando para ello el programa The Proven Solution for Image Análisis (Windows 1999) (TPSIA 1999) basado en la técnica del manual ASP (1993). Este análisis tuvo como objetivo identificar los diferentes suelos así como las diferentes fases físicas y químicas que los limitan para su uso agrícola. Para lograrlo se utilizaron los filtros sugeridos en la opción Excit (1999); los que permitieron contrastar los diferentes patrones radiométricos contenidos en las escenas y subescenas de las fotografías. La comprobación de la calidad de las subescenas se hizo mediante el uso de histogramas para el análisis espectral.

La fotointerpretación fue ratificada y/o rectificada con la información obtenida de las cartas edafológicas y de uso de suelo de INEGI 1995, así como por la verificación de campo. Respecto de las cartas edafológicas, el análisis se realizó seleccionando nueve perfiles cercanos a la laguna, en los cuales se respetó la numeración establecida en la carta.

## 2.3. Estado físico-químico del suelo sumergido.

La laguna fue dividida en cuatro cuadrantes. Se realizaron dos muestreos de suelo. En cada uno se tomaron 5 muestras de sedimento con un núcleo por cada punto establecido y uno más en la zona media. En cada uno de los muestreos se trató de tomar el suelo en donde existían plantas enraizadas (siempre que fuera posible). Esto nos dio un total de 5 muestras de suelo por muestreo. A dichas muestras se les tomaron los siguientes datos según las técnicas del manual de Muñoz-Iniestra *et. al.* (2000).

-Color (Tablas mundiales de color Mussell).

-pH (potenciométricamente).

-Textura (método del hidrómetro de Bouyoucos 1962).

-Materia orgánica (método de Walkley y Black 1947).

-Densidad aparente y porcentaje de espacio poroso.

#### 2.4. Estado físico-químico del agua.

El cuerpo de agua fue dividido en cuatro cuadrantes con el fin de obtener muestras de cada cuadrante y de cada punto de los mismos. De éste modo se obtuvieron cinco puntos de muestras superficiales y cinco más a 1.5 metros de profundidad (figura 6). Posteriormente, las muestras fueron mezcladas con el fin de obtener muestras compuestas superficiales y profundas. De éste modo se trabajó con tres muestras compuestas para cada análisis.

Además de estas muestras, se tomaron muestras de agua del canal de Santo Tomás, que es el que alimenta a la laguna y se trabajó con tres muestras compuestas. El muestreo se realizó en la época seca (febrero) del año 2003 y la realización de los análisis se llevó a cabo en el Instituto de Geología, UNAM.

Los análisis se realizaron bajo las siguientes técnicas:

pH (potenciométricamente)

Conductividad eléctrica (conductivímetro)

Aniones (Ca, Mg, Na y K). Los dos primeros se trabajaron bajo el método de titulación, mientras que los dos últimos se trabajaron por flamometría.

Cationes ( $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$ ). Los dos primeros por medio de titulación con ácido sulfúrico; el tercero titulación con nitrato de plata y el último titulación de sulfato de bencidina con sosa.

Nitratos (método de brucina)

$P_{\text{soluble}}$

Sólidos disueltos

Temperatura (termómetro)

Oxígeno disuelto (por el método iodométrico).

Dureza. Se obtuvo por medio de la siguiente ecuación (Coras 1999):

$$\text{GFH} = \frac{\text{mg/l Ca}^{++} \cdot 2.5 + \text{mg/l Mg}^{++} \cdot 4.12}{10} =$$

10

Donde GHF = Grados hidrotimétricos franceses.

Metales en agua (por la técnica de absorción atómica).

Una vez obtenidos los datos de todos los parámetros arriba mencionados en las muestras de agua, se procedió a compararlos con la NOM-001-ECOL. 1996, FAO y con lagos no contaminados según Chapman (1992). Posteriormente se obtuvo la proporción iónica (suma de aniones y cationes) de las muestras obtenidas a nivel superficial y profundo de la laguna, así como de la entrada del canal a la laguna.

Además, se realizaron los cálculos (Coras 1999) para obtener los siguientes parámetros considerados importantes para determinar la calidad del agua para riego (Coras 1999).

RAS (relación de adsorción de sodio).

CSR (carbonato de sodio residual).

SE (salinidad efectiva).

SP (salinidad potencial).

Por otro lado se determinó la presencia de elementos traza totales por medio de la técnica Análisis de Activación Neutrónica (Kabata-Pendias y Pendias 1984) en el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) en raíces y bulbos de lirio acuático, material vegetal en descomposición y sedimento.

La identificación de elementos traza encontrados se llevó a cabo con la ayuda del Index Ehmann y Vance (1996). Es importante aclarar que no se obtuvieron valores de las concentraciones de los elementos traza encontrados por falta de tiempo y presupuesto.

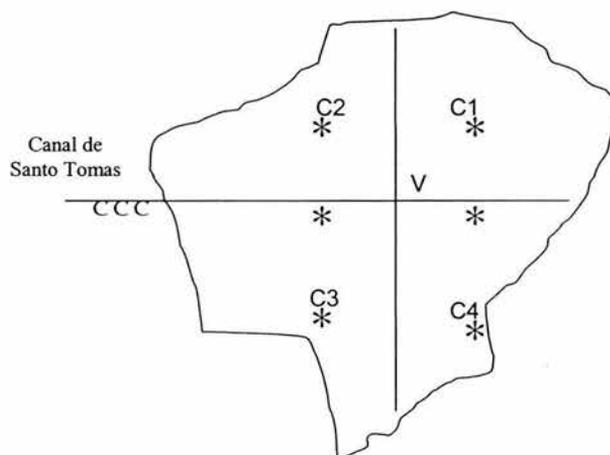


Figura 6. En la figura se observa los cuadrantes de colecta donde se marcan los puntos de muestreo de agua con una C, los de suelo con un asterisco (\*) y el vértice de la laguna está marcado con un V.

### **3. FACTORES BIÓTICOS.**

#### **3.1. Estado microbiológico de la laguna.**

Del mismo modo que para los análisis físico-químicos se tomaron muestras compuestas en los cinco vértices ya mencionados en la laguna (sólo superficiales) obteniendo tres muestras compuestas; tales muestras se tomaron como el punto alejado de la laguna y otras tres cercanas al canal de Santo Tomás ya mencionado.

Posteriormente, el análisis de coliformes totales se realizó por medio de la prueba de Colorimetría presuntiva.

#### **3.2. Identificación de la flora y comparación con registros anteriores.**

Se llevaron a cabo colectas de la vegetación siguiendo el método descrito por Lot y Novelo (1978) en la laguna y posteriormente se realizó su identificación taxonómica. Los ejemplares fueron tomados en diferentes tiempos y espacios, tomando en cuenta a la zona somera y a la zona profunda.

Estas colectas se realizaron con el fin de identificar las especies presentes y obtener elementos que ayuden a caracterizar la composición vegetal que conforma actualmente la laguna. La identificación de ejemplares colectados se realizó con la ayuda del libro de la flora en Rzendowski y Rzendowski (2001) y la posterior comprobación con ejemplares del herbario nacional mexicano de la UNAM (MEXU). Una vez obtenida esta información, se comparó con la obtenida bibliográficamente para saber cuanto ha cambiado en cuanto a especies de la vegetación original.

## RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 1. FACTORES SOCIALES E HISTÓRICOS.

#### 1.1. Manejo socio económico de la zona.

A lo largo de la década de los 80s a los 90s, el uso de suelo en la zona aledaña a la laguna tuvo variaciones en la extensión dedicada a diferentes actividades, como se puede ver en la tabla 1. No obstante es importante notar que el crecimiento para la zona de cultivo fue de 1.05 km<sup>2</sup>, mientras que la zona urbana aumento 12.9 km<sup>2</sup>. La zona del Cerro Xalpan se ve disminuida porque las fotografías aéreas utilizadas no cubren la misma extensión de dicho cerro.

Tabla 1. Uso de suelo en la década de 1980-1990 en un área de 635.153.75 ha., de la región de la Laguna de Zumpango.

	1980	1990
Suelo para cultivo	204.750 km <sup>2</sup>	205.800 km <sup>2</sup>
Zona urbana	297.50 km <sup>2</sup>	310.40 km <sup>2</sup>
Laguna	63.000 km <sup>2</sup>	63.000 km <sup>2</sup>
Cerro Xalpan	13.125 km <sup>2</sup>	11.000 km <sup>2</sup>

En las cinco poblaciones aledañas a la laguna contempladas en este trabajo, el uso de suelo está dedicado a diversas explotaciones agrícolas y pecuarias divididas en ejidos y particulares. Dentro de la explotación agrícola destacan algunos cereales como el maíz, cebada de grano, trigo y avena en grano; algunas leguminosas como el frijol; hortalizas como la lechuga, zanahoria, tomate, cebolla y calabacitas; además de forrajes que incluyen cultivos de alfalfa (cultivo principal), maíz forrajero y pasto cultivado. Respecto de las explotaciones pecuarias sobresalen las granjas avícolas, porcinas, de conejos, caballos y establos lecheros (INEGI 1997 en Ramírez 1999 y Sánchez 2001).

El suelo utilizado para cultivo es de tres tipos: 1) de riego, 2) de temporal y 3) de riego y temporal. En este punto, la Laguna de Zumpango adquiere relevancia, dado que es la base del Distrito de Riego Rural 074 y de la presa denominada "Proyecto de los Insurgentes", a este distrito de riego (074), pertenecen las tierras de cultivo de las cinco poblaciones incluidas en este estudio (Sánchez 2001).

La ciudad de Zumpango tiene 28 ranchos y siete granjas, mientras que San Pedro de la

laguna solamente posee un rancho (todos estos ranchos y granjas constituyen terrenos de propiedad privada) (H Ayuntamiento 1997-2000, en Ramírez 1999). Por otro lado, en la zona noroeste, después del gran canal de desagüe, se realiza la producción de cuetes, los cuales también se encuentran en una zona privada, colindando con la de la laguna que es zona federal.

Debido a que ninguno de los dos municipios (Mpio., de Zumpango y Teoloyucan) está contemplado entre los planes estatal y nacional de desarrollo, el establecimiento, fomento e impulso a empresas industriales de gran tamaño es nulo (Ramírez 1999).

Sin embargo, en la ciudad de Zumpango de Ocampo existe el 52% de toda la industria del Municipio de Zumpango. Donde algunas de esas industrias están dedicadas a la agroindustria alimentaria con tecnología artesanal. Además, en Zumpango de Ocampo se explota arena y tezontle por medio de una empresa privada; mientras que en San Juan Zitlaltepec se extrae basalto y piedra rodada.

Por otro lado, el estudio del número de habitantes ocupado en los sectores primario, secundario y terciario<sup>2</sup> a partir de 1970, se observa en la figura 7, el cual solo se realizó para las poblaciones de Zumpango de Ocampo y San Juan Zitlaltepec debido a la ausencia de datos para varios años de las otras poblaciones.

En la figura 7 se puede observar que tanto en Zumpango de Ocampo, como en San Juan Zitlaltepec, el sector primario perdió fuerza entre la década de los 80s y 90s, no apareciendo incluso, para el censo del 2000. Sin embargo, por las encuestas realizadas en este trabajo se sabe que aún existe gente, aunque quizá en proporción muy baja, dedicada a la agricultura, ganadería, silvicultura, caza y pesca; por lo tanto, la tendencia observada en la figura 7, podría ser el resultado de que la gente además de dedicarse a las actividades antes mencionadas, se emplean como jornaleros y peones, ocupaciones que subieron estadísticamente en el censo del año 2000.

En la misma figura se puede observar, que mientras el número de habitantes ocupadas en el sector primario ha venido disminuyendo en las últimas décadas, en el sector secundario y terciario ha aumentado. Para el caso de Zumpango de Ocampo, el sector terciario es el que mayor aumento a tenido (Sector 2rio: 5 316 y Sector 3rio: 8 088 habitantes ocupados); mientras que en San Juan Zitlaltepec se presenta un crecimiento mayor para el sector secundario (3 148 habitantes ocupados), que para el terciario (2 148 habitantes ocupados).

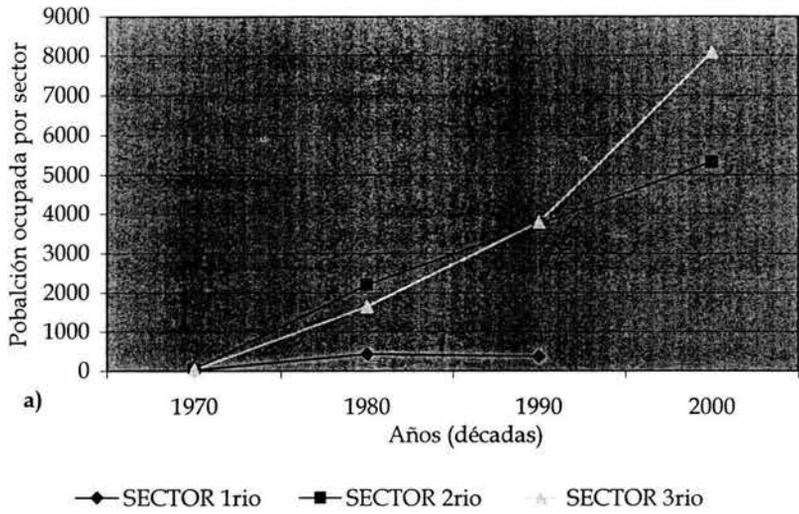
<sup>2</sup> Sector Primario: agricultura, ganadería, silvicultura, caza y pesca.

Sector Secundario: minería, extracción de petróleo y gas, industria manufacturera, generación de energía eléctrica y construcción.

Sector Terciario: comercio y servicios.

INEGI (1980).

### Zumpango de Ocampo



### San Juan Zitlaltepec

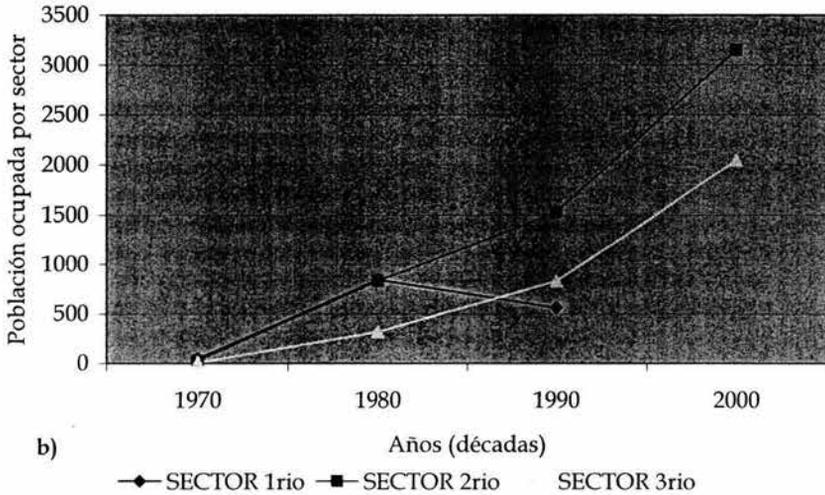


Figura 7. Variación del número de habitantes ocupados en los sectores primario, secundario y terciario a través de las tres últimas décadas en: a) la ciudad de Zumpango de Ocampo y en: b) el pueblo de San Juan Zitlaltepec. Los datos fueron tomados de INEGI (1973, 1980, 1990 y 2000).

## 1.2. Crecimiento poblacional.

En la tabla 2, se observa el crecimiento poblacional de la zona aledaña a la laguna en el intervalo de tiempo entre la llegada de los españoles (1521) y el año 2000. Como se puede ver en dicha tabla, solo se tienen datos de la época prehispánica para la población de la ahora ciudad de Zumpango, antes Tzompanco. En la tabla se observa que del primer dato registrado (época prehispánica) al segundo (1711) para Zumpango, la población se redujo en un 93%. Este hecho, según Ramírez A (1999), se debió a que a la llegada de los españoles la población fue disminuida por numerosas epidemias y pérdidas de indígenas en la construcción de obras hidráulicas en el desagüe de la cuenca.

Respecto del pueblo de San Juan Zitlaltepec, se sabe que ya existía antes de la época colonial, sin embargo, no se tienen datos del tamaño de su población, mientras que San Pedro de la Laguna nace con familias zumpanguenses en el año de 1949 (Ramírez 1999).

Si se suman los últimos datos para cada una de las poblaciones de la tabla, se observa que la población ha aumentado en un 51.91% respecto del registro del tamaño poblacional de Tzompanco a la llegada de los españoles. Esto quiere decir que del año 1521 al 2000, la población se ha duplicado de 30 000 a 62 376 habitantes. Sin embargo, este dato debe tomarse con cierta incertidumbre, debido a que solo se tomaron en cuenta cinco poblaciones para este estudio por lo que podría considerarse como el dato mínimo de crecimiento poblacional para la zona aledaña a la laguna.

Por otro lado, si se suman los datos del año 1980 de las cinco poblaciones de la tabla, se obtiene una cantidad de 36 715 habitantes, 0.6 habitantes arriba del primer dato registrado para esa zona, lo que quiere decir, que el mayor incremento se ha dado del año de 1980 al 2000. Al comparar estos datos con los del crecimiento poblacional para México (figura 8), se observa que el crecimiento en la zona aledaña a la laguna de Zumpango, no se ha producido de forma acelerada como para México, a pesar de ser en la actualidad el doble de la población como se aprecia en la figura.

Actualmente, la localidad con mayor número de habitantes es la ciudad de Zumpango. Esta población muestra un crecimiento del 33.34% de la década de los 70s a la de los 80s, del 33.94% y 28.55% de los 80-90s y de los 90s al año 2000, respectivamente (figura 9). El pueblo de San Juan Zitlaltepec muestra un crecimiento del 20.20%, 24.69% y 20.83% en los intervalos de tiempo 70-80, 80-90, 90-2000 respectivamente (figura 9). Por su parte el pueblo de San Pedro de la Laguna muestra un 30.67% de la década de los 70s a la de los 80s (figura 9). No se encuentra ningún registro de censo en los 90s y 2000 en INEGI, esto parece deberse a que este pueblo fue incluido en las estadísticas de la ciudad de Zumpango, sin embargo, las encuestas realizadas en el pueblo de San Pedro de la laguna sugieren que la gente no está enterada de éste hecho.

Como se aprecia en la tabla ya mencionada, el crecimiento de las tres poblaciones del Municipio de Zumpango es grande en las últimas décadas, las casas del pueblo de San Juan Zitlaltepec se encuentran a metros de distancia, separada de éstos por cultivos de alfalfa y el mismo bordo perimetral del vaso. Por su parte la ciudad de Zumpango, a pesar de ser la que mayor crecimiento poblacional presenta, se mantiene alejada de la laguna, debido a que su crecimiento parece orientarse hacia el sur de la ciudad.

Al respecto, es importante hacer notar, que quizá la cercanía de los pueblos de San Juan Zitlaltepec y San Pedro de la Laguna, es la que mantiene aun los vínculos entre el cuerpo de agua y la comunidad.

Por otro lado, los dos pueblos del Municipio de Teoloyucan tampoco se localizaron datos de su población antes o en fechas cercanas a la conquista española (quizá no existían). Respecto de los datos recientes, solo existen hasta el año de 1980, pues hacia la década de los 90s, ambos pueblos (Santo Tomás y Santa Cruz) fueron conurbados a la localidad que lleva el mismo nombre que el Municipio (Teoloyucan). En la tabla 2 se observa que el crecimiento del año 1970 a 1980 fue de 29.96 y 31.32% para Santo Tomás y Santa Cruz respectivamente (figura 9).

Sin embargo, el crecimiento a través del tiempo desde la llegada de los españoles no es muy grande, lo cual es importante de resaltar al hacer la evaluación de los cambios sociales globales, ya que podrían estar direccionados más enfáticamente hacia una transformación cultural.

El crecimiento poblacional más acelerado según los datos para las poblaciones del Municipio de Zumpango que para el de Teoloyucan.

Tabla 2.- Crecimiento poblacional en las últimas 3 décadas de 5 poblaciones aledañas a la laguna, comparado con el de épocas antiguas (INEGI 1980; INEGI 1990; 2000; Secretaría de Industria y Comercio 1970; Valek 2000).

Población	Población en la época prehispánica	Población en 1711	Población en 1970	1980	1990	2000
<b>Municipio de Zumpango</b>						
Tzompanco . Hoy Zumpango de Ocampo	Cerca de 30 000	2012	12,923	19,389	29,354	41,084
San Juan Zitlaltepec	No existen datos.	No existen datos.	8,142	10,204	13,551	17,117
San Pedro de la Laguna	No existía.	No existía	2,043	2,947	¿?	¿?
<b>Municipio de Teoloyucan</b>						
Santo Tomás	¿?	¿?	1,428	2,039	Se conurbó a Teoloyucan	Se conurbó a Teoloyucan
Santa Cruz	¿?	¿?	1467	2,136	Se conurbó a Teoloyucan	Se conurbó a Teoloyucan

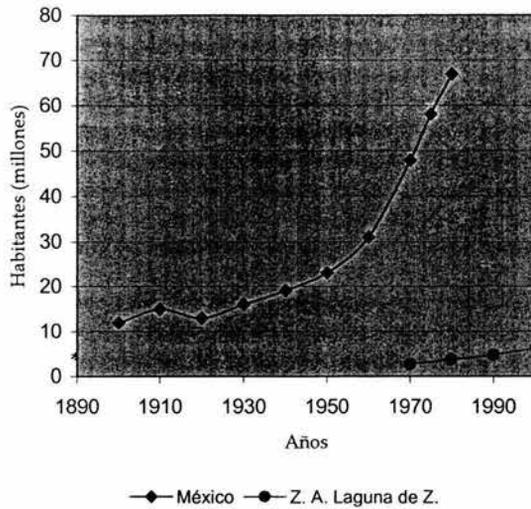


Figura 8. Crecimiento poblacional en México y en la zona aledaña a la Laguna de Zumpango, Edo. de México desde el final del siglo XIX al año 2000. (Modificado de Vázquez y Orozco 1995). El asterisco (\*) señala el tamaño de la población en Zumpango en la época prehispánica.

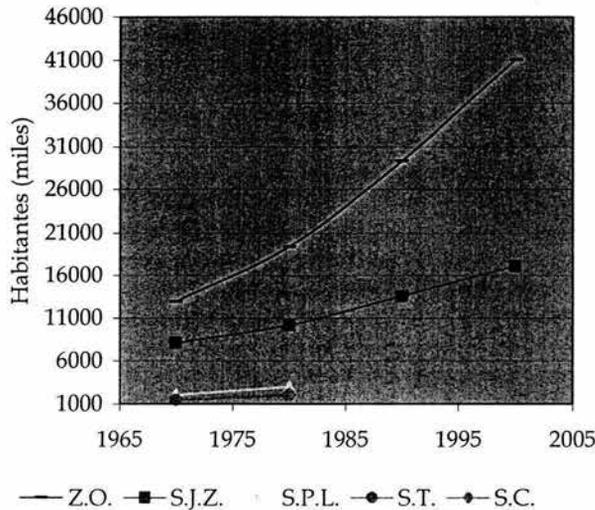


Figura 9. Crecimiento poblacional en las tres últimas décadas, en cinco poblaciones aledañas a la Laguna de Zumpango, Edo. de México. Donde: Z.O. es Zumpango de Ocampo; S.J.Z. es San Juan Zitlaltepec; S.P.L. es San Pedro de la Laguna; S.T. es Santo Tomás y S.C. es Santa Cruz.

### **1.3. Trabajos gubernamentales.**

En las últimas tres décadas se han llevado a cabo solamente tres trabajos por parte de diferentes organizaciones e instituciones en la Laguna de Zumpango, los cuales han tenido diferentes enfoques sobre la conservación y utilización del cuerpo de agua, de acuerdo al momento histórico en que cada uno se haya creado respecto de una visión ecológica conservacionista, tal como se aprecia en la tabla 3.

Desafortunadamente ninguno de los dos primeros proyectos se han completado y el último aún no se sabe si va a concluirse. En cambio, los tres han perturbado fuertemente la composición florística y faunística, así como el funcionamiento integral del vaso, sobre todo el primer proyecto con la desecación de la laguna y la elevación del bordo perimetral.

Además de los proyectos que aparecen en la tabla 3, se sabe que existió un proyecto previo a los señalados en dicha tabla, el cual consistió en la construcción de un primer bordo perimetral de aproximadamente 3 m de alto (Reyes Chilpa R. comunicación personal).

Respecto del tercer proyecto que aparece en la tabla, se sabe que su primera etapa culminó en enero del año 2003, la cual consistió en la erradicación de malezas acuáticas por medio de maquinaria especializada en éstas tareas. Así, cada que aparecen brotes de lirio acuático en la laguna, éste es removido del mismo modo.

En éste mismo proyecto, Arturo Montiel Rojas, Gobernador del Estado de México, estableció a la Laguna de Zumpango como Santuario del agua, al cual la Secretaría de Ecología establece como un sitio en donde brota o se recarga el acuífero.

Tabla 3. Proyectos realizados por diversas asociaciones e instituciones gubernamentales en las últimas tres décadas en la Laguna de Zumpango, Edo. de México (CNA 1990 y GEM 2003).

Proyecto	Propósitos del proyecto	Año de implementación	Organismos e Instituciones involucradas
Elevación del bordo de la Laguna de Zumpango y una serie de obras de infraestructura hidráulica.	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Aprovechar la laguna como vaso regulador del Sistema Hidrológico del Poniente (SHP) y "teóricamente" como embalse.</li> <li>•Utilizarlo como irrigador del distrito de riego de "los Insurgentes".</li> <li>•Garantizar la producción y el incremento de agricultura y ganadería de la región.</li> </ul>	1982	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Comisión Nacional del Agua (CNA)</li> <li>•Secretaría de Desarrollo Agropecuario (SEDAGRO) •SARH</li> <li>•Gobierno del Estado de México (GEM)</li> </ul>
Programa de saneamiento de la Laguna	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Extraer la maleza acuática que había invadido el cuerpo de agua.</li> </ul>	1997	
Programa Integral de Saneamiento de la Laguna de Zumpango	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Recuperar la Laguna de Zumpango y su área de influencia para contribuir al mejoramiento ambiental del Valle de México.</li> <li>•Crear un microclima que contribuya a mejorar las condiciones atmosféricas de la Zona Metropolitana del Valle de México.</li> <li>•Controlar permanentemente el desarrollo de malezas acuáticas nocivas.</li> <li>•Monitorear y mejorar la calidad de agua del vaso.</li> <li>•Erradicar los tiraderos de residuos sólidos municipales de la zona para evitar incendios, generación de partículas suspendidas y contaminación del acuífero.</li> <li>•Rescatar especies de flora y fauna del Valle de México, asociadas a cuerpos de agua permanentes.</li> </ul>	2001	<p>Diversas Asociaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•Asociación de Usuarios de Riego de la Laguna</li> <li>•Federación de pescadores de la Laguna</li> <li>•Sociedad Cooperativa de producción del Tule</li> </ul> <p>Instituciones del Estado de México:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•Ayuntamiento de Zumpango</li> <li>•Ayuntamiento de Teoloyucan</li> <li>•Patronato de la Defensa, Conservación y Preservación de la Flora, Fauna, Canales y Zonas de Riego de la Laguna</li> <li>•CNA</li> </ul>

#### 1.4. Interés de la población.

De las encuestas realizadas en las cinco poblaciones (Zumpango de Ocampo, San Juan Zitlaltepec, San Pedro de la Laguna, Santo Tomas y Santa Cruz) se seleccionaron las tres preguntas que resultan más relevantes para poder elaborar un proyecto de manejo y que además pueden ser comparables por medio de porcentajes tanto en cada población, como entre los cinco sitios (figuras 10, 11 y 12).

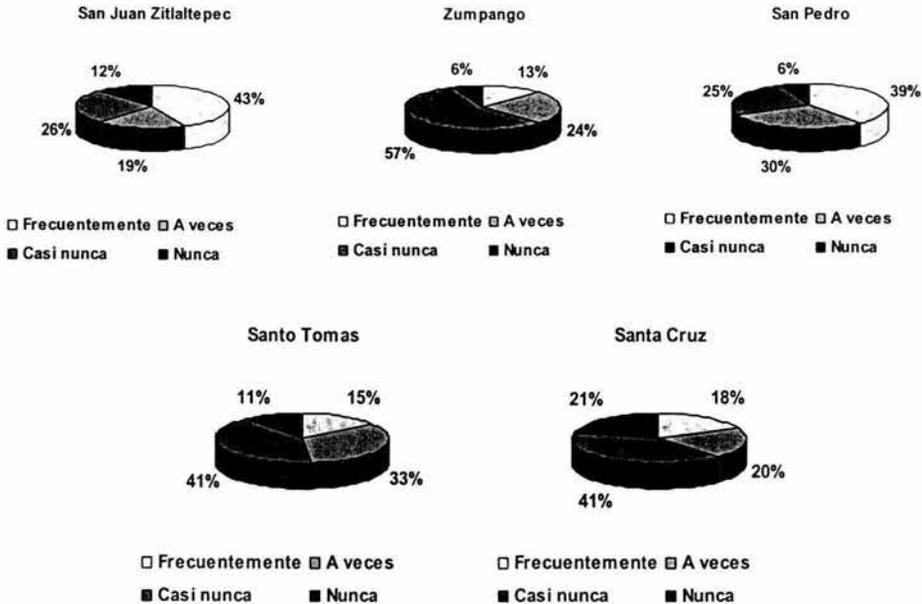


Figura 10. Porcentaje de periodicidad con que la comunidad de cinco pueblos cercanos a la Laguna de Zumpango la visitan. Donde: Frecuente = diario a 1 vez al mes; A veces = mínimo 4 veces al año; Casi nunca = de 3 a menos veces al año y Nunca = 0 veces al año.

En ésta figura se puede apreciar que la comunidad del pueblo de San Juan Zitlaltepec es la que con mayor frecuencia visita a la laguna, seguida de la del pueblo de San Pedro de la Laguna, Santa Cruz, Santo Tomas y por último se encuentra la ciudad de Zumpango de Ocampo. Cabe señalar, que entre la gente que visita con gran regularidad la laguna se encuentran personas que aun se abastecen de los recursos de la laguna (pesca de carpa, caza de patos, pastoreo, etcétera), además de jóvenes que gustan de ir a correr en el bordo de la laguna.

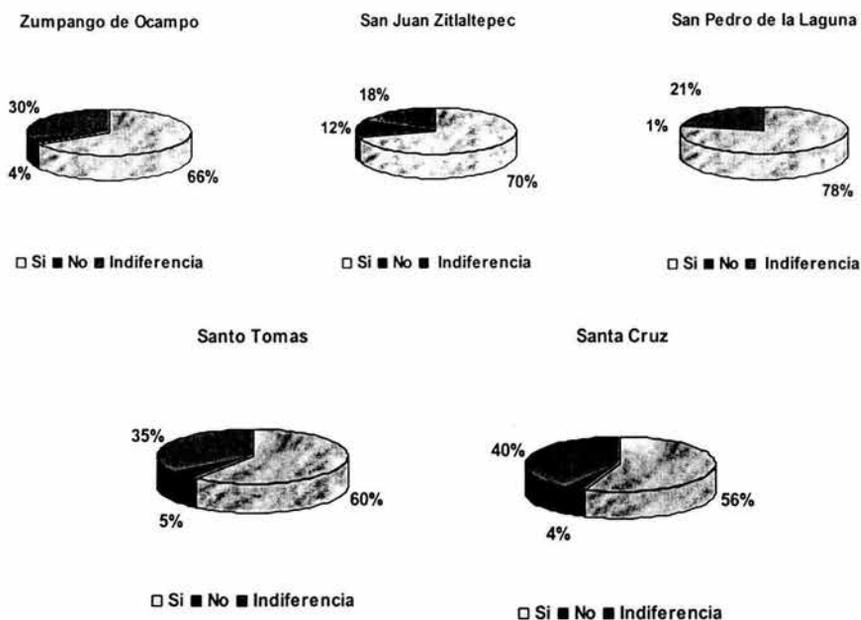


Figura 11. Porcentaje de interés sobre la recuperación de la laguna de Zumpango, por parte de la comunidad de los cinco pueblos más cercanos a ella.

Se puede apreciar que en las cinco poblaciones el mayor porcentaje de encuestados, si desean restaurar el cuerpo de agua, aun cuando no visiten la laguna. El mayor porcentaje de indiferencia lo presentan las poblaciones de Santa Cruz, Zumpango de Ocampo y Santo Tomas. Cabe señalar que la gente que se opone a la recuperación del vaso de agua, es por desinformación sobre problemas de seguridad y cuestiones gubernamentales, sobre todo en cuanto a tenencia de la tierra.

Por otro lado, es importante denotar que para todo el análisis de encuestas la población de Zumpango de Ocampo es la mayor de todas las contempladas en este estudio, lo cual puede de algún modo influir en los resultados ya que el crecimiento que se ha venido dando en dicha ciudad en gran parte es por gente proveniente de otros lugares, la cual jamás ha tenido contacto con la laguna.

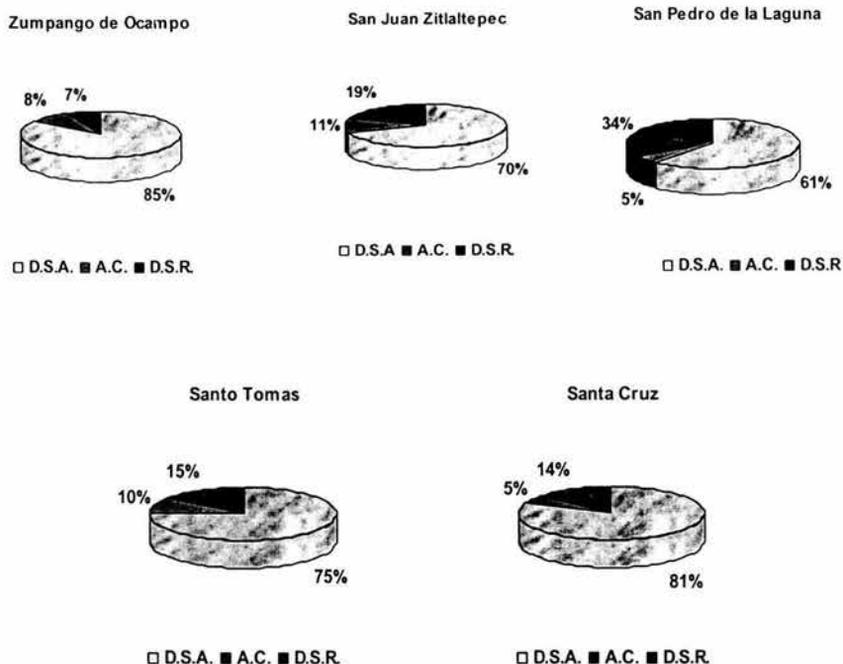


Figura 12. Porcentaje de apreciación a futuro de la laguna por parte de las cinco comunidades. Donde: D.S.A. = Desarrollo sustentable abierto; A.C. = Área de conservación y D.S.R. = Desarrollo sustentable restringido.

Se observa que la comunidad de las cinco poblaciones en su mayoría estarían dispuestas a colaborar en un proyecto que tuviese una visión como un desarrollo sustentable, dado que esto les podría traer beneficios económicos. Sin embargo, el punto de vista sobre los usuarios que podrían tener acceso al aprovechamiento de los recursos que la restauración de la laguna podría proveer se encuentra dividido. Esto es, la mayoría de la población propone que cualquier persona de las poblaciones a quienes pertenece la laguna pueda tener la oportunidad de ser usuario de los recursos; mientras que los usuarios actuales y muy pocos que no lo son, plantean que el manejo siga siendo exclusivo de esos grupos reducidos.

Por otro lado, existe un porcentaje pequeño de la población que opina que se recupere el cuerpo de agua con el único fin de conservarse sin que en éste exista ningún tipo de manejo por el hombre.

En general, el sondeo en las comunidades, dejó ver que hay una gran desinformación y poco interés por enterarse de lo que sucede o ha sucedido con la laguna, además del desconocimiento de la fauna y flora que existe en ella.

Es importante tomar en cuenta que existe un sector reducido, que utiliza las orillas de la

laguna para pastoreo, de tal modo que la restauración de la laguna implicaría para ellos costos de oportunidad, por lo que en la práctica podrían no querer asumir dichos costos, a menos que los beneficios fuesen más altos que los que ya tienen.

## 2. FACTORES ABIÓTICOS

### 2.1. Caracterización de la laguna.

Los datos de tipo comparativo entre la época prehispánica, los años de 1980 y 2002 se encuentran en la tabla 4.

En dicha tabla podemos observar varios cambios a través del tiempo, de entre los más destacados podemos mencionar la notoria disminución de superficie total ocupada por el cuerpo lacustre (de 15 000 hectáreas - 2 000 hectáreas en la actualidad). Respecto de las 13 000 ha perdidas, es importante mencionar que un alto porcentaje ha sido ocupado por tierras para cultivo, las cuales posiblemente en algún tiempo pueden llegar a ser zonas urbanas. Sin embargo, no todo parece ir en disminución, pues si bien la profundidad ha descendido de la época prehispánica a la fecha, se puede destacar que ha aumentado del año de 1980 al actual debido a las obras del bordo. De hecho, el nivel de agua en sus partes más hondas que ha alcanzado desde octubre del 2003 no se registraba desde hace mucho tiempo, y la altura promedio es muy cercana a la de la época prehispánica.

Respecto de los afluentes y efluentes, el cambio se ha dado por las construcciones hidráulicas que dirigirían el agua de la cuenca hacia el Río Tula, como ya se ha descrito en los antecedentes. Actualmente, el único alimentador del vaso es el Canal de Santo Tomás, al cual le llegan las aguas pluviales del Emisor del Poniente y del Río Cuautitlán. El primero capta las aguas regulares del vaso de Cristo y el segundo en la presa de Guadalupe (CNA 1990). La proporción de aguas blancas que llega a la laguna es de 80% contra un 20% de aguas negras (CNA 1990 y GEM 2003).

Finalmente, respecto a los datos que se aprecian en la tabla 4, se observa que la superficie total de la laguna ha disminuido, lo cual no solo es debido al crecimiento urbano y agrícola, si no también en menor medida a la construcción del bordo perimetral mencionado anteriormente. La capacidad de almacenamiento es mayor debido a dicho bordo, mientras que la biodiversidad florística y faunística fue disminuida debido a dicha construcción.

Tabla 4. Características generales de la Laguna de Zumpango. Datos tomados de salidas a campo y bibliográficas (Miranda 1980; Rojas *et. al.* 1974 y Valek 2000).

	Época prehispánica	Año de 1980	Año 2002	Año 2003
<b>Superficie total</b>	> 15000 ha	2000 ha	2000 ha	2000 ha
<b>Extensión total</b>	¿?	6 km (largo) 4 km (ancho)	6 km (largo) 4 km (ancho)	6 km (largo) 4 km (ancho)
<b>Profundidad máxima</b>	¿?	1.5	3.5 m	8 m
<b>Profundidad promedio</b>	5 m	1.25	2.0 m	4.3 m
<b>Efluentes</b>	Río Xaltocan	Canal de desagüe en el extremo sureste	Canal de desagüe en el extremo sureste.	Canal de desagüe en el extremo sureste.
<b>Afluentes</b>	Principalmente los Ríos Avenidas de Pachuca y Cuautitlán. Además algunas corrientes menores.	Canal de Sto. Tomás.	Canal de Sto. Tomás.	Canal de Sto. Tomás.

## 2.2. Caracterización espectral de la zona aledaña a la laguna.

En la figura 13 (se ubica al final del documento) se puede observar la Laguna de Zumpango, los pueblos cercanos a ella, el canal Santo Tomás y el Gran Canal de Desagüe. Dentro de esta figura, se encuentran otras cinco figuras indicadas con los incisos (a, b, c, d y e). En las cuatro primeras se aprecian los diferentes tipos de suelo, el estado en que éstos se encuentran y el uso que se les está dando; mientras que en la quinta figura se señalan 9 perfiles descritos por INEGI en la zona aledaña a la laguna.

En el inciso a), la Zona I muestra suelos de origen volcánico, someros, limitados en su profundidad por roca dura continua y coherente (= 50 cm). De acuerdo con WRB (1988) se trata de Leptosoles, Regosoles y Phaeozems. Su actitud natural es para conservación de vida silvestre,

sin embargo se han sometido a cultura agrícola mediante empleo de terrazas. El riesgo principal de estos suelos a la degradación es a la erosión hídrica.

Por otro lado, en la zona II se observan suelos volcánicos fuertemente compactados y en ocasiones cementados, los cuales probablemente deriven de tobas. Los materiales cementados generalmente por sílice se denominan tepetates y se encuentran a una profundidad que varía desde -50cm hasta casi 1 cm. Los suelos representativos según la WRB son Phaeozems, aunque la imagen muestra la presencia de Regosoles y probablemente de Cambisoles. Los riesgos que presenta esta área son erosión hídrica, degradación física, compactación y probablemente degradación biológica, dado que las capas compactadas o cementadas impiden el paso de raíces, agua y aire.

En la zona IV se observan suelos clasificados como Phaeozem háplicos, los cuales presentan diferencias en sus porcentajes texturales. A estos suelos se les considera agrícolas aunque con riesgo de salinización y erosión. En la imagen se nota una gama de tonos que varían de casi blanco a gris muy oscuro, esta gradación va de mayor a menor erosión. Las porciones en color verde se refieren únicamente a áreas de cultivos.

En la zona próxima a la Laguna se localizan suelos con mantos freáticos elevados, en ocasiones a una profundidad menor de 50 cm. Estos suelos han sido denominados por la WRB como Gleysoles y su principal riesgo (el cual ya se observa en algunas partes) es la salinización y sodificación. Además, son suelos altamente susceptibles a la contaminación biológica así como por metales. Por otro lado, como puede observarse en la figura, el crecimiento urbano en la zona está dado de forma desordenada y se aplica aun sobre suelos con aptitud agrícola.

El inciso b) en la Zona I, muestra una densidad de vegetación muy alta que se presupone era lirio acuático, dadas las visitas al vaso en el año en que se tomaron la fotografías (2000). En la Zona III de esta imagen, como en el inciso anterior se observa una región urbana nuevamente no planeada. Además, se observa erosión antrópica, la cual se presenta dentro de una zona de uso agrícola. Los suelos aquí presentes son Vertisoles que por su alta capacidad de intercambio son muy susceptibles a contaminarse, lo cual resulta de su alta capacidad de retención.

El inciso c) en la zona I, muestra una gran densidad de vegetación acuática y así mismo en la zona II, la presencia dominante de suelos arcillosos expandibles, denominados por WRB como Vertisoles. Estos suelos por sus características físicas y químicas tienen buena aptitud agrícola, pero son de difícil manejo, ya que cuando están secos pueden ser duros a extremadamente duros. Además, suelen agrietarse dañando las raíces y en contraste, cuando están húmedos son demasiado adhesivos y demasiado plásticos, lo cual es impedimento para un buen trabajo mecanizado (como uso de tractores). En estos suelos se aplican cultivos de temporal como se aprecia en la zona III.

Los riesgos y la degradación que muestra actualmente esta zona, son la salinidad y la sodicidad. Sin embargo, ambos se ven atenuados por la práctica de riego con aguas negras. Además, otro riesgo que se observa en la fotografía es la urbanización no regulada, la cual tiende a la conurbación.

En el inciso d), se observa el vaso de Zumpango con diferentes tipos de vegetación acuática y/o probablemente diferentes estadios de desarrollo de la vegetación.

En esta imagen se puede observar en la Zona I áreas urbanas y/o degradadas por efecto antrópico. Además, se puede ver en la Zona II a suelos denominados por INEGI como Phaeozems, los cuales pueden tratarse de Cambisoles y Regosoles. En esta zona la salinidad y la degradación biológica son los principales riesgos que pueden presentarse en los suelos.

Por otro lado, las áreas de la Zona III están indicando la presencia de suelos arcillosos que probablemente muestren niveles de salinidad e incluso de modicidad.

Finalmente en la Zona IV, se observan áreas actualmente dedicadas a cultivo, los cuales principalmente son de alfalfa. Además, en el margen derecho inferior del vaso se nota la presencia de suelos limitados en su profundidad, la cual varía de 50 a 100 cm. Los suelos han sido clasificados como Phaeozem y Cambisoles; los Gleysoles están confinados a los márgenes de la laguna.

Respecto del inciso e), a continuación se describen las características morfológicas de los perfiles señalados.

#### Descripción del perfil 02

Suelo muy profundo, constituido por un horizonte A y un horizonte B. Morfológicamente el horizonte A se caracteriza por un gran espesor y una reacción moderada al HCl. Su textura es franca y su estructura subángular, de tamaño medio y desarrollo moderado. El horizonte A es de tipo ócrico

El horizonte B es de gran espesor y de textura fina, además reacciona moderadamente al HCl. Muestra una estructura subángular de tamaño fino a medio y desarrollo débil a moderado. Se caracteriza por presentar escasa cantidad de carbonatos. El horizonte B es de tipo cámbico. Este suelo se clasifica como Cambisol eútrico en fase sódica (tabla 5).

Tabla 5. Características físicas y químicas del perfil 2. INEGI 1995.

Horizonte	Profundidad (cm)	Textura			Clasificación	Color		pH (H <sub>2</sub> O)
		Arcilla (%)	Limos (%)	Arena (%)		(seco)	(húmedo)	
A	0-45	20	36	44	C	10YR7/1	10YR5/1	8.3
B	45-70	20	20	60	Mra	10YR6/2	10YR4/2	9.0

#### Continuación

Horizonte	MO (%)	CICT (meq/100g)	Ca (meq/100g)	Mg (meq/100g)	Bases (%)	C.E. (mhos/cm)	Na (%)
A	1.8	23.3	14.7	7.5	100	2.0	3.8
B	2.1	26.3	12.2	4.3	100	2.5	12.3

Descripción del perfil 03

Es un suelo muy profundo, constituido por dos capas: 1) la primera con un espesor de 52 cm., y 2) la segunda con un espesor de 18 cm., de textura arena-migajosa y migajón arenoso respectivamente. Reacciona fuertemente al HCl y muestra evidencias de alcalinidad y riesgo a la salinidad y sodicidad. Se caracteriza por una estructura en bloques subangulares predominantemente finos y mal desarrollados. El drenaje interno es rápido. Este suelo se clasifica como un Regosol calcárico (tabla 6). Este tipo de suelos normalmente no presenta fases salinas ni sódicas debido a que posee un drenaje interno de eficiente a rápido. La posible explicación de esta salinidad y sodicidad es que puede darse por vecindad ecológica con otros suelos adyacentes que son fuertemente salinos y sódicos.

Tabla 6. Características físicas y químicas del perfil 3. INEGI 1995.

Horizonte	Profundidad (cm)	Textura			Clasificación	Color		pH (H <sub>2</sub> O)
		Arcilla (%)	Limos (%)	Arena (%)		(seco)	(húmedo)	
C1	0-52	8	12	80	Am	10YR5/1	10YR3/1	8.1
C2	52-70	12	12	68	Mra	10YR5/1	10YR3/1	8.4

Continuación

Horizonte	MO (%)	ClCT (meq/100g)	Ca (meq/100g)	Mg (meq/100g)	Bases (%)	C.E. (mhos/cm)	Na (%)
C1	0.5	9	10.9	2.2	100	<2	0.5
C2	0.5	15.3	12.8	8.3	100	<2	0.2

Descripción del perfil 09

Suelo muy profundo, constituido por tres horizontes bien desarrollados de textura muy fina. El horizonte A muestra un espesor de 22 cm, los otros horizontes clasificados como B muestran un espesor de 49 y 29 cm respectivamente. Reacciona de forma moderada a fuerte con el HCl. Muestra evidencias muy claras de sodicidad y riesgo a la salinidad. La alcalinidad se incrementa con la profundidad.

El horizonte A se caracteriza por una textura arcillosa, una estructura en bloques angulares de tamaño medio y fino y desarrollo moderado.

Los horizontes B muestran texturas finas, aunque la estructura está degradada por la floculación de la arcillas debido a la presencia de Na. El drenaje interno tiende a ser deficiente. Este suelo se clasifica como un Solonchac órtico en fase sódica (tabla 7). Es un suelo de difícil manejo que solo permite el crecimiento de vegetación halófila. Se estima que su recuperación es incosteable, pero si se somete a riego con aguas ricas en materia orgánica este suelo podría dar alguna productividad.

Tabla 7. Características físicas y químicas del perfil 9. INEGI 1995.

Horizonte	Profundidad (cm)	Textura			Clasificación	Color		pH (H <sub>2</sub> O)
		Arcilla (%)	Limos (%)	Arena (%)		(seco)	(húmedo)	
A	0-22	50	20	30	R	10YR5/1	10YR4/1	8.6
B21	22-71	40	24	36	R	10YR6/2	10YR4/2	4.6
B22	71-100	46	20	30	R	10YR6/2	10YR4/1	4.1

## Continuación

Horizonte	MO (%)	CICT (meq/100g)	Ca (meq/100g)	Mg (meq/100g)	Bases (%)	C.E. (mhos/cm)	Na (%)
A	38.8	100	13.1	9.6	26	3	>15
B21	32.5	100	3.2	13.5	100	10	>15
B22	36.3	100	4		100	5	>15

## Descripción del perfil 12

Suelo muy profundo, constituido por dos horizontes de tipo A. Estos horizontes muestran espesores de 38 y 46 cm respectivamente. Reacciona de forma moderada a fuerte al HCl y muestran evidencias de sodicidad, así como de alcalinidad fuerte. La alcalinidad se incrementa con la profundidad. Este suelo se caracteriza además por estar constituido de arcillas expandibles (montmorillonita). Esta mineralogía propicia que cuando el suelo está seco sea de muy duro a extremadamente duro, y se agriete. Esto impide que puedan emerger las plántulas y que muchas raíces se rompan. En cambio, cuando está húmedo, el suelo es demasiado adhesivo y demasiado plástico, lo que impide las labores agrícolas de cultivo. Se caracteriza por una estructura masiva que se rompe en bloques subángulares. Su textura en todos los horizontes es fina. Este suelo se clasifica como un Vertisol pélico en fase sódica (tabla 8).

Tabla 8. Características físicas y químicas del perfil 12. INEGI 1995.

Horizonte	Profundidad (cm)	Textura			Clasificación	Color		pH (H <sub>2</sub> O)
		Arcilla (%)	Limos (%)	Arena (%)		(seco)	(húmedo)	
A11	0-38	36	24	40	Mra	10YR5/1	10YR3/1	7.8
A12	38-84	32	26	42	Mr	10YR4/1	10YR4/1	8.7

## Continuación

Horizonte	MO (%)	CICT (meq/100g)	Ca (meq/100g)	Mg (meq/100g)	Bases (%)	C.E. (mhos/cm)	Na (%)
A11	2.3	25	15.3		100	<2	<15
A12	0.6	29.8	10.6		100	2.5	>15

Descripción del perfil 66

Suelo muy profundo, constituido por un horizonte A, de color muy oscuro y un horizonte B. Morfológicamente el horizonte A se caracteriza por su gran espesor y reacciona de moderada a fuertemente al HCl. Su textura es fina y muestra una estructura subángular a granular, de tamaño fino y medio y desarrollo moderado a fuerte. Este horizonte clasifica como A Mólico. El horizonte B también es de textura fina y muestra localmente reacción al HCl. Muestra una estructura que oscila de angular a subángular, de tamaño predominantemente medio y desarrollo que varía de moderado a fuerte. Se caracteriza por presentar migración de carbonatos. Clasifica como un horizonte B Cámbico. Según INEGI, no presenta riesgos a la salinidad ni a la sodicidad (tabla 9). Debido al contenido de arcillas y capacidad de intercambio catiónico es conveniente considerar en este suelo con riesgo a la salinidad y a la sodicidad.

Tabla 9. Características físicas y químicas del perfil 66. INEGI 1995.

Horizonte	Profundidad (cm)	Textura			Clasificación	Color		pH (H <sub>2</sub> O)
		Arcilla (%)	Limos (%)	Arena (%)		(seco)	(húmedo)	
A	0-40	36	32	34	Mra			
Continuación								
Horizonte	MO (%)	CICT (meq/100g)	Ca (meq/100g)	Mg (meq/100g)	Bases (%)	C.E. (mhos/cm)	Na (%)	
A								

Descripción del perfil 71

Suelo moderadamente profundo, que dependiendo de su posición espacial, puede oscilar de moderadamente profundo a somero, dependiendo de la posición topográfica que ocupe en el relieve. Está constituido por un horizonte A de buen espesor y un horizonte B de tipo Cámbico. El horizonte A se caracteriza por presentar una textura muy fina, una estructura angular a subángular de tamaño fino y medio y desarrollo moderado a fuerte. El horizonte A es tipo Mólico. El horizonte B con un espesor aproximado de 20 cm y una textura fina muestra una estructura angular de tamaño medio y desarrollo moderado. Se caracteriza por presentar algunos carbonatos. Clasifica como un horizonte B Cámbico. Este horizonte sobreyace a dos capas endurecidas (C1 y C2). La capa más profunda es a su vez la que muestra mayor compactación y cementación por sílice. Estas capas se denominan duripanes. Sus principales características son su baja porosidad, su dureza y su cualidad de limitar el paso de las raíces, del aire y el agua. En ocasiones, se encuentran aflorando en dos terrenos (tabla 10). En éstos suelos, este tipo de textura puede ser resultado del efecto de aradura, dado que la textura más común en ellos es de forma granular.

Tabla 10. Características físicas y químicas del perfil 71. INEGI 1995.

Horizonte	Profundidad (cm)	Textura			Clasificación	Color		pH (H <sub>2</sub> O)
		Arcilla (%)	Limos (%)	Arena (%)		(seco)	(húmedo)	
AP	0-28	36	18	46	Ra	10YR5/1	10YR2/1	7.4
B2	28-48	34	14	52	Mra	2.5Y6/2	2.5Y5/2	7.9
C1	48-55	12	10	78	Ma	10YR5/1	10YR3/1	7.8
C2	55-65	22	10	68	Mra	10YR4/1	10YR3/1	7.8

## Continuación

Horizonte	MO (%)	CICT (meq/100g)	Ca (meq/100g)	Mg (meq/100g)	Bases (%)	C.E. (mhos/cm)	Na (%)
AP	1.7	20.3	13.4	5.4	100	<2	0.5
B2	0.6	29.5	12.8	5.9	100	<2	0.9
C1	0.7	7.3	5.6	2	100	<2	0.4
C2	0.7	11	7.5	3.4	100	<2	0.9

Descripción del perfil 75

Suelo moderadamente profundo, limitado por la presencia de un manto freático, cuyo nivel oscila en las diferentes temporadas del año. Está constituido por un horizonte A y un horizonte Bg. El horizonte A se caracteriza por muy altos contenidos de arcilla expandible, por lo que el agrietamiento en época de sequía es común. Presenta una estructura que varía de angular a subangular, de tamaño fino a medio y tienen desarrollo moderado. Califica como un horizonte A ócrico, aunque pueden presentarse horizontes A Mólicos.

En estos suelos el horizonte B puede estar ausente y presentarse un horizonte Cg. En ambos casos las principales características diagnósticas son la presencia de colores verdosos o azules dentro de la masa del suelo, así mismo como concreciones de hierro y manganeso y moteados. La estructura puede ser muy variada. Estos suelos clasifican como Gleysols vérticos (tabla 11). Son suelos inundables que muestran riesgos a la salinidad y a la sodicidad.

Tabla 11. Características físicas y químicas del perfil 75. INEGI 1995.

Horizonte	Profundidad (cm)	Textura			Clasificación	Color		pH (H <sub>2</sub> O)
		Arcilla (%)	Limos (%)	Arena (%)		(seco)	(húmedo)	
AR	20-60	72	8	20	R	10YR3/1		6

## Continuación

Horizonte	MO (%)	CICT (meq/100g)	Ca (meq/100g)	Mg (meq/100g)	Bases (%)	C.E. (mhos/cm)	Na (%)
AR	2.3	38	13.4	7.8	7.5	2.7	1.5

Descripción del perfil 79

En su morfología, es un suelo similar al perfil 12, aunque se caracteriza por presentar mayores contenidos de arcilla y pH más alcalino, así como mayores porcentajes de Na. Este suelo también clasifica como un Vertisol pélico en fase sódica (tabla 12).

Tabla 12. Características físicas y químicas del perfil 79. INEGI 1995.

Horizonte	Profundidad (cm)	Textura			Clasificación	Color		pH (H <sub>2</sub> O)
		Arcilla (%)	Limos (%)	Arena (%)		(seco)	(húmedo)	
A	0-28	50	24	26	B	10YR4/2	10YR3/1	7.8
C	28-34	28	20	52	Mra	2.5Y/2	2.5Y4/2	8.2
11 <sup>a</sup>	34-80	58	20	22	R	10YR5/1	10YR4/1	8.2

## Continuación

Horizonte	MO (%)	CICT (meq/100g)	Ca (meq/100g)	Mg (meq/100g)	Bases (%)	C.E. (mhos/cm)	Na (%)
A	2.3	25.8	14.1	16.3	100	3	4.5
C	0.7	15.3	13.4	12	100	2.5	3.3
11 <sup>a</sup>	1.4	27.3	11.6	11.3	100	6	9-2

Descripción del perfil 90

Es un suelo moderadamente somero con 41 cm de espesor, limitado en profundidad por la presencia de rocas. Se caracteriza por presentar un horizonte A de gran espesor y color muy oscuro. El horizonte A presenta fuerte reacción al HCl, textura fina, alta alcalinidad y evidencias de fuerte sodificación. Su estructura es en bloques subangulares de tamaño medio bien desarrollados. Clasifica como un Phaeozem calcáreo (tabla 13). Esta salinidad y sodicidad puede deberse a su vecindad ecológica con otros suelos adyacentes que son fuertemente salinos como en el perfil 03.

Tabla 13. Características físicas y químicas del perfil 90. INEGI 1995.

Horizonte	Profundidad (cm)	Textura			Clasificación	Color		pH (H <sub>2</sub> O)
		Arcilla (%)	Limos (%)	Arena (%)		(seco)	(húmedo)	
A	0-41	32	20	48	Mra	2.5Y5/2	2.5Y2/1	9.9

## Continuación

Horizonte	MO (%)	CICT (meq/100g)	Ca (meq/100g)	Mg (meq/100g)	Bases (%)	C.E. (mhos/cm)	Na (%)
A	1	28	7.2	1.3	100	2.2	23.7

### 2.3. Análisis físico-químico del sedimento.

El sedimento de la laguna presenta un color gris muy oscuro (10YR3/1) en seco y negro (10YR2.5/1) en húmedo; arcilloso (54 arcilla-10 limo -36 arena); su estructura es moderadamente detallada en forma granular de tamaño fino (1-2 mm de diámetro); con poro finos (<1 mm) que van de 1.5 cm. o más; permeabilidad lenta y con raíces finas y escasas; 4% de materia orgánica; CICT 48 meq/100g; pH 6.62 y 0.85 gr/cc de densidad aparente.

La densidad aparente es baja, por lo que puede inferirse que no hay una gran compactación en el suelo. Respecto al pH obtenido, puede observarse que es casi neutro. Un buen rango de pH para obtener buenos cultivos va de 6.5 a 7.5.

### 2.4. Análisis físico-químico del agua.

Según los análisis realizados (tabla 14) para conocer la caracterización físico-química de la Laguna de Zumpango tanto superficialmente (L.Z.S) como en su profundidad (L.Z.P) y en la entrada del canal Santo Tomas (E.C.S.T) que es el que la abastece; el agua tiene valores dentro de los rangos de aguas residuales según la NOM-001-ECOL.1996 y la FAO, no siendo así para los parámetros que presentan típicamente las aguas de los lagos no contaminados (L.N.C).

En general, se observa que ninguno de los parámetros evaluados registra valores por encima de los aceptados por la NOM-001-ECOL. 1996 y por la FAO, la cual presenta rangos muy amplios para algunos de los parámetros en aguas de uso agrícola. Además, se observa que no existen grandes variaciones entre L.Z.S, L.Z.P y E.C.S.T. Esta homogeneidad en el cuerpo de agua puede deberse a la mezcla continua provocada por los vientos.

Respecto de los cationes:

**Calcio.** Es un elemento esencial para todos los organismos, se encuentra presente en todas las aguas como  $Ca^{2+}$  y es abundante tanto en aguas superficiales como subterráneas (Chapman 1992). La concentración típica de calcio en lagos no contaminados es menor a 30.06 mg/l, por lo que se observa en la tabla 14 que nuestros valores promedio de este catión sobrepasan el nivel típico encontrado en aguas naturales. Sin embargo, según los valores reportados por la FAO, los encontrados dentro de la laguna y en la entrada del canal a ella se encuentran dentro de los límites establecidos para el agua de uso de riego (La NOM-001-ECOL. 1996, no reporta ningún dato).

**Magnesio.** Este catión está presente en muchos compuestos organometálicos y en materia orgánica, por lo que es un elemento esencial para la vida de los organismos. Los niveles naturales de magnesio en lagos no contaminados se encuentran dentro del intervalo de 1.94 - 201.8 mg/l, dependiendo del tipo de sustrato del cuerpo de agua. De este modo los valores encontrados en nuestra zona de estudio se encuentran dentro de ese rango, tomando en cuenta que el origen de la laguna no es de aguas dulces y que actualmente sus aguas son semiduras.

**Sodio.** Los valores de este catión en L.N.C. oscilan entre 2.07 - 0.00009 mg/l. El incremento en los niveles de este catión pueden deberse a que este cuerpo de agua es llenado no solo con aguas pluviales, sino con aguas residuales con desechos domésticos e industriales. Los valores registrados para los tres puntos de muestreo dieron valores por arriba de lo indicado

para L.N.C., según Chapman (1992), sin embargo según la FAO se encuentran dentro de los límites admisibles para aguas de uso de riego (0-919 mg/l). La NOM-001-ECOL.1996 no reporta ningún dato sobre los valores admisibles para el sodio.

**Potasio.** El potasio es incorporado dentro de las estructuras minerales y se acumula en la biota acuática como un elemento esencial. Las concentraciones en L.N.C. van de 74.28 mg/l a concentraciones muy altas (203.2 mg/l o más) en primaveras muy calientes. En nuestros tres puntos de muestreo (L.Z.S, L.Z.P. y E.C.S.T) se encuentra por debajo de 20 mg/l.

Respecto de los aniones:

**Carbonatos y bicarbonatos.** La presencia de estos dos tipos de aniones influye en el nivel de alcalinidad del agua, además de algunos procesos biológicos. La cantidad de estos dos aniones se encuentra relacionada con el nivel de pH, donde a pH muy alcalino la concentración de carbonatos es alta, y a pH con valores entre 7-10 la concentración de bicarbonatos predomina, por este motivo es muy raro que los carbonatos predominen en aguas superficiales ya que su pH rara vez excede de 9 (Chapman 1992). En este cuerpo de agua el promedio del pH no sobrepasa de 7.2, por lo que es coherente con el resultado de la ausencia de carbonatos y la presencia de bicarbonatos. Por otro lado, la concentración de bicarbonatos en aguas naturales van de 3.78 a 75.6 mg/l, mientras que para la FAO va de 0-609.8 mg/l en aguas de uso para riego, por lo que los valores promedios encontrados para bicarbonatos (300-250 mg/l) y para carbonatos (0 mg/l en la zona de estudio) entran dentro de los parámetros establecidos por la FAO.

**Cloro.** En L.N.C. se presenta en concentraciones bajas de 60.2 mg/l y algunas veces menos de 35.4 mg/l. Sin embargo en zonas cercanas a descargas del drenaje o a aguas saladas las concentraciones pueden elevarse mucho, lo cual puede verse en los resultados obtenidos para nuestra zona de estudio (tabla 14), donde los valores oscilan entre 174 y 119 mg/l para los tres puntos de muestreo, siendo ligeramente más alto en la entrada del canal a la laguna (298.80 mg/l) que dentro de la laguna. Los valores encontrados se encuentran dentro de los parámetros establecidos por la FAO.

**Nitratos.** El ión nitrato ( $\text{NO}_3$ ), es la forma común del nitrógeno que se encuentra en las aguas naturales, el cual, puede ser bioquímicamente reducido a nitrito ( $\text{NO}_2$ ) por procesos de desnitrificación, usualmente bajo condiciones anaeróbicas. En niveles naturales, el  $\text{NO}_3\text{-N}$  normalmente no excede los 0.185 mg/l. Cuando los niveles de nitrato están influenciados por la actividad humana, las concentraciones están arriba de los 9.915 mg/l (Chapman 1992) como es el caso de la Laguna de Zumpango donde se encontró fuera de los límites para L.N.C. aunque según la NOM-001-ECOL. 1996, se encuentra por debajo de los límites para usarse en agua de uso agrícola.

**Dureza.** Los valores indican que son el agua de las tres zonas muestreadas (L.Z.S, L.Z.P. y E.C.S.T) son medianamente duras ya que sobrepasan los 22 GHF (Aceves y Palacios 1970).

**Oxígeno disuelto.** Para las dos zonas de muestreo dentro de la laguna (L.Z.S, L.Z.P), el oxígeno disuelto se encuentra por arriba de los 4.0 mg/l con una temperatura promedio de 21°C y 10°C en L.Z.S., y L.Z.P., respectivamente, lo cual beneficia la destoxicación del agua al permitir la degradación de la materia por vía aerobia y la presencia de la biota. Por el contrario, en la zona de entrada del canal a la laguna, el oxígeno disuelto se encuentra por debajo de los 4.0

mg/l a una temperatura promedio de 18°C, lo cual puede deberse a la presencia de un alto número de microorganismos debido a su origen residual y con menor dilución que el cuerpo de la Laguna.

**Temperatura.** La temperatura de los cuerpos de agua está influenciada por la latitud, altitud, estación, hora del día, circulación del aire, etcétera. En general, en nuestros tres puntos no se evidencia una temperatura fuera de los parámetros (40°C) establecidos para este tipo de agua por la NOM-001-ECOL.1996. Por lo anterior, es importante aclarar, que el muestreo se realizó entre las 11:00 am y 14:00 pm de la tarde. De este modo, los valores promedio registrados (21°C en L.Z.P; 10°C en L.Z.S; y 18°C en E.C.S.T) indican que la temperatura no contribuye a un decremento en la solubilidad de los gases como pueden ser O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, etcétera (Chapman 1992).

En las figuras 14, 15 y 16 se puede apreciar la proporción iónica (suma de aniones y cationes) de la laguna tanto en la zona superficial como a un metro de profundidad, así como en la entrada del canal. En general se observa que la proporción entre aniones y cationes se mantiene para los tres puntos de muestreo, manteniendo además, porcentajes muy similares para cada parámetro. Para los tres casos, los porcentajes más altos se registraron en los bicarbonatos (41.99%, 40.56% y 43.37% respectivamente), seguidos del cloro (19.51%, 23.58% y 25.21% respectivamente) y el calcio (19.10%, 15.80% y 9.54% respectivamente).

En la tabla 15, se muestran los elementos traza totales encontrados en algunos órganos del lirio acuático como raíces y bulbos, así como en materia en descomposición de material vegetal proveniente de la laguna y en sedimento.

Respecto de estos datos, es importante resaltar la presencia de Br, el cual no es un elemento que sea frecuentemente registrado en estudios de calidad de agua. Sin embargo se sabe que el agua de mar contiene en promedio 65 partes por millón (p.p.m.) de bromo y que existen fuentes principales en Estados Unidos como las salmueras subterráneas y lagos salados con producción comercial en Michigan, Arkansas y California.

Se encontraron 10 elementos traza (Br, Ca, Fe, K, La, Na, Sc, Se, Sm y Zn), de los cuales solo en el sedimento se registraron todos, en la raíz del lirio 6 (Br, Fe, La, Na, Sc y Se); en los bulbos 3 (Br, Na y Sm) y en la materia vegetal en descomposición solo 1 (Sm).

Tabla 14. Promedio de la concentración de los parámetros físico-químicos detectados en la Laguna de Zumpango a nivel superficial (L.Z.S), profundo (L.Z.P) y la entrada del canal que la abastece (E.C.S.T), comparados con los niveles establecidos por la NOM-001-ECOL. 1996, FAO y en lagos no contaminados (L.N.C) según Chapman (1992). N= 2

	L.Z.S	L.Z.P	E.C.S.T	NOM. 001 Riego Agrícola	FAO Riego Agrícola	L.N.C.
PH	7.2±	7.1±	7.1±	4.5-9±	6 -8.5±	
C.E. (mmho/cm)	584±	564±	543.3±	2000±		
<b>Cationes</b>						
Ca <sup>++</sup> (mg/l)	116.63±	99.78±	65.73±		0 - 801.6±	<30.06±
Mg <sup>++</sup> (mg/l)	40.84±	50.56±	68.80±		0 - 121.6±	1.94 -201.8±
Na <sup>+</sup> (mg/l)	56.76±	56.53±	61.81±		0 - 919.6±	2.07 - 0.00009±
K <sup>+</sup> (mg/l)	19.15±	17.59±	17.20±		0 - 2±	203.2± ó >
<b>Aniones</b>						
CO <sub>3</sub> (mg/l)	0±	0±	0±		0 - 6±	
HCO <sub>3</sub> (mg/l)	256.11±	256.11±	298.80±		0 - 609.8±	3.78 - 75.6±
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	119.14±	148.89±	173.70±	304.87±	0 - 1063±	<35.4 - 60.2±
SO <sub>4</sub> (mg/l)	1.92±	1.92±	2.88±	307.27±	0 - 1920±	
NO <sub>3</sub> - N (me/l)	22.92±	30.36±	N.D.		0 - 10±	< 0.185
P <sub>sol</sub> (mg/l)	106.53±	113.04±	122.02±			
Sól. Dis. (mg/l)	296±	282±	274±		0 - 2000±	
T. (°C)	21.0±	10.0±	18.0±	40±		
O <sub>2</sub> dis. (mg/l)	7.8±	5.18±	3.1±			
Dureza	22.86±	22.93±	22.19			
<b>Met. sol.</b>						
As (mg/l)	0.036±	0.039±	0.039±	0.4±		
Cr (mg/l)	1.09±	N.D	1.02±			
Fe (mg/l)	0.036±	0.074±	0.001±	5.0±		
Mn (mg/l)	0.001±	0.002±	0.002±			
Ti (mg/l)	0.008±	0.007±	0.004±			
Hg (mg/l)	0.048±	0.046±	0.046±	0.02±		
Zr (mg/l)	N.D	0.001±	N.D			

Nota: N.D= no detectado

Proporción iónica en la Superficie de la Laguna de Zumpango

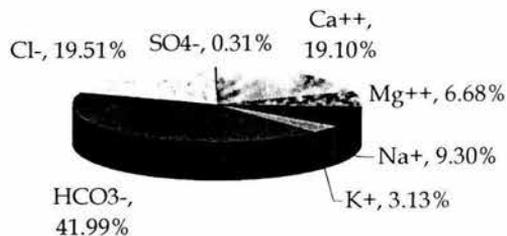


Figura 14. Relación de aniones y cationes en la superficie de la Laguna de Zumpango, Edo. de México.

Proporción iónica a 1.5 m de profundidad de la Laguna de Zumpango

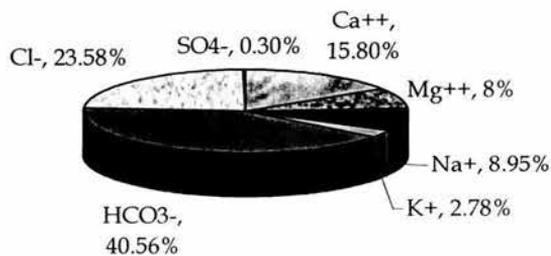


Figura 15. Relación de aniones y cationes en a 1.5 m de profundidad en la Laguna de Zumpango, Edo. de México.

Proporción iónica en la entrada del canal Santo Tomás hacia la Laguna de Zumpango

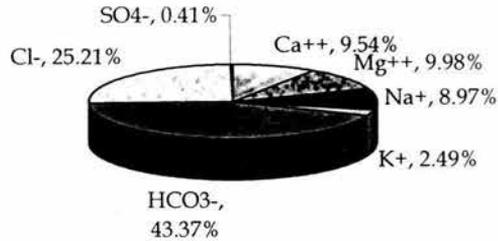


Figura 16. Relación de aniones y cationes en la entrada del Canal de Santo Tomás hacia la Laguna de Zumpango, Edo. de México.

Tabla 15. Metales totales detectados en diferentes órganos de lirio acuático, materia en descomposición y sedimento de la Laguna de Zumpango. El signo de más (+) indica la presencia del elemento y el signo de menos (-) la ausencia.

Elemento	Raíz de lirio acuático	Bulbo de lirio acuático	Material vegetal en descomposición	Sedimento
Br	+	+	-	+
Ca	-	-	-	+
Fe	+	-	-	
K	-	-	-	+
La	+	-	-	+
Na	+	+	-	+
Sc	+	-	-	+
Se	+	-	-	+
Sm	-	+	+	
Zn	-	-	-	+

Por otro lado, se sabe que este cuerpo de agua se utiliza como abastecedor de agua de uso de riego, por lo que se obtuvieron los índices establecidos por Aceves y Palacios (1970) para tener un buen indicador de la calidad de ésta agua como agua de riego (tabla 16).

La relación de adsorción de sodio (RAS) que establece la relación entre éste, el calcio y el magnesio resulto ser de tipo C2S1 que indica que tiene un riesgo bajo de sodicidad y medio de salinidad. Por lo tanto, puede usarse en cualquier tipo de suelo y no requiere de un control especial para la salinidad. Así mismo, existe poca posibilidad de alcanzar concentraciones peligrosas de sodio intercambiable (Aceves y Palacios 1970).

Tocante al contenido de sodio residual (CSR), tanto para la Laguna de Zumpango, como para la entrada a la laguna del Canal Santo Tomás, se obtuvieron valores dentro de los parámetros de aguas buenas para uso de riego, ya que no sobrepasan el valor de 1.25 me/l.

Respecto de la salinidad efectiva (SE), índice que estima el peligro que pueden producir las sales solubles del agua para riego al formar parte de la solución del suelo, se registró un valor que define tanto al agua de la Laguna de Zumpango, como a la de la entrada a la Laguna de Canal Santo Tomás como condicionada<sup>3</sup> (tabla 16), puesto que el valor de aguas con amplitud de aceptación se encuentran en valores menores de 3.0 me/l.

Del mismo modo la salinidad potencial (SP) que determina la cantidad de Cl<sup>-</sup> y SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> que puede ser perjudicial a los cultivos debido al incremento de la presión osmótica de la solución del suelo, se determinó como condicionada (tabla 16) para ambos sitios ya que poseen valores por arriba de 3 me/l.

Finalmente para el contenido de cloro (tabla 16) que puede ser un elemento tóxico para algunos cultivos, se obtuvieron valores para los dos sitios que hacen que sus aguas sean de tipo condicionada ya que están muy por encima de 1 me/l.

De acuerdo a la clasificación de la tabla 16, tanto el agua de La Laguna de Zumpango Edo. de México como la de la entrada a la laguna del Canal de Santo Tomás que la abastece está condicionada por SE, SP y Cl.

Al dictaminar que el agua de la zona de estudio se encuentra condicionada por dichos factores, se requiere información adicional sobre la calidad agronómica del agua (cultivo por regar, suelo por regar, condiciones climatológicas, métodos de riego, condiciones de drenaje del suelo y prácticas de manejo del agua, del suelo y de las plantas).

<sup>3</sup> Condicionada se refiere a la restricción de uso del agua analizada a ciertos cultivos dada por los valores presentados en algunos parámetros (CE, RAS, SE, SP, CSR y Cl)

Tabla 16. Criterios e índices para la clasificación química del agua para riego en la Laguna de Zumpango, Edo. de México y para la entrada a la laguna del Canal Santo Tomás.

Indice	Laguna de Zumpango	Clasificación de agua para riego	Clave	Canal que abastece la laguna	Clasificación del agua para riego	Clave
CEx106 micromhos	574		1 a	543.3		1 a
RAS (m.e/l)1/2	1.55	C2S1	2 a	1.77	C2S1	2 a
SE me/l	3.29	Condicionada	1b	3.13	Condicionada	1b
SP me/l	3.72	Condicionada	1c	4.29	Condicionada	1c
CSR	0	Buena	2b	0.93	Buena	2b
Cl me/l	3.71	Condicionada	3 a	4.9	Condicionada	3 <sup>a</sup>

Nota: La procedencia de la connotación de la clave se encuentra en el anexo I.

La notación abreviada según Coras (1999) para cada sitio es la siguiente:

Laguna de Zumpango:  $\frac{c}{1b, 1c, 3a}$  y Canal de Santo Tomás:  $\frac{c}{1b, 1c, 3a}$

donde c = condicionada.

### 3. FACTORES BIÓTICOS

#### 3.1. Estado microbiológico del agua.

Los datos de los promedios llevados a cabo para el NMP de coliformes T/100 ml en época seca para la zona de la Laguna de Zumpango lejana al canal (Z.L.C) de entrada (Santo Tomás) y para la zona cercana (Z.C.C) a él, se muestran en la tabla 17. En dicha tabla se observa que los valores no sobrepasan los valores permisibles en ambos sitios según lo establecido por la NOM 001-ECOL-1996.

Tabla 17. Promedios de coliformes totales en la Laguna de Zumpango Edo. de México en su zona lejana y en su zona cercana al canal de entrada, comparados con el valor que admite para este tipo de agua la NOM. 100.

	Z.L.C	Z.C.C	NOM. 001
NMP de coliformes T/100 ml	20.6	969	2000 NPM/100ml

Los resultados del análisis de varianza factorial (figura 17) para la prueba microbiológica NMP muestran diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre la zona de la laguna alejada del canal y la zona cercana al respecto del número total de coliformes (tabla 18).

Dichos resultados indican que existen diferencias significativas en cuanto al número total de coliformes en 100/ml de agua, entre las zonas alejadas y cercanas al canal (Santo Tomás) que abastece a la Laguna de Zumpango. Debido a que no se realizó identificación de especies no se conoce con exactitud cual es la microbiota que prolifera en la laguna, sin embargo, se sabe que debido a los vertidos de aguas residuales o de abonos, existe una floración de cianobacterias, las cuales pueden alcanzar grandes extensiones (Atlas y Bartha 2001).

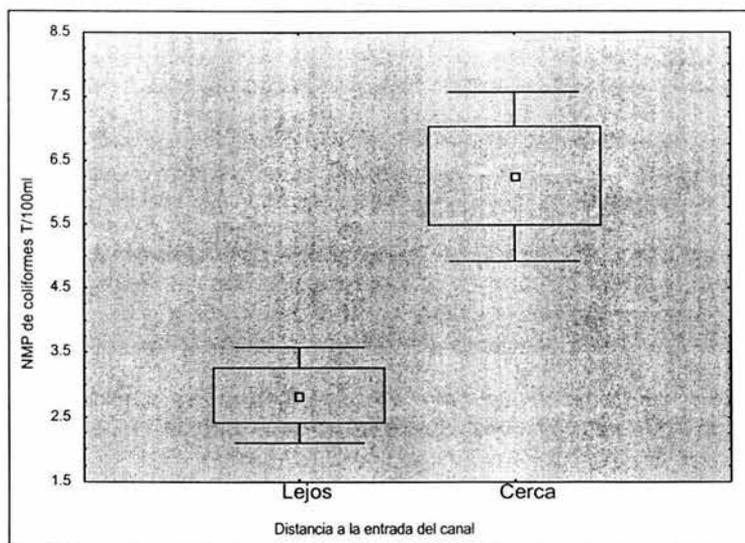


Figura 17. Variación del número promedio de coliformes totales/100 ml de agua en una zona alejada del canal de entrada de aguas residuales y en una zona cercana en la Laguna de Zumpango, Edo. de México. Donde las barras representan el error estándar, los cuadros pequeños (•) representan el promedio de las muestras y las rectángulos la desviación estándar. N= 3.

Tabla 18. Análisis de varianza de dos zonas de la Laguna de Zumpango (L.Z) Donde: la variable es igual al número de coliformes totales (NCT) y el factor es distancia al canal (D.C) de entrada de aguas residuales.

LUGAR	Variable	Factor	Suma de g.l. cuadrados	Cuadrados F medios	F	P
L.Z.	NCT	D.C.	4	1.15	15.05	0.017

### 3.2. Identificación de la flora acuática y comparación con registros anteriores.

En la tabla 19, se muestran las especies que han sido registradas en la Laguna en la época prehispánica, el año de 1980 y el 2002.

Se puede destacar que a pesar de los cambios físico-químicos y el manejo que se le ha dado, el cuerpo lacustre, aún mantiene un 38.09% de especies registradas en 1980, lo cual quiere decir que se ha perdido un 72.09%. No se tienen datos de predominancia de especies anteriores y en este estudio no se pudo realizar por la limpieza de malezas que se hizo en la laguna.

Por otro lado, hay especies que se encuentran actualmente y no se tienen registros de la época prehispánica, aunque también es posible su presencia, con la excepción de *E. crassipes* (lirio acuático), la cual es una especie introducida que se ha naturalizado y convertido en maleza.

La remoción de malezas que llevó a cabo el Programa Integral de Saneamiento de la Laguna de Zumpango acabó con las pocas especies que había en la laguna, con excepción del tule, por este motivo no se pudieron seguir colectando plantas nuevas. Posteriormente, en agosto de 2003 esta especie también desapareció debido al incremento del nivel de agua en la laguna, el cual causó su putrefacción (figuras 18, 19 y 20). Dicho incremento se registró del año 2002 (2.0 m de profundidad promedio y 3.5 en su profundidad máxima) al año 2003 (4.3 metros de profundidad promedio y 8 metros en su profundidad máxima).

Por otro lado, en la tabla 20 se realizó una comparación entre la biodiversidad de flora acuática de la Laguna de Tecocomulco, Hidalgo, México (figura 18), registrada en 1978 (Lot y Novelo 1978), con la de la Laguna de Zumpango de los años 1980 (Miranda 1980) y 2002. La Laguna de Tecocomulco, que aunque no forma parte del Valle de México, colinda con éste y es probable que cuando menos para el año de 1978, haya soportado una biota (figura 21) similar a la que existió en algunos de los lagos del Valle de México, incluida la Laguna de Zumpango.

Tabla 19. Cambios a través del tiempo en las especies de plantas acuáticas en la Laguna de Zumpango, Edo. México.

FAMILIA	Época prehispánica	Año de 1980	Año 2002
Apiaceae	<i>Berula erecta</i> (Huds.) Coville.	<i>B. erecta</i> (Huds.) Coville	<i>B. erecta</i> (Huds.) Coville
Compositae		<i>Jaegeria bellidiflora</i> (D. C.) Torres & Beaman.	
Ceratophyllaceae			<i>Ceratophyllum demersum</i> L.
Cyperaceae	<i>Schoenoplectus californicus</i> (C.A. Mey.) Soják. <i>S. tabernaemontani</i> (= <i>S. validus</i> ) (Vahl) A. Lóve & D. Lóve.	<i>S. californicus</i> (C.A. Mey.) Soják. <i>S. tabernaemontani</i> (Vahl) A. Lóve & D. Lóve.	<i>S. californicus</i> (C.A. Mey.) Soják.
Graminea		<i>Echinochloa cruz-galli</i> (L.) P. Beauv. <i>E. holciformis</i> (Kunth) Chase.	
Lemnaceae	<i>Lemna</i> L.  <i>Wolffia brasiliensis</i> Thomps. (= <i>W. papulifera</i> ) <i>Wolffiella lingulata</i> (Helgem.) Helgem.	<i>L. gibba</i> L. <i>L. obscura</i> (Austin) Daubs. (= <i>L. minor</i> ). <i>W. brasiliensis</i> Wedd. <i>W. lingulata</i> (Helgem.) Helgem. <i>Wolffiella gladiata</i> (Hegel.) Helgem.	
Haloragaceae		<i>Myriophyllum aquaticum</i> (Vell.) Verdc.	<i>M. aquaticum</i> (Vell.) Verdc.
Nymphaeaceae	<i>Nymphaea mexicana</i> Zucc.		
Oragraceae			<i>Ludwigia peploides</i> (Kunth) P.H. Raven.
Polygonaceae	<i>Polygonum hydropiperoides</i> Michx.	<i>P. hydropiperoides</i> Michx. <i>P. amphibium</i> L. <i>P. punctatum</i> Elliot.	<i>P. punctatum</i> Elliot.
Potamogetonaceae		<i>Potamogeton illinoensis</i> Morong. <i>P. foliosus</i> Raf.	
Salviniaceae		<i>Azolla filiculoides</i> Lam.	
Pontederiaceae		<i>Eichhornia crassipes</i> (C. Martius) Solms.	<i>E. crassipes</i> (C. Martius) Solms.
Typhaceae	<i>Typha latifolia</i> L.	<i>T. latifolia</i> L.	<i>T. latifolia</i> L.

Las fuentes son: Lot y Miranda (1982), Miranda (1980) y Rojas (1985).



Figura 18. Panorama de la laguna antes de la remoción de la maleza. Agosto del 2001. Presenta una superficie de 1,400 a 1,700 hectáreas infestadas.



Figura 19. Panorama de la laguna después de la remoción de maleza. Enero del 2002.



Figura 20. Panorama de la Laguna de Zumpango, Edo. de México. Agosto 2003.

Tabla 20. Cuadro comparativo entre especies presentes en la Laguna de Tecocomulco, Hidalgo, México y en la Laguna de Zumpango, Edo. de México.

Familia	Especie	Laguna de Tecocomulco	Laguna de Zumpango
Alismataceae	<i>Sagittaria demersa</i> J. G. Sm.	X	
Amblystegiaceae	<i>Leptodictyum riparium</i> (Hedw.) Warnst.	X	
Apiaceae	<i>Berula erecta</i> (Huds.) Coville.		X**
Ceratophyllaceae	<i>Ceratophyllum demersum</i> L.		X***
Compositae	<i>Jaegeria bellidiflora</i> (D.C.) Torres & Beaman.	X	X*
Cyperaceae	<i>Schoenoplectus californicus</i> (C.A. Mey.) Soják.		X**
	<i>S. lacustris</i> L.	X	
	<i>S. americanus</i> Pers.	X	
	<i>S. tabernaemontani</i> (Vahl) A. Lóve & D. Lóve.		X*
Elatinaceae	<i>Elatine triandra</i> Schkuhr var <i>obovata</i> Fasset.	X	
Lemnaceae	<i>Lemna gibba</i> L.	X	X*
	<i>L. obscura</i> (Austin) Daubs. (= <i>L. minor</i> ).		X*
	<i>L. perpusilla</i> Torr.	X	
	<i>Wolffia brasiliensis</i> Wedd.	X	X*
	<i>W. lingulata</i> (Helgem.) Helgem.	X	X*
	<i>Wolffia gladiata</i> (Hegelm.) Helgem.		X*
Lentibulariaceae	<i>Utricularia gibba</i> L.	X	
	<i>U. vulgaris</i> L.	X	
Liliaceae	<i>Lilaea subulata</i> H. & B.	X	
Gramínea	<i>Echinochloa cruz-galli</i> (L.) P. Beauv.		X*
	<i>E. holciformis</i> (Kunth) Chase.		X*
Haloragaceae	<i>Myriophyllum aquaticum</i> (Vell.) Verdc.		X**
Marsiliaceae	<i>Marsilea mexicana</i> A. Br.	X	
Menyanthaceae	<i>Nymphoides fallax</i> Ornduff.	X	
Najadaceae	<i>Najas flexilis</i> (Willd.) Rostk. & Schmidt.	X	
	<i>N. guadalupensis</i> (Spreng.) Magnus.	X	
Onagraceae	<i>Jussiaea repens</i> L.	X	
Oragraceae	<i>Ludwigia peploides</i> (Kunth.) P.H. Raven.		X***
Polygonaceae	<i>Polygonum hydropperoides</i> Michx		X*
	<i>P. amphibium</i> L.	X	X*
	<i>P. punctatum</i> Elliot.	X	X**
	<i>P. lapathifolium</i> Persoon.	X	
	<i>Rumex verticillatus</i> L.	X	
Pontederiaceae	<i>Eichhornia crassipes</i> (C. Martius) Solms.		X**
Potamogetonaceae	<i>Potamogeton illinoensis</i> Morong.	X	X*
	<i>P. filiformes</i> Persoon.	X	
	<i>P. foliosus</i> Raf.	X	X*
	<i>P. nodosus</i> Poir.	X	
	<i>P. pectinatus</i> L.	X	
Ranunculaceae	<i>Ranunculus aquatilis</i> L.	X	
	<i>R. aff. Dichotomus</i> Moc. & Sessé.	X	
Ricciaceae	<i>Ricciocarpus caroliniana</i> Willd.	X	
Salviniaceae	<i>Azolla caroliniana</i> Willd.	X	
Scrophulariaceae	<i>Limosella aquatica</i> L.	X	
Typhaceae	<i>Typha latifolia</i> L.	X	X**
Umbelliferae	<i>Hydrocotyle ranunculoides</i> L. f.	X	
	<i>Lilaeopsis schaffneriana</i> (Schlecht) C. & P.	X	
Zannichelliaceae	<i>Zannichellia palustris</i> L.	X	

La x indica la presencia de la especie. El número de \* se refiere a: (\*) presente solo en 1980, (\*\*) presente en 1980 y en este estudio, (\*\*\*) presente solo en este estudio. Las fuentes son: Lot y Novelo (1978), Miranda 1980 y los registros de este estudio.

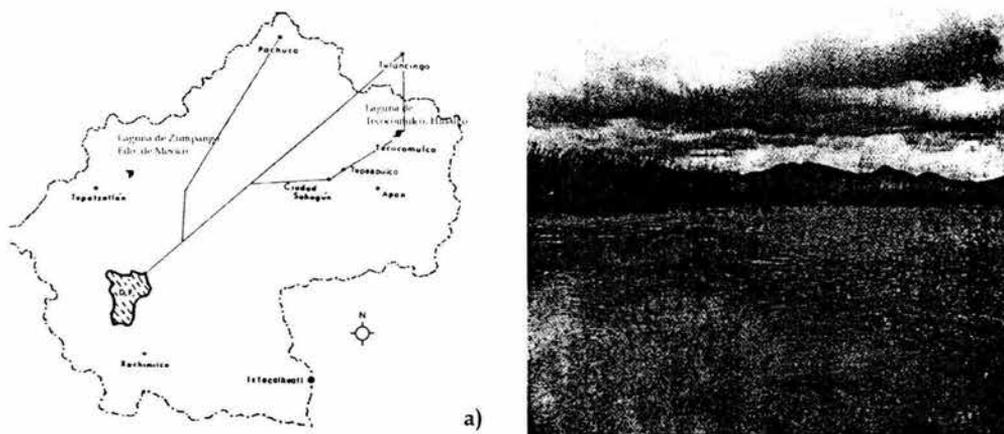


Figura 21. a) Mapa del Valle de México donde se localizan la Laguna de Tecocomulco y Zumpango (Modificado de Lot y Novelo 1978); b) Paisaje dominante de la Laguna de Tecocomulco, constituido por el cuerpo de agua abierto con vegetación libre flotante y sumergida en primer plano; al fondo cubierto por el tular (Tomado de Lot y Novelo 1978).

En la tabla 20, se puede apreciar que el número de especies presentes en la Laguna de Tecocomulco para el año de 1978 es mayor que para la Laguna de Zumpango Edo. de México. El porcentaje de especies de la zona de estudio corresponden al 58.33% de las presentes en la Laguna de Tecocomulco.

Es importante notar que hay especies encontradas en la Laguna de Zumpango, que no se encuentran registradas en la Laguna de Tecocomulco. Una de ellas es la especie *E. crassipes*, lo cual de alguna manera, por lo menos hasta ese año, permitió la permanencia de la biodiversidad de flora en ese cuerpo de agua. No obstante, existen otras especies no consideradas como malezas que se encuentran en la misma situación, tales como *B. erecta* y *C. demersum* entre otras.

Como ya se mencionó, la información de esta tabla puede servir de referencia para saber que especies pudieron haber estado presentes en la Laguna de Zumpango a la llegada de los españoles aunque no se encuentren registradas. Así mismo, puede servir de base para la regeneración de la flora acuática en la zona de estudio. Sin embargo, es necesario tomar en cuenta que la presencia de cada especie es el resultado de la convergencia de ciertos factores bióticos y abióticos, por lo que se debe de entender que hay especies en la Laguna de Tecocomulco, que quizá nunca estuvieron en la Laguna de Zumpango.

## DISCUSIÓN

La relación que ha imperado entre la humanidad y la naturaleza se ha llevado a cabo bajo la consideración de que los recursos naturales son inagotables. Aunado a esta idea errónea, el desarrollo de la mala tecnología ha afectado considerablemente a la naturaleza, además de beneficiar solamente a unos cuantos sectores sociales (Campos 2000).

De este modo, es de vital importancia empezar a preocuparnos por detener, minimizar o restaurar los daños que hemos causado en los diversos ecosistemas, entendiendo que éstos no se encuentran aislados, sino que se encuentran íntimamente interconectados a sistemas más grandes. Al respecto, Rapport (1992) señala que existe un continuo entre ríos y lagos, así como con los mantos freáticos que son de vital importancia para la sobrevivencia de las poblaciones humanas.

En éste caso, el sistema que nos ocupa es un cuerpo de agua que no debe de ser ignorado ya que el agua epicontinental adquiere particular importancia en México, dado que el territorio mexicano es en un 70% árido o semiárido (Campos 2000). Así, en este trabajo, una vez realizado el diagnóstico ambiental preliminar de la Laguna de Zumpango y su zona aledaña a nivel local, se intenta identificar a los principales problemas de tipo social, económico y ambiental que sustentan el ecosistema en particular, ya que el gran valor de la conservación coexiste con una intensa actividad económica y social que amenaza la conservación de todo sistema natural (Oñate *et. al.* 2003).

La Laguna de Zumpango a través de toda su historia en que se ha relacionado con el hombre, ha sufrido diversas transformaciones en pro de la subsistencia de los diversos asentamientos humanos que se han establecido en sus cercanías. Sin embargo, aquellas que han sido determinantes para su empobrecimiento tanto en extensión, riqueza biológica y por lo tanto su funcionamiento ecológico natural, se dieron con la reducción del sistema lacustre que existía en el Valle de México.

Evidentemente, dichas transformaciones no pueden revertirse y por lo tanto solo puede hablarse de minimizar los daños y tratar de salvar y/o recuperar el área aledaña a la laguna que no se encuentra aun urbanizada como en el caso de los proyectos que se llevan a cabo en el lago de Xochimilco y Texcoco.

Como se observa en los resultados (tabla 2), la población de Zumpango de Ocampo a la llegada de los españoles tenía cerca de 30 000 habitantes. Actualmente, el tamaño de la población aledaña, tomando en cuenta a las cinco poblaciones de este estudio, es el doble (62 376 habitantes) de la que se presume había antes de la colonia. En las últimas tres décadas se ha producido el mayor crecimiento poblacional como se aprecia en la misma tabla, siendo la población de Zumpango de Ocampo la que más a crecido con respecto de las poblaciones consideradas en este estudio. En dicha población se presenta un crecimiento del 33.34% (en la década de los 70s-80s), del 33.94% (en la década 80s-90s) y del 28.55% en la última década (90s-2000). Esta disminución de la tasa de crecimiento hacia la última década, se aprecia también en las otras poblaciones. Así, los datos sugieren que en ésta zona el crecimiento de la población no

se ha dado tan aceleradamente como en la zona metropolitana.

Evidentemente, esta diferencia de crecimiento con respecto de la zona metropolitana, pudo deberse entre otras cosas (en principio), a la merma de la población indígena a la llegada de los españoles. Sin embargo, actualmente se explica por la migración de la gente hacia las ciudades o hacia el extranjero en busca de empleos que les proporcionen mejores ingresos económicos. Paradójicamente, en la tabla 1 de los resultados y en la figura 13, se observa un notable crecimiento en la construcción de vivienda, lo cual puede explicarse dado interés de apropiación por bienes y raíces aún cuando no se habite el inmueble.

Respecto a este punto como se observa en los resultados, los suelos aledaños a la laguna son utilizados para uso agrícola principalmente (sin soslayar el uso pecuario enfocado preponderantemente al avícola y al lechero), donde el cultivo predominante es de alfalfa. Cabe mencionar que los terrenos ocupados para esta actividad no están en los márgenes del cuerpo de agua. Además, es importante hacer notar que la laguna no está siendo afectada directamente por industrias cercanas a ella. No obstante, existe el uso de agroquímicos como el sulfato de amonio, superfosfato triple, urea y abonos orgánicos, los cuales afectan la composición química del agua y sus procesos biogeoquímicos, como es el caso del ciclo del nitrógeno, debido a que todos los fertilizantes nitrogenados (excepto los que contienen productos como  $\text{Ca}$  o  $\text{NaNO}_3$ ) causan acidificación, lo que trae como consecuencia la pérdida de diversidad por eliminación de especies intolerantes a la acidez (Evans y Belnap 1999). Sin embargo, es muy poco probable que los fertilizantes utilizados en los cultivos aledaños a la laguna la estén contaminando, debido a que el bordo construido alrededor de la misma, impide el paso directo del escurrimiento de dichos cultivos. No obstante, existe la posibilidad de que alguna corriente en el subsuelo pueda llegar al cuerpo de agua y llevar éstos contaminantes, como seguramente lo hacen hacia el manto freático.

La superficie de la laguna ha sido afectada por el crecimiento urbano y agrícola, sin embargo, ni el crecimiento poblacional, ni el cambio de uso de suelo que pudiera haberse dado desde el inicio de la transformación de este lago como parte de la cuenca, pudieron haber sido los factores centrales para el deterioro actual de la laguna.

Sin embargo, mientras que los factores arriba mencionados no han sido los principales en el empobrecimiento de la biota de la laguna, si lo ha sido el crecimiento urbano de la zona metropolitana de la Ciudad de México desde la llegada de los españoles.

Esto es, los nuevos pobladores en busca de espacios para sus asentamientos como se mencionó en los antecedentes de este trabajo, fueron paulatinamente invadiendo las zonas lacustres que dejaban de ocupar poco a poco los lagos de la cuenca. Al asentarse en dichos espacios se acentuaron las inundaciones sobre la ciudad, lo cual dio origen a la idea de desaguar la cuenca por medio de construcciones hidráulicas, afectando la comunicación de todo el sistema lacustre del Valle de México. Tales construcciones hidráulicas fueron la causa principal para la reducción y empobrecimiento de la Laguna de Zumpango, así como de los otros cuatro lagos que formaban la Cuenca del Valle de México.

Aunado a esto, como se aprecia en los resultados obtenidos, desde la década de los 80's del siglo pasado se han implementado programas de aprovechamiento y/o saneamiento por parte de diversas instituciones gubernamentales, donde han participado diversas asociaciones

civiles. Respecto a este punto, es criticable que en los últimos treinta años sólo se hayan llevado a cabo tres proyectos en la laguna y estos no hayan sido completados. Schaeffer *et. al* (1988) argumenta que la carencia de datos y análisis adecuados son los grandes motivos para la falta de una correcta toma de decisiones en proyectos de restauración y manejo de ecosistemas.

En los proyectos ya mencionados existen una serie de incongruencias respecto al uso de la laguna, lo cual en gran parte se debe al momento histórico sobre la valoración de los recursos naturales por parte del gobierno. En el proyecto de 1982, se planteó aprovechar la laguna como vaso regulador del Sistema Hidrológico del Poniente y como embalse<sup>4</sup>, además de usarlo para el distrito de riego de los Insurgentes; en el de 1997 se planteaba solo limpiarlo de la maleza y en el del 2001 al mismo tiempo de volver a remover la maleza, mejorar la calidad del embalse y consolidar la laguna como uno de los cuerpos de agua del Valle de México (este proyecto continúa). Una de las objeciones planteadas en este trabajo a estos proyectos, es que el primer proyecto se contrapone con el último, puesto que mejorar la calidad del agua como se plantea en el proyecto más reciente implica impedir la entrada de aguas residuales, acción que fue establecida en el de 1982. Por otro lado, el embalse no solo es utilizado para riego y agricultura, dado que algunos pobladores aún consumen productos provenientes del mismo, como peces y aves.

Los proyectos ya mencionados, lejos de ayudar a la recuperación del cuerpo de agua en cuestión, han propiciado y/o acentuado los problemas ambientales del mismo. Sin embargo, el grado de impacto sobre la biodiversidad de cada uno de los proyectos ha sido distinto. Es decir, el primer proyecto fue el que mayor impacto ambiental tuvo con la elevación del bordo, dado que aunque ayudó a elevar el nivel de almacenamiento de agua en el vaso, afectó fuertemente su riqueza biológica en los últimos 20 años. Antes de llevar a cabo el intento de implementación de dicho proyecto, se sabe que había abundancia de culebras de agua, acociles, etcétera (Com. Per. Reyes Chilpa R. 2004). Además, el decremento del sector primario en las poblaciones aledañas (figura 7 de resultados) coincide con las acciones de este proyecto sobre la laguna.

Entre otras causas para el deterioro de la laguna, se pueden mencionar el removimiento de suelo de la laguna y el cambio temporal del uso de suelo de su terreno en las diferentes ocasiones en que se ha desecado. Se ha propiciado un suelo fangoso, poco consistente y desuniforme por lo que la distribución de la flora hasta principios del año 2002 (antes de ser triturada), no era la comúnmente encontrada en este tipo de ecosistemas.

Según Chacón y Alvarado (2002), la distribución de las especies en un cuerpo de agua se encuentra afectada por los vientos, el clima y las pendientes del terreno del lecho lacustre. En la Laguna de Zumpango el terreno es muy irregular debido a las máquinas que entraron en ella en los periodos que fue desecada, donde levantaron incluso una isla artificial a mitad del cuerpo de agua. De este modo, en zonas medias del terreno de la laguna (sin considerar la Isla) se encuentran niveles muy altos, los cuales abruptamente descienden hacia niveles más profundos (10 m). Además, otro posible problema de gran importancia originado por el removimiento del suelo del lecho lacustre, es haber afectado de algún modo el banco de semillas.

Por otro lado, durante el primer proyecto se inició el llenado de la laguna con un "20%" de aguas negras provenientes del Río Cuautitlán en donde se vierten no solo desechos

<sup>4</sup> Embalse artificial. Vaso de formación artificial que se origina por la construcción de un bordo o cortina y que es alimentado por uno o varios ríos o agua subterránea o pluvial. Normas Oficiales Mexicanas. NOM. OF. 1996.

orgánicos, sino también industriales, debido a que el Municipio de Cuautitlán es una zona altamente industrializada. Estos desechos, aun cuando llegan a la laguna en baja proporción afectan la biota del cuerpo de agua y por supuesto, llegan a los cultivos que son irrigados con el agua del vaso. Aunado a esto, el hecho de reunir en el canal aguas negras con agua pluvial, es un grave problema dado que la dilución de las primeras no implica una menor contaminación y por supuesto si implica la contaminación de las aguas pluviales.

Además de lo anterior, la frecuente actividad de pastoreo llevada a cabo en la laguna contribuye al enriquecimiento de nutrimentos en el cuerpo de agua debido a las heces fecales del ganado (figura 22).



Figura 22. Se muestra el pastoreo que se lleva a cabo en la laguna, el cual es frecuente. Noviembre 2001.

El enriquecimiento de nutrimentos en la laguna debido al abastecimiento con un porcentaje de aguas residuales y a la actividad de pastoreo, es peligrosa porque causa eutroficación que a la larga se traduce como degradación en la calidad del agua, acumulación de lodos en los fondos y en el desarrollo de malezas acuáticas cuya presencia provoca pérdida de agua por evapotranspiración e impiden el aprovechamiento del recurso (Mitchell y Thomas 1972). Problema que ya ha afectado a este cuerpo de agua, dado que el lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) ha invadido anteriormente y casi por completo a la laguna (figura 23).

Dicha especie (*E. crassipes*), es una planta libre flotadora de la familia Pontederiaceae que proviene originalmente de la cuenca Amazónica (en Brasil) y es considerada como maleza en nuestro país principalmente por el rápido crecimiento de su población, el cual ayuda a desplazar a las plantas nativas (Miranda y Lot 1999). Además, aumenta los índices de evaporación e impide el paso de la luz al fondo de los estanques, esto último trae como consecuencia la eliminación de microalgas que son el alimento de crustáceos y peces (Miranda y Lot 1999).

Sin embargo, el problema de la maleza del lirio acuático en la Laguna de Zumpango ha

sido resuelto de igual modo que en otros lagos, por ejemplo, en la Presa Requena, Díaz y Gutiérrez (2002) tomaron como base los estudios de la tasa de crecimiento, densidad y cobertura de esta planta contra la capacidad de destrucción por trituración del mismo.



Figura 23. La imagen muestra la Invasión del lirio acuático en la Laguna de Zumpango. Agosto 2001.

Esta práctica de destrucción de malezas acuáticas, se implementó en el Programa Integral de Saneamiento de la Laguna de Zumpango en el año del 2001 (ver tabla 3 de resultados). Sin embargo, la única especie que actuaba como maleza, era *E. crassipes* y la destrucción se llevó a cabo de forma indiscriminada, eliminando a todas las especies presentes (*Berula erecta*, *Ceratophyllum demersum*, *Myriophyllum aquaticum*, *Polygonum punctatum*, *Typha. latifolia* y a una gran cantidad de carpas) con excepción de *Schoenoplectus californicus*. Dichas especies no solo no estaban actuando como malezas acuáticas, sino que eran especies originarias de dicho lago (ver tabla 19 de resultados). No obstante, actualmente no hay ninguna especie de la flora presente en la laguna, debido a que en el verano del año del 2003 el nivel del agua sobrepaso la altura de las plantas y el material vegetal se descompuso.

Las máquinas picadoras del lirio acuático tienen un rodillo con cuchillas que giran a 2000 r.p.m., con capacidad de movimiento hasta de 30 centímetros por debajo del espejo de agua, produciendo fragmentos de lirio de cinco y diez centímetros (Díaz y Gutiérrez 2002), los cuales quedan en el lago sin extracción. Este método de eliminación del lirio acuático, no sólo no es selectivo (figura 24) como se ha anotado anteriormente, si no que no contempla la remoción o destrucción total de la maleza destruida (figura 25); la cual en la Presa Requena fue quemada una vez triturada (Díaz y Gutiérrez 2002). Esta acción es importante debido a que en la Presa Requena observaron que entre más pequeños sean los fragmentos por encima del rizoma de *E. crassipes* mayor es el éxito (90%) de la eliminación de esta maleza; en contraste con los fragmentos obtenidos de 10 centímetros o mayores donde la eficacia se reduce (10%) (Díaz y Gutiérrez 2002). En la Laguna de Zumpango no se localizó ningún dato sobre la evaluación del

trabajo realizado después del uso de la maquinaria picadora del lirio acuático.



Figura 24. Máquina picadora de malezas acuáticas en la Laguna de Zumpango. Enero 2002.

Es importante señalar que existe maquinaria especial para la extracción de malezas una vez que han sido trituradas (figura 26) y el uso de éstas aunado a las anteriores garantizaría un alto porcentaje de éxito, evitando regeneración de nuevos brotes por los fragmentos de lirio triturado, así como, descomposición de material vegetal, entre otros. Por lo tanto, es conveniente hacer notar que si se utilizaran ambas máquinas, no tendría que realizarse periódicamente la remoción como es el caso. No obstante, hasta la fecha el control del lirio acuático en la laguna parece estar funcionando, no solo para esta especie sino para el resto de las especies antes presentes.

Por otro lado, se ha observado que la disminución de especies en otras zonas de estudio como en los lagos de Axalapascos de la Cuenca Oriental de México está relacionada con la cantidad de sales presentes en el cuerpo de agua, donde a menor concentración de éstas, la biodiversidad de flora aumenta (Arredondo 2002). Por lo tanto, en la Laguna de Zumpango debido a que actualmente es un lago receptor de aguas residuales y la cantidad de sales por consecuencia, sobrepasa los límites de cuerpos no contaminados, podría atribuírsele en cierta medida a este factor, el bajo número de especies presentes antes de la trituración de malezas.

Así, como consecuencia de los proyectos llevados a cabo en la laguna, sobre todo del primero, se ha dado la disminución en cuanto a la riqueza de especies en la flora durante los últimos veinte años y debido a la pérdida de la estructura vegetal por ende se ha visto afectada la fauna del cuerpo de agua en donde actualmente solo existen carpas y muy poco charal que atraen a varias especies de aves acuáticas, a pescadores y a cazadores de aves en menor medida.



Figura 25. La imagen muestra la masa en putrefacción después de utilizar las máquinas picadoras de maleza acuática. Esta masa no era removida. Mayo 2002.

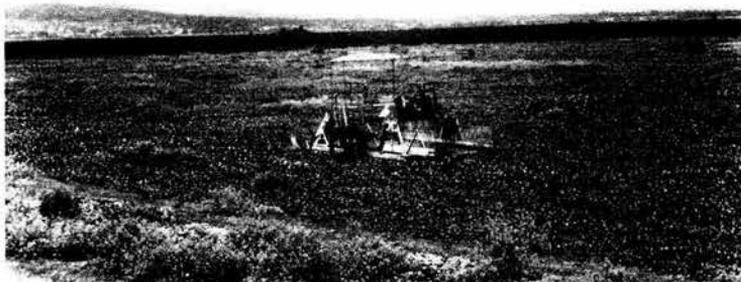


Figura 26. La imagen muestra una máquina de extracción de malezas acuáticas que a pesar de estar en la laguna no es utilizada (según testimonio de los pescadores). Agosto 2001.

Ante estas circunstancias, entre otras cosas que se mencionarán en la propuesta de rehabilitación, debe de implementarse un programa que efectúe la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales a la entrada de la laguna, con la finalidad de no seguir promoviendo el crecimiento de malezas y así poder impulsar el crecimiento de la flora nativa.

La valoración de la calidad del agua está basada en el supuesto de que la integridad biológica de cualquier cuerpo de agua tiene la habilidad para soportar y mantener un balance dentro de su comunidad de organismos, la cual debe mantener una composición diversa de especies dentro de una organización funcional (Wang 2001). En un cuerpo de agua, la presencia, abundancia y distribución de especies acuáticas dependen de los factores físico-químicos (temperatura, sólidos suspendidos, pH, nutrimentos, etcétera) del agua (Wang 2001).

No obstante, aunque la Laguna de Zumpango ha sido objeto de muchas acciones equivocadas, las condiciones de calidad del agua se encuentran dentro de los límites permisibles en aguas residuales de uso agrícola y pecuario según la NOM-001.ECOL. 1996 casi para todos los análisis realizados como se aprecia en los resultados (tabla 14). Sin embargo, lo idóneo sería que estuvieran dentro de los márgenes que se manejan para aguas de lagos no contaminados. No obstante, en la mayoría de los resultados en el presente estudio, los niveles se encuentran por arriba de los encontrados en lagos no contaminados (tabla 14 de resultados), como es el caso del  $\text{Na}^+$  donde en los cuerpos de agua no contaminados se registra un máximo de 2.07 mg/l (Chapman 1992) y en la laguna de Zumpango se registra un mínimo de 56.53 mg/l.

Lo anterior no resulta extraño, ya que las aguas residuales son de composición variada proveniente de descargas de usos municipales, industriales, comerciales, etcétera (NOM-001-ECOL-1996) y la Laguna de Zumpango recibe agua no solo pluvial, sino también del Canal Santo Tomás que a su vez recibe agua del Río Cuautitlán que es un río altamente contaminado por desechos industriales y domésticos como se ha venido mencionando.

Desafortunadamente, no todos los parámetros medidos se encuentran en la NOM-001-ECOL. 1996, ni en la FAO; además, y existen muy pocos datos registrados anteriormente en la laguna para saber como ha oscilado la composición físico-química del lugar.

Los datos disponibles son de metales solubles procedentes de un estudio realizado por la Residencia General de Calidad de Agua, del Sistema Nacional de Calidad del Agua (1988 a 1991, en Pérez 1998). En dicho estudio registran valores más pequeños que los encontrados en este estudio, por ejemplo, para el arsénico dan un valor de 0.02 mg/l, mientras que nuestros valores para este mismo metal van de 0.036-0.039 mg/l; así mismo para el mercurio dan un dato de 0.0005 mg/l en comparación con este estudio que dio valores de 0.046-0.048 mg/l. Esta diferencia nos indica que la concentración de metales ha ido subiendo a lo largo del tiempo.

Por otro lado, en un estudio realizado por Pérez (1998) en tejidos de carpas, se reporta que la mayoría de los metales pesados (zinc, cobre, cromo y mercurio) encontrados, no rebasan los niveles permisibles para el consumo humano. Sin embargo, en algunos casos como son los del plomo, cadmio y arsénico, los niveles encontrados en las carpas resultan tóxicos (Pérez 1998).

De este modo, se puede decir que el agua de la Laguna de Zumpango al estar dentro de los niveles establecidos por las normas oficiales y por la FAO, es susceptible de una rehabilitación exitosa, ya que incluso los niveles de los parámetros evaluados, no se encuentran en los límites máximos de los aceptados por las normas ya mencionadas. Sin embargo, es necesario reducirlos debido al consumo de carpas como alimento para la población y para favorecer la proliferación de la biota natural.

La relación hidrológica entre los sistemas acuáticos y el sistema de suelo aledaño requiere una coordinación entre el manejo de agua y el del suelo. Se requiere mantener una buena calidad del agua a través de una buena planeación del uso del suelo que garantice un buen rendimiento de costo-beneficio en la prevención de la contaminación (Wang 2001).

Por éste motivo no puede dejarse fuera el análisis del uso de suelo de la zona aledaña a la laguna, en el cual como se aprecia en los resultados (inciso a, de la figura 13), no existe una planeación del uso del terreno y se evidencia un crecimiento urbano muy desordenado. Debido a ésto, podría pensarse que en algún tiempo la construcción de vivienda va a llegar hasta las orillas de la laguna. Sin embargo, tal situación es difícil de llevarse a cabo por las siguientes causas: 1) la carretera que cruza por el lado noreste de la laguna, actúa como barrera geográfica entre el cuerpo de agua y la ciudad de Zumpango de Ocampo; 2) el gran canal que corre por el lado noroeste del vaso, impide el asentamiento de la población en esa zona debido al mal olor que despiden; 3) la ubicación de establecimientos culeros del lado noreste y por último 4) el borde de la laguna que sirve como barrera física.

Por otro lado, los suelos en algunos casos han sido utilizados inconvenientemente como es el caso de suelos de origen volcánico (Leptosoles, Regosoles y Phaeozems) (ver la Zona I), los cuales deberían de emplearse para la conservación de vida silvestre y sin embargo se utilizan para la agricultura. Esto genera empobrecimiento del suelo y a la larga pérdidas económicas, entre otras cosas.

Evidentemente, cambiar el uso de suelo en ésta zona no es una solución factible debido a que de esa actividad depende mucha gente, por lo que se puede pensar en aumentar la calidad del agua con que son regados éstos suelos y en abonos orgánicos para proporcionarles una mayor vida útil.

Como ya se ha expuesto, la Laguna de Zumpango, posee una gran variedad de metales pesados y entre los suelos aledaños, algunos como los Gleysoles (inciso a, de la figura 13. Zona IV. Resultados), que son altamente susceptibles a los metales. Además, éste tipo de suelos, junto con otros, son susceptibles a la salinización y sodificación por lo que debe de ponerse mucha atención al riego con aguas residuales, como las de la laguna.

Una vez discutidas las condiciones actuales de la Laguna de Zumpango, se debe de analizar el contexto legal bajo el que se debe de sustentar cualquier proyecto en materia de agua en el país. Es importante conocer los lineamientos sobre propiedad, permisos y/o proyectos que atañan a un cuerpo de agua como la laguna en estudio. Por tal motivo se revisaron la Constitución Política Mexicana; la Ley de Aguas Nacionales (LAN); Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), así como la NOM-001-ECOL-1996 expedida por la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (revisar anexo II).

La Constitución Política señala a quien pertenecen las aguas nacionales, si es factible que sean sujetas a la propiedad privada y señala quien expide las leyes sobre el agua. La LAN reglamenta la explotación, uso o aprovechamiento, distribución y control, así como la preservación de la cantidad y calidad de las aguas nacionales para lograr un desarrollo integral y sustentable. Establece además, medidas para la prevención y control de su contaminación. Por su parte la LGEEPA aborda la protección de las aguas continentales, regulando tanto su aprovechamiento de forma racional; tanto como su protección y dicta el control de la

contaminación del agua y de los ecosistemas acuáticos.

En primer lugar, es importante hacer notar que son pocos los artículos de la Constitución Política mexicana que se refieren al tema del agua. En ella, el artículo más importante es el 27 constitucional que se refiere a la propiedad de ésta. Según el artículo 27 constitucional, el titular del agua continental es por regla general, la nación y por lo tanto le son aplicables las disposiciones que el artículo 27 constitucional establece en relación con la posibilidad de constituir la propiedad privada por una parte, y de que el Estado pueda imponerle las modalidades que considere necesarias en aras del interés público. De este modo, al establecer la propiedad de la nación sobre el agua del país y al considerarla un bien del dominio público como elemento fundamental de la regulación y reglamentación del agua nacional, se concilia el interés público con el privado.

El artículo 73 constitucional establece la facultad al Congreso para expedir leyes sobre el uso y el aprovechamiento del agua de jurisdicción federal, es decir las que señala el artículo 27. La Laguna de Zumpango, pertenece a los municipios de Zumpango de Ocampo y a Teoloyucan como ya se ha citado, y es importante conocer que los municipios no pueden legislar ya que la Constitución únicamente les concede en el artículo 115 la gestión de determinados servicios, entre ellos, el agua potable y alcantarillado. Sin embargo, los congresos locales pueden facultar a los municipios para legislar, con base en la fracción II del artículo 115 constitucional.

En el derecho de aguas, el tema de la calidad del agua significa impedir su contaminación con el fin de que ésta mantenga determinados niveles en sus parámetros físico-químicos. Por lo que se entiende que la calidad de los recursos es un valor objetivo, de tal modo que es independiente de las causas y de las circunstancias concretas que puedan dar lugar a su deterioro (Campos 2002).

En la LAN se determina que la autoridad competente sobre el buen uso, aprovechamiento y mantenimiento del recurso es la CNA, por lo que es esta comisión la que otorga permisos para descargas de aguas residuales. En su artículo 90, contempla la llamada positiva ficta<sup>5</sup> para el otorgamiento de permisos de descarga que debe de hacer la CNA. Esta se expide si la comisión no contesta la solicitud de permiso en un plazo de 60 días hábiles a partir de la admisión de la solicitud, el solicitante podrá realizar las descargas siempre y cuando esté debidamente integrado el expediente y realice las descargas en los términos solicitados. Sin embargo, no resulta muy congruente que esta disposición establezca como requisito para la positiva ficta el expediente debidamente integrado, puesto que si la autoridad no contesta en el plazo señalado el solicitante no tiene forma de saber si faltó alguna información entendiendo que el expediente está completo y que tiene permiso para descargar.

Es cuestionable si conviene realmente tener una positiva ficta dado que puede que la autoridad no responda en el tiempo señalado a una solicitud de una industria química o cualquier otra, cuyas descargas puedan contener sustancias dañinas para la salud, que requieran de un tratamiento especial antes de ser descargadas. Así, surge la pregunta de si podría imputársele alguna responsabilidad administrativa a la CNA en virtud de que su obligación es vigilar que las aguas residuales cumplan ciertas condiciones, aun cuando la ley permite este

<sup>5</sup> Positiva ficta: es un permiso aparente que se otorga a un particular por incumplimiento por parte de la CNA. (Campos 2000).

silencio por su parte.

En ese mismo artículo se señala que la CNA en cualquier momento podrá expedir el permiso de descarga y el permisionario deberá sujetarse a él, no obstante, no se da la suficiente certidumbre jurídica a los solicitantes de permisos por un lado, y a la población en general por los daños que puedan sufrir por dichas descargas.

Por otro lado, la responsabilidad solidaria contenida en el artículo 146 es respecto del cumplimiento de la LAN y su reglamento en materia de prevención y control de la contaminación, por lo que se desprende que en caso de que se produzcan daños como consecuencia de dicho incumplimiento y contaminación, serán solidariamente responsables en este sentido. Sin embargo, no es tan clara esta interpretación en virtud de que en un momento dado se podría argumentar que dicha responsabilidad es únicamente en lo que al incumplimiento de las disposiciones se refiere y por lo tanto sería respecto de las sanciones administrativas que la legislación prevé (Campos 2002).

Otro punto importante que hay que resaltar es que las disposiciones del Reglamento de la LAN están relacionadas estrechamente con la Ley Federal de Derechos ya que establece el derecho federal para el uso o aprovechamiento de bienes del dominio público como cuerpos receptores de las descargas de aguas residuales, con el fin de evitar a través de incentivos fiscales, que se contaminen dichos bienes, estimulando a los usuarios a que descarguen aguas de buena calidad (Campos 2000).

De cualquier modo, aun con las inconsistencias, errores y omisiones que pueda tener la LAN, debe de reconocerse que esta legislación de aguas representa un gran avance respecto de la ley anterior debido a que regula el control de la contaminación del agua y contempla disposiciones de responsabilidad a cargo de aquellas personas que puedan afectar a su calidad, sobre todo en el caso de las descargas de aguas residuales. No obstante no debe eludirse que el régimen no es suficiente para afrontar los problemas que se presentan con la contaminación del agua y la reparación de los daños ocasionados por la misma.

Por su parte la LGEEPA, hace hincapié en la importancia de los ecosistemas acuáticos, por lo que toma en cuenta el funcionamiento integral y en equilibrio de estos. Hace mención de sus componentes bióticos y abióticos, dando importancia al cauce hidráulico que es necesario para sostener vida en cualquier cuerpo de agua.

En la LGEEPA también considera a las descargas de aguas residuales como una de las principales fuentes de contaminación de agua y por lo tanto una gran parte de sus disposiciones giran en torno de ellas. Así, impone que para poder descargar o infiltrar aguas residuales es necesario en primer lugar, que las aguas sean tratadas previamente, y en segundo, que se haya tenido el permiso o autorización por parte de las autoridades correspondientes para hacerlo, lo cual aun cuando no lo indica corresponde a la CNA.

El cuerpo de agua de la Laguna de Zumpango actualmente es alimentado como se ha mencionado en los resultados (tabla 4) por medio del Canal de Santo Tomás, al cual le llegan las aguas pluviales del Emisor del Poniente y del Río Cuautitlán. Aquí, se debe hacer notar que el Municipio de Cuautitlán es un zona como se mencionó anteriormente, altamente industrial y el agua que descarga en la laguna no tiene un previo tratamiento de aguas como lo señala la

LGEEPA (ver anexo).

Asimismo, la LGEEPA contempla la posibilidad de reutilizar aguas residuales para la industria y la agricultura después llevar a cabo un tratamiento específico. Cabe mencionar que la LGEEPA se refiere a la LAN pero en ningún momento como ya se dijo, menciona a la CNA, lo cual abre dudas dado que existen algunas gestiones respecto de las cuales no queda claro quien es la autoridad competente a la que hacen referencia.

Por otro lado, de acuerdo con la LAN y la LGEEPA, las descargas de aguas residuales deberán cumplir con las condiciones que en cada caso señalan las normas oficiales mexicanas. Éstas establecen los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos de agua, de acuerdo a la industria de la que provengan. Según la propia norma, su objetivo es establecer los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales, con el objeto de proteger su calidad y posibilitar sus usos.

Sin embargo, debe mencionarse, que dichas normas son reproducciones de las americanas y europeas; esto es, en México no se ha llevado a cabo ningún tipo de estudio que fundamente datos para la implementación de una norma. Esto de algún modo explica la ausencia de algunos contaminantes en las normas que están presentes en algunos cuerpos de agua, como es el caso del bromo para la Laguna de Zumpango entre otros. Además, no debe soslayarse que los límites máximos permisibles para los parámetros establecidos en las normas, están sujetos a la presión que ejerce la industria, de tal modo que aún tales límites deben contemplarse con incertidumbre.

Por otro lado debe de tenerse en cuenta que aunque existen normas para las diferentes actividades y usos a las que se destine un cuerpo de agua, el cumplimiento de todas es la que dará finalmente resultados satisfactorios. Es decir, en el caso de la laguna de este estudio, primero que nada debe de cumplirse la NOM-002-ECOL-1996 que es la que establece los parámetros máximos permisibles que van hacia el alcantarillado, ya que éste llega al canal de Santo Tomas y a su vez éste desagua en la laguna; aunado a esto, el canal debe de cumplir con la NOM-002-ECOL-1996 ya mencionada y la laguna con la NOM-003-ECOL-1997 (ver anexo), que establece los límites máximos permisibles para uso recreacional.

Loperena (1996) señala que la gestión integral del agua está basada en que ésta sea percibida como una parte del ecosistema, un recurso natural y un bien económico, cuya cantidad y calidad determina la naturaleza de su utilización. Para ello, las aguas deben de protegerse tomando en cuenta el funcionamiento de los ciclos hidráulicos de carácter permanente y tratando de conciliar las necesidades humanas con los recursos hidráulicos disponibles.

Así, es importante definir el uso al que se vaya a destinar el cuerpo de agua en estudio dado que las medidas que se implementen, los requisitos y los parámetros de su calidad dependerán de dicho uso. En el caso de la Laguna de Zumpango, para su evaluación debe de considerarse que el cuerpo de agua se utiliza como agua para uso de riego y pesca. Sin embargo, para reconstituir un ecosistema y obtener un funcionamiento integral en él, se requieren otros parámetros diferentes a los de agua para uso de riego, los cuales sin duda, mejorarán las condiciones de calidad de la pesca.

Evidentemente, hablar de restaurar en un cien por ciento la Laguna de Zumpango, involucra restaurar toda la cuenca para restablecer las corrientes hidrológicas que permitirían un enriquecimiento en la biodiversidad tanto de la fauna como de la flora, dada por la dispersión de semillas y el desplazamiento de otros organismos que proporcionarían los cauces, para lo cual serían indispensables las corrientes de los antiguos ríos actualmente extintos que comunicaban a los lagos. Sin embargo, actualmente la restauración se acepta a distintos niveles, por lo que es importante saber que es lo que se pretende rescatar, es decir, especies nativas, endémicas, paisaje, etcétera. Así, bajo este esquema se deben de buscar las diferentes prácticas de restauración, tales como, rehabilitación, reforestación, regeneración (artificial o natural), etcétera.

Por lo tanto, como la recuperación de la cuenca es sin duda risoria por las actuales condiciones de la urbe, lo que puede intentarse es una rehabilitación de la Laguna de Zumpango que permita acercarse a las condiciones prístinas, sin llegar necesariamente a ellas, teniendo como objetivo principal la recuperación de la integridad del ecosistema, entendiéndolo por integridad el que un sistema sea capaz de mantener la organización del funcionamiento y su estructura ante condiciones ambientales cambiantes (Kay y Ulanowicz 1993 y Schaeffer *et. al.* 1988). Para esto se debe de tomar en cuenta que un cambio en la estructura no necesariamente está acompañado por cambios en las funciones y un cambio en la función no necesariamente está acompañado por cambios en la estructura. Existen especies con funciones similares que no se verán alteradas si alguna de éstas falta, por el contrario, la función de las especies puede sufrir variaciones debido por ejemplo a cambios climáticos sin que la estructura se vea alterada (Schaeffer *et. al.* 1988).

Por tal motivo, el éxito del desarrollo de una rehabilitación está dado en la medida en que se entienda el funcionamiento de una comunidad ecológica (circunscribiendo en este contexto a los patrones propios de cada especie y los procesos involucrados), así, podrán tomarse decisiones sobre la recuperación de un sistema natural.

Primero que nada, es necesario situarnos a nivel local dado que a esta escala las interacciones entre especies se hacen más estrechas y de éste modo se podrán direccionar metas plausibles. Se sabe que la distribución de la abundancia de cada especie es un patrón característico de la misma y que está asociada con diversos mecanismos. Entre esos mecanismos se encuentran los factores abióticos que determinan las características para que crezca o no una especie, y aunadas a las características intrínsecas de ésta llegan a la combinación única de adaptación de la misma (Arhonditsis *et. al.* 2003 y Bell 2001). Debido a esto no podemos eludir la importancia de las interacciones a las que se encuentra sujeta una comunidad de organismos que ha sido formada a través de la evolución (Enquist *et. al.* 2002).

Es necesario entender que lo que se pretende construir es una comunidad nueva o sintética. Es decir, difícilmente se puede llevar un sistema que ha sufrido grandes cambios en toda su estructura a su estado original. Lo que puede pretenderse es inducir y acelerar una sucesión y que ésta produzca o genere de acuerdo a las nuevas condiciones micro y posiblemente macroambientales una comunidad madura.

Así, lo que pueda pasar una vez reintroducidas las especies de plantas, dependería en gran parte de la probabilidad estadística de cada individuo para permanecer, crecer y reproducirse. Si se preparan los nichos adecuados se prevería que no interfiriera en gran medida

el azar, el cual de algún modo siempre está implícito en cualquier proyecto de esta índole, por lo que evidentemente no sabemos cual sería el resultado final, es decir no estaríamos manipulando la estructura final de la nueva comunidad, cuando ésta llegue a su equilibrio. Sin embargo, eso parece muy acertado porque es necesario que entendamos que los ciclos biogeoquímicos, geológicos y climáticos son dinámicos, aunados al proceso de aceleración por las actividades humanas. De tal forma que nada nos asegura que las condiciones en las que se desee rehabilitar el sistema sean las mismas que dieron origen a la comunidad anterior y por lo tanto no sabemos si las nuevas condiciones sean las idóneas para su establecimiento. Así, debemos ser cuidadosos con la incertidumbre en cada acto, proyecto o plan que se realice; la incertidumbre se encuentra aceptada incluso en las ciencias exactas.

El proyecto debe encaminarse por supuesto sin evadir la dependencia de los pobladores de la laguna, lo cual involucra una recuperación que permita el aprovechamiento regulado de sus recursos ya que en cualquier plan de desarrollo local o regional, debe de existir coordinación entre los sectores y coherencia para el desarrollo de una estrategia, por lo que la planeación debe considerar todos los sectores de la región o la localidad, para que tenga un amplio alcance en el cual el análisis de alternativas sea teóricamente factible (Oñate *et. al.* 2003 y Wang 2001).

Afortunadamente, el interés de la comunidad hacia la laguna es amplio, no solo por los usuarios que actualmente dependen de la laguna, sino por un gran porcentaje de las poblaciones cercanas, y esto es alentador ya que es fundamental la colaboración de los pobladores para la recuperación del cuerpo de agua y para su posterior mantenimiento.

Sin embargo, se debe tener presente que la explotación por una comunidad puede proveer futuros problemas si no se toman las medidas necesarias. Es decir, cuando la naturaleza no puede dividirse en propiedades separadas y está sujeta a la explotación de un grupo de personas, es muy posible que surjan complicaciones (Costanza *et. al.* 1999).

Así, los recursos utilizados por varios usuarios sin reglas que gobiernen su uso serán sobreexplotados. Las sociedades tanto tradicionales como modernas típicamente desarrollan reglas para el uso de recursos que se tienen en común. El punto importante es que la naturaleza raras veces puede dividirse verdaderamente en partes separadas (Costanza *et. al.* 1999).

Ostrom (2000) define a los recursos de uso común (RUC) como “un sistema de recursos naturales o hechos por el hombre, que es lo suficientemente grande como para volver costoso (pero no imposible) excluir a destinatarios potenciales de los beneficios de su uso”. Argumenta también, que, “para la comprensión de los procesos de organización y gobierno de los RUC es esencial distinguir entre el sistema de recursos y el flujo de unidades de recurso producidas por el sistema, al mismo tiempo que se reconoce su mutua dependencia”.

En su misma definición, el gobierno de los RUC encuentra sus propias contradicciones, las cuales adquieren una gran relevancia en la gestión de proyectos de manejo y de conservación. La más importante está planteada entre el carácter colectivo de su apropiación por el recurso y el uso individual del mismo. Es importante entender que al existir sustractabilidad en un recurso finito, se confiere a un determinado número de usuarios la posibilidad de apropiarse de éste, lo cual conduce a que estos recursos dejen de estar disponibles para usuarios potenciales. De esta forma, se limita el uso a un determinado número de personas, lo cual de alguna manera compromete a estos a la cooperación que debe de promoverse vía la

confianza, con el fin de que como en cualquier otro tipo de bienes (públicos o privados), el gobierno de los bienes comunes posea una movilización en los procesos productivos que genere ganancias.

Cuando un recurso es común a varios individuos, este puede seguir dos rutas: una que resulte de un manejo adecuado que haga el uso del recurso sustentable y que asegure su viabilidad económica a largo plazo, o bien, otra que resulte de un manejo indiscriminado que termine con la vida productiva del recurso como en la llamada "tragedia de los comunes" (Ostrom 2000).

De lo anterior se desprende la idea de que para que la gestión de un programa de desarrollo o conservación funcione en un RUC, deben analizarse cuidadosamente todas las características tanto de los usuarios, como las del sistema del recurso, con la finalidad de encontrar "el ritmo promedio de sustracción para no exceder *la capacidad de carga del sistema* y el ritmo promedio de abastecimiento, para así poder decir que un recurso renovable se conserva a través del tiempo" (Ostrom 2000). Por lo que tiene que tomarse en cuenta la capacidad que posee el sistema de un recurso determinado para soportar a múltiples usuarios (lo cual tiene que ver con la productividad del sistema y con sus características abióticas), sin que esto disminuya el nivel de beneficio agregado del usuario de ese recurso.

Finalmente cabe mencionar que un trabajo de ésta índole debe de involucrar a un grupo de especialistas en diferentes disciplinas para poder emitir una evaluación integral y consistente que no deje fuera ningún parámetro. En éste diagnóstico preliminar, se logra dar un panorama general de las condiciones actuales de la Laguna de Zumpango y así generar una propuesta que se espera contribuya a la recuperación de la laguna en futuros proyectos.

## CONCLUSIONES

Los factores que han sido determinantes en la reducción de la Laguna de Zumpango, Edo. de México y en la mermación de la calidad de sus recursos bióticos y abióticos han sido los siguientes:

1. El crecimiento urbano de la metrópoli y las consecuentes construcciones para desaguar la cuenca del Valle de México. Esta acción afectó definitivamente el sistema hidrológico natural (afluentes y efluentes), con la consecuente disminución en la dispersión de semillas, propágulos y fauna acuática.
2. Los programas de aprovechamiento y/o saneamiento por parte de diversas asociaciones gubernamentales en las últimas tres décadas han realizado acciones que han afectado la biota natural del sistema.
3. Inconsistencia de objetivos entre dichos programas.
4. No han tomado en cuenta los intereses y perspectivas de los actores locales.

Los programas implementados provocaron:

5. Transformación en la topografía natural del suelo de la laguna en las dos ocasiones en que fue desecado el cuerpo de agua.
6. Disminución en la calidad del agua debido a la incorporación de aguas negras (20%) provenientes del Río Cuautitlán.
7. Eliminación de las pocas especies de plantas nativas aun presentes por la remoción de *E. crassipes*, no llevada a cabo por un método selectivo.

En los resultados obtenidos se evidencian las siguientes conclusiones:

8. El crecimiento urbano es desordenado pero aun no ejerce presión sobre el cuerpo de agua dado que no ha llegado a las fronteras de la laguna.
9. Los parámetros físico-químicos y biológicos de la calidad del agua, se encuentran dentro de los límites permisibles en aguas residuales de uso agrícola y pecuario

según la NOM-001-ECOL. 1996 y la FAO.

10. Los parámetros físico-químicos y biológicos de la calidad del agua de la Laguna de Zumpango, se encuentran por encima de los registrados en cuerpos de agua no contaminados.
11. Se registraron metales pesados no contemplados en las normas oficiales (tales como el Br).
12. El interés actual de la población aledaña sobre la laguna, se ve incrementado si ésta ofreciera un bien económico.
13. La laguna es susceptible de una rehabilitación ecológica, donde además se puede involucrar un desarrollo sustentable.

## PROPUESTA DE REHABILITACIÓN

Los cuerpos de agua como los lagos y las lagunas, siguen siendo fuente de alimento y proveedores de insumos materiales para la vida de las comunidades que han poblado sus riberas desde hace miles de años. Con el paso del tiempo han llegado a establecerse en ellos proyectos de desarrollo sustentable de gran complejidad, como es el caso de la explotación múltiple practicada en la Cuenca del Lago de Pátzcuaro (García y De la Lanza 2002) o la Laguna de Tecocomulco en el Estado de Hidalgo.

En esta propuesta se proyecta rehabilitar la Laguna de Zumpango alcanzando los siguientes objetivos:

- 1) Mejorar la calidad del agua;
- 2) Maximizar el uso potencial del cuerpo de agua (agrícola, pecuario, recreativo y como proveedora de recursos naturales);
- 3) Incrementar la diversidad de vegetación acuática;
- 4) Incrementar la diversidad de fauna acuática;
- 5) Reforestar la zona perimetral de la laguna,
- 6) Desarrollar un manejo sustentable de la laguna que provea beneficios a la comunidad;
- 7) La construcción de un museo de sitio;
- 8) Gestionar para que se decrete como área de protección de los recursos naturales.

El proyecto debe de ser planteado a los usuarios actuales organizados de la laguna como son: La Asociación de Usuarios de Riego de la Laguna de Zumpango, la Federación de Pescadores de la misma laguna y la Sociedad Cooperativa de Producción de Tule. A su vez, estos grupos deberán llegar a acuerdos entre sus organizaciones y con los municipios de Zumpango y Teoloyucan, sensibilizando a las comunidades aledañas a la laguna y haciendo las gestiones pertinentes para lograr que se desarrolle toda la propuesta con los que resulten interesados en participar en el proyecto.

Para lograr los objetivos se debe de hacer labor de conciencia en la población sobre los sistemas acuáticos, así como la relación con un buen manejo del suelo aledaño y la importancia de la calidad de los recursos que obtienen de él, todo esto con el fin de lograr su cooperación en el desarrollo de este programa. Una vez logrado esto se deben de buscar concertaciones entre instituciones gubernamentales y ONGs, para obtener financiamiento. Además, dentro de este proyecto que es muy grande, pueden incluir la realización de servicios sociales, tesis de licenciatura, maestría y doctorado (biólogos, ecólogos, ornitólogos, economistas, ingenieros etcétera) en cualquiera de las etapas y áreas del proyecto. Incluso, cabe señalar, que una vez

terminada la rehabilitación y puesto en marcha el manejo de la zona, ésta debe quedar sujeta a investigación científica, con el fin de seguir evaluando los procesos naturales que se vayan produciendo en ella.

El desarrollo de la propuesta se plantea en seis etapas (figura 27) por lo que se debe de tener en cuenta que el tiempo en el que se estiman resultados es prolongado. Así, se maneja un corto plazo (2 años), mediano plazo (4 años) y largo plazo (6 años). Sin embargo, el tiempo puede variar dependiendo de los contratiempos por falta de materia, organización, entre otros.

Las etapas del proyecto son las siguientes:

PRIMERA ETAPA. Crear conciencia ecológica sobre la Laguna y establecimiento de redes de confianza entre los participantes que resulten (se estiman resultados a corto plazo).

- a) Formar asambleas.
- b) Establecer convenios con las instituciones interesadas.
- c) Crear grupos de trabajo para iniciar la rehabilitación.

SEGUNDA ETAPA. Mejorar la calidad del agua (se estiman resultados a corto plazo).

- a) Tratamiento del agua.
- b) Revegetar con plantas acuáticas propias de estos sistemas, que a su vez puedan ser explotables.
- c) Establecimiento de chinampas (opcional).

TERCERA ETAPA. Desarrollo del paisaje. (se estiman resultados a mediano plazo)

- a) Reintroducción de especies de la fauna nativa.
- b) Revegetar la zona perimetral de la laguna a ambos lados del bordo con fin paisajístico y para evitar erosión del suelo hacia la laguna.
- c) Construcción limitada de establecimientos para venta de alimentos.
- d) Reparación de la isla.

CUARTA ETAPA. Plan de aprovechamiento de los recursos para un uso sustentable (se estiman resultados a largo plazo).

- a) Unidades de recurso.
- b) Rol de usuarios.
- c) Otras actividades.

QUINTA ETAPA. Construcción del museo de sitio.

## PROPUESTA DE REHABILITACIÓN DE LA LAGUNA DE ZUMPANGO, EDO. DE MÉXICO

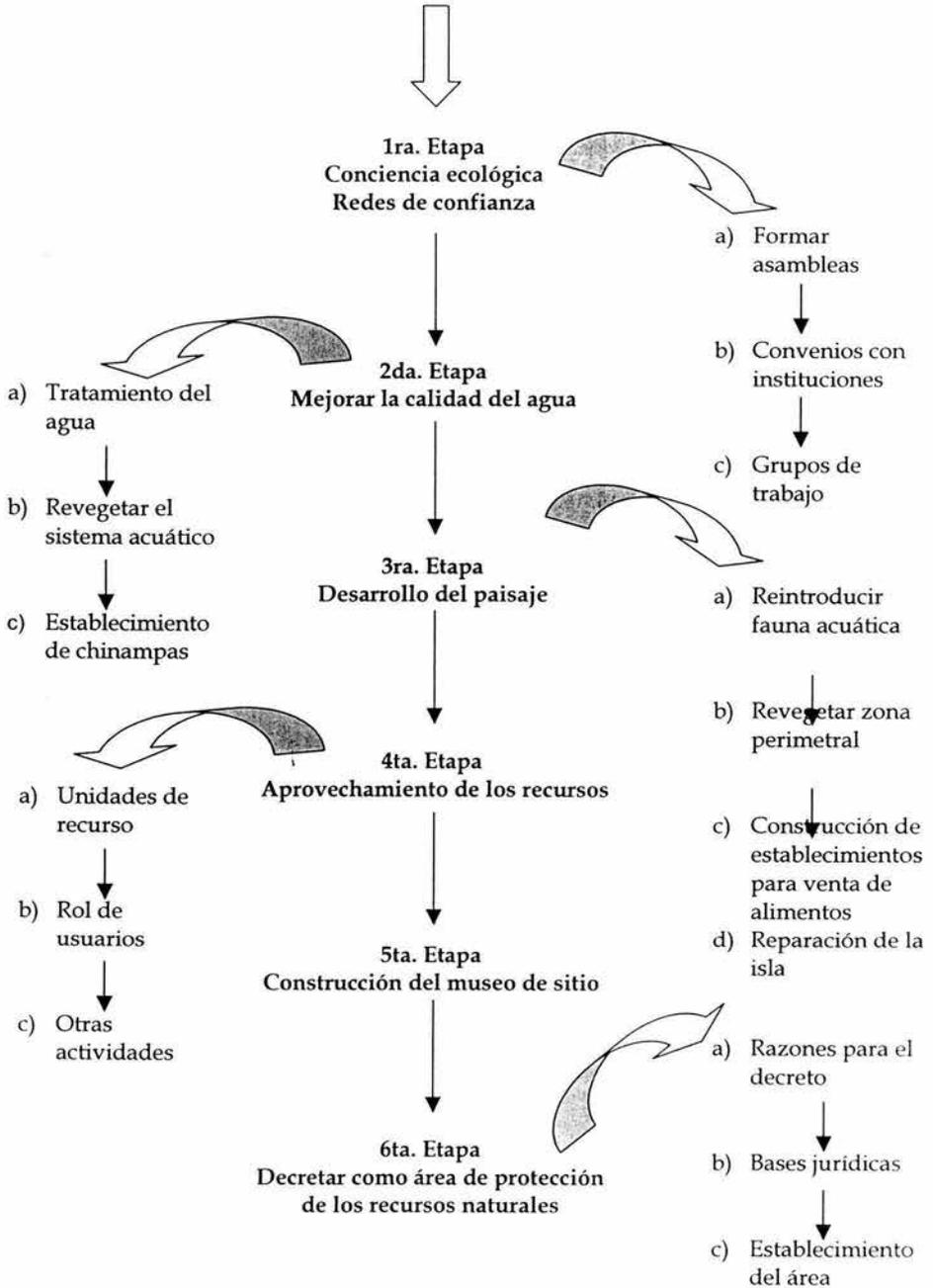


Figura 27. Diagrama de flujo de la propuesta de Rehabilitación.

SEXTA ETAPA. Gestionar para decretar la zona como área de protección de los recursos naturales.

- a) Razones para establecer un decreto de protección de la zona
- b) Bases jurídicas.
- c) Establecimiento del área.

## 1. DESARROLLO DE LAS FASES DE LA PROPUESTA DE REHABILITACIÓN

### 1.1. PRIMERA ETAPA.

En primer lugar, se deberá de realizar un diagnóstico de los actores sociales, las instituciones competentes y sobre la tenencia de la tierra. En ésta etapa, se debe de crear conciencia ecológica sobre la Laguna y establecer redes de confianza entre los participantes que resulten.

- a) Formar asambleas y foros de discusión.

Martínez (2003) señala que en un proyecto de Manejo Integrado de Recursos (MIR), la participación debe contemplarse como un proceso activo, donde la población puede tener iniciativa en la toma de decisiones y en el establecimiento de procesos, sin soslayar la colaboración de investigadores y/o técnicos. Así, para llegar a la propuesta de este documento, se tomaron en cuenta no sólo los resultados de los factores físico-químicos y biológicos que se obtuvieron del diagnóstico ambiental preliminar, sino también el resultado de las encuestas planteadas a una muestra de la población.

En esta primera etapa se deben de escuchar posibles propuestas y contemplar posibles ajustes al proyecto. Los pasos a tomar serían los siguientes:

- 1) Contactar a especialistas (biólogos, sociólogos, economistas e ingenieros) para dar la información y asesorar a la comunidad durante el proyecto. Los contactos pueden provenir de universidades como la UNAM, la UAM u otras.
- 2) Es necesario proponer un agente que actúe como gestor externo para facilitar la comunicación entre los diferentes integrantes del proyecto, Las actividades de este gestor serían: 1) asegurarse de que todos los participante lo hagan de forma eficiente; 2) desarrollar estrategias para lograr consensos; 3) lograr negociaciones o buscar a un negociador formal para alcanzar acuerdos (Carl y Carrillo 2003).
- 3) Convocar a asambleas por medio de carteles y/o panfletos y otros medios de comunicación (radio, televisión, etcétera) en los pueblos de Zumpango de Ocampo, San Juan Zitlaltepec y Santo Tomás principalmente, así como dando información en las escuelas donde lo permitan.

4) Una vez contactada la comunidad interesada se debe informar sobre la importancia en conservar este tipo de sistemas, así como de su funcionamiento.

5) Será preciso localizar al grupo de participantes dentro de la comunidad que estén dispuestos a ayudar a alcanzar los objetivos del proyecto. Aquí será muy importante resaltar la ética en la participación con el fin de establecer redes de confianza entre el grupo. Por lo mismo, los usuarios actuales de la Laguna, deberán de tener prioridad sobre la toma de decisiones.

6) Una vez informados y contactados los posibles participantes se deberán acordar asambleas y foros de discusión donde se de a conocer a la comunidad el proyecto en detalle, así como de sus objetivos y los beneficios que este les dará, considerando nuevas opciones aportadas por la comunidad.

b) Establecer convenios con las instituciones interesadas.

Las instituciones interesadas pueden ser las siguientes:

- Comisión Nacional del Agua (CNA)
- Secretaría de Desarrollo Agropecuario (SEDAGRO)
- Secretaría de Desarrollo y Recursos Hidráulicos (SARH)
- Gobierno del Estado de México (GEM)
- Ayuntamiento de Teoloyucan y Zumpango
- Patronato de la Defensa, Conservación y Preservación de la Flora, Fauna, Canales y Zonas de Riego de la Laguna

NOTA: Todas las Instituciones mencionadas arriba, ya han estado involucradas en los proyectos que se han llevado a cabo en la Laguna de Zumpango en las tres últimas décadas.

- Organizaciones no gubernamentales (O.N.G), tales como Ducks Unlimited de México A. C. (DUMAC), la cual se encarga de conservar, proteger y preservar los humedales en beneficio de las aves acuáticas. Su página en internet es la siguiente: [www.ducks.org](http://www.ducks.org)
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT)
- Comisión Nacional de la Biodiversidad (CONABIO)

Por otro lado, los municipios afectados (Zumpango y Teoloyucan), deberían de buscar llegar a acuerdos con el municipio Cuautitlán en búsqueda de insumos para la recuperación de la laguna; esto debido a que son las descargas domiciliarias e industriales de este último municipio, las que llegan a la laguna de Zumpango.

c) Crear grupos de trabajo para iniciar la rehabilitación.

1) Como resultado de las asambleas, se deberán de establecer consensos sobre las jerarquías de los participantes. Para esto, el gestor debe de tratar de que exista un balance en las tomas de decisiones sin haber discriminación ni de género, estatus social y/o edad.

2) La forma en como la comunidad se organice dependerá de ellos, y es importante permitir que sean ellos quienes convengan las formas y los métodos a seguir para su coordinación interna, dado que el grupo debe de ser capaz de autogestión.

3) Sin embargo se sugiere formar grupos que puedan autocoordinarse. La formación de grupos les dará la facilidad de dividirse las tareas y avanzar más rápido. Esta división se deberá de hacerse para cada etapa del proyecto. En la segunda etapa por ejemplo:

▲) Grupo 1. Para construir el humedal artificial (de la parte mecánica del tratamiento de aguas, tendrán que solicitar los servicios de un ingeniero).

■) Grupo 2. Reforestación de la flora acuática en la zona perimetral de la laguna.

c) Grupo 3. Construcción de la chinampa.

## 1.2. SEGUNDA ETAPA.

En esta etapa debe de mejorarse la calidad del agua para poder realizar los siguientes pasos.

a) Tratamiento del agua.

Según el Artículo 134 de la LAN se establece la obligación a cargo de las personas físicas o morales que exploten, usen o aprovechen aguas en cualquier uso o actividad, a realizar las medidas necesarias para prevenir su contaminación y en su caso para reintegrarlas a las condiciones adecuadas, a fin de permitir su utilización posterior en otras actividades o usos y mantener el equilibrio de los ecosistemas. Así, siendo que en este mismo Artículo de la LAN dicta que las aguas residuales deben tratarse previamente a su vertido en los cuerpos receptores, se propone a continuación una serie de pasos para mejorar la calidad del cuerpo de agua.

Para tratar el agua residual existen diferentes metodologías o combinaciones de las mismas. Los métodos que pueden escogerse dependerán del origen del agua, de las impurezas que contienen y del uso que se le dará (NOM-001-ECOL-1996). Por lo tanto, tratándose de agua con buena calidad para uso de riego y con fines recreacionales, se propone lo siguiente:

En los últimos metros del canal hacia la laguna (figura 28), se propone la instalación de una planta de tratamiento de aguas residuales que combine un sistema mecánico (tratamiento preliminar y primario) y un sistema biológico (tratamiento secundario).



Figura 28. Ultimo tramo del canal Santo Tomas hacia la Laguna de Zumpango, Edo. de México.

Los pasos serían los siguientes:

1) Tratamiento preliminar (Herbert 1999 y <http://www.wet.org/>)

Los dispositivos para el tratamiento preliminar están destinados a eliminar o separar los sólidos mayores o flotantes (trozos de madera, telas, papel, basura y materia fecal), a eliminar los sólidos inorgánicos pesados (arena, grava e incluso objetos metálicos) y eliminar cantidades excesivas de aceites o grasas. El consumo energético de este tipo de tratamiento es relativamente bajo, y se centra en el consumo eléctrico necesario para accionar los elementos mecánicos. Para alcanzar los objetivos de un tratamiento preliminar se emplean comúnmente los siguientes dispositivos:

- a) Rejas de barras o más finas.
- b) Desmenzadores, ya sea molinos, cortadoras o trituradoras.
- c) Desarenadores.
- d) Tanques de preaereación.

2) Tratamiento primario (Herbert 1999 y <http://www.wet.org/>).

Este tratamiento tiene como finalidad la separación por medios físico de los elementos en suspensión que no se han podido eliminar ni retener durante el tratamiento previo.

Por medio de éste se separan o eliminan la mayoría de los sólidos suspendidos en las aguas residuales, es decir, aproximadamente de 40 a 60%, mediante el proceso

físico de asentamiento en tanques de sedimentación. En este paso, la actividad biológica tiene poca importancia.

El propósito fundamental de los dispositivos para el tratamiento primario, consiste en disminuir suficientemente la velocidad (hasta 1 ó 2  $\text{cms}^{-1}$ ) de las aguas residuales para que puedan sedimentarse los sólidos que son principalmente orgánicos, separándose de la corriente. A estos dispositivos se les puede distinguir bajo el nombre de tanques de sedimentación. El consumo energético es relativamente bajo, aunque variable de una operación a otra dentro de todo el proceso.

Las operaciones unitarias normalmente utilizadas son:

- ▲) Sedimentación
- ) Floculación
- c) Flotación
- ▣) Filtración

Todas estas operaciones se realizan por medio de alguno de los siguientes tipos de tanques de sedimentación: i) Tanques de doble acción, como son los de Imhoff y algunas otras unidades patentadas; ii) Tanques de sedimentación simple con eliminación mecánica de lodos.

### 3) Tratamiento secundario.

Se caracteriza porque en él se quitan sustancias orgánicas que permanecen después del tratamiento primario, con una eficiencia de hasta un 85%, dado por la descomposición de materia orgánica por medio de los microorganismos (Robles *et. al*, 1993) como sucede de forma natural en un cuerpo de agua, por esto se le denomina comúnmente tratamiento biológico. Para un buen funcionamiento se debe de cumplir con los siguientes requisitos:

- Disponer de una gran cantidad de organismos
- Libertad de contacto entre los organismos y la materia orgánica
- Disponer del oxígeno necesario para mantener a los microorganismos con vida
- Procurar un tiempo de contacto suficiente
- Proporcionar la temperatura adecuada

Entre los tratamientos biológicos más empleados se encuentran los sistemas de película biológica; lodos activados; estanques de estabilización y los humedales artificiales. Esta propuesta contempla el uso de los humedales artificiales como

tratamiento secundario, debido al origen y al uso que se le desea dar al cuerpo de agua.

Los humedales artificiales son un tratamiento de tipo secundario y tienen tres funciones básicas que los hacen tener un atractivo potencial para el tratamiento de aguas residuales, son estas: 1) Fijar físicamente los contaminantes en la superficie del suelo y la materia orgánica. 2) Utilizar y transformar los elementos por medio de la actividad bioquímica de los microorganismos que remueven materiales disueltos y suspendidos convirtiéndolos en compuestos más aceptables y 3) Lograr niveles de tratamiento consistentes con un bajo consumo de energía y bajo mantenimiento (Lara 1999).

La mayoría de estos procesos son aerobios y por ello demandan la presencia de oxígeno, que va a ser utilizado por las poblaciones microbianas en los procesos de oxidación (Rivera y Calderón 1993). El proceso de depuración es llevado a cabo tanto por organismos que utilizan oxígeno como por aquellos que no lo utilizan (Decamp y Warren 1998).

Existen humedales naturales que se definen como una gran variedad de hábitats como son: cuerpos de agua temporales, playas, márgenes de lagos, planicies, playas costeras, pantanos salados y manglares, los cuales tienen en común que la tierra está húmeda (o bajo la tierra) durante al menos una parte del año. Los humedales artificiales simulan lo que sucede en los naturales, transformando el agua proveniente de diferentes fuentes (industrial, drenaje, pluvial, doméstica, etcétera) hasta niveles aprovechables por las plantas.

Los humedales artificiales se implementaron por primera vez en Alemania en la década de los 60's (1964-1966), poco a poco este sistema fue perfeccionándose y en 1974 el profesor Kickut diseño el método zona de la raíz (MZR). El conocimiento a partir del estudio de los humedales artificiales ha generado la idea de que es una buena alternativa para el tratamiento de aguas residuales en países en vías de desarrollo, ya que éste sistema ofrece ventajas sobre el estanque de oxidación como la disminución en la población de mosquitos y malos olores, así como el de ser un refugio para aves; un bajo costo, etcétera. Esto debe de tomarse muy en cuenta dado que la percepción visual de la calidad del agua, así como el olor que despida, son factores de peso para llevar a cabo un uso sustentable (Faulkner *et al.* 2001).

Así, actualmente, los humedales artificiales no son sólo usados en Alemania, se utilizan en países de bajos recursos como México (Oberts y Osgood 1991), Chile, Nicaragua, Uganda, Kenia, Tanzania, así como en países con alta tecnología como Canadá y Estados Unidos. En este último país, la United Status Environmental Protection Agency (USEPA) utiliza humedales artificiales por medio de Nacional Clean Lakes Program (NCLP) para ayudar a mejorar la calidad del agua en los lagos de su nación (López y De la Cerda 2002). Las metas generales de NCLP son restaurar los lagos que han sido degradados por la contaminación y prevenir futuras degradaciones (Lara 1999).

En dicho programa se ha logrado mejorar significativamente la calidad del agua, aumento en las derramas económicas por medio de sitios de recreación (Lara 1999), e incremento en la vegetación; esto ha traído consigo un aumento en la fauna (aves acuáticas y otros animales).

Existen dos tipos de sistemas de humedales artificiales desarrollados para el tratamiento de agua residual, uno es el Sistemas de Flujo Libre (SFL) y otro el Sistemas de Flujo Subsuperficial (SFS).

En este proyecto se propone utilizar el primer sistema (SFL) debido a que se puede utilizar como tratamiento secundario en forma continua durante la circulación del agua a través de los tallos y raíces de la vegetación emergente. Los SFL también se pueden diseñar con el objeto de crear nuevos hábitats para la fauna y flora o para mejorar las condiciones de humedales naturales próximos. Además suele incluir combinaciones de espacios abiertos y zonas vegetadas e islotes con la vegetación adecuada proporcionando hábitats de cría para aves acuáticas, la profundidad de éstos va de 0.1 a 0.6 m.

**Componentes de un humedal:** Los humedales construidos consisten en el diseño correcto de una cubeta que contiene agua, sustrato, y plantas acuáticas. Estos componentes pueden manipularse construyendo un humedal. Otros componentes importantes de los humedales son las comunidades de microbios y los invertebrados acuáticos que se desarrollan naturalmente.

**Construcción:** el primer paso debe ser la colocación de una barrera impermeable que impida la contaminación del subsuelo o el agua subterránea con agua residual. Para lograr esto, los materiales que se encuentran in-situ deben ser compactados hasta un estado cercano al impermeable (no deben de usarse tractores con el fin de no generar flujos dirigidos por las huellas de las máquinas).

El fondo del humedal debe ser cuidadosamente alisado y nivelado en la totalidad de la longitud del lecho antes de la colocación del impermeabilizante, el cual debe ser colocado en toda la superficie de la celda. Es indispensable dejar una ligera pendiente para asegurar el drenaje, de forma que se asegure que se proporcionaran las condiciones hidráulicas necesarias para el flujo del sistema. El gradiente hidráulico que se requiere y el control del nivel de agua se realizan con un dispositivo de salida que debe ser regulable

En éste sistema debe de obtenerse sustrato adecuado para sostener una cubierta vegetal, el cual puede ser tomado de los islotes que flotan libremente en la laguna. Este sustrato debe ser retirado de forma cuidadosa para que pueda ser utilizado como base para la vegetación, colocándolo sobre la membrana impermeable de modo que sirva de base para las raíces de la vegetación.

Estos sistemas requieren condiciones de flujo uniformes para alcanzar los rendimientos esperados. Esto se alcanza con tuberías de recolección perforadas que se extienden a lo ancho de toda la celda, tanto para la entrada como para la salida.

Un colector de entrada sobre la superficie permite el acceso para ajustes y control, por lo que se prefiere para muchos sistemas. Este colector generalmente consiste en una tubería plástica de 100 a 200 mm de diámetro, con una "t" ubicada sobre la línea, aproximadamente cada 3 m. El operario puede mover cada "t" alrededor de un arco vertical y de ese modo puede hacer un ajuste visual e igualar los caudales de cada uno.

El conducto de salida consiste normalmente en una tubería perforada colocada al final de la celda y en el fondo del lecho. En algunos casos se coloca en una zanja poco profunda, rellena con material rocoso, ligeramente por debajo del fondo de la celda del humedal, para asegurar un drenaje completo.

Existen otras clasificaciones de humedales artificiales dependiendo del tipo de plantas que se utilicen, en este caso se propone hacer una combinación de éstos por lo que se habla de un humedal mixto que se sugiere tenga 5 m de largo y 4.5 m de ancho a la entrada del canal a la laguna. Los términos que se emplearán para denominar a cada tipo de humedal a continuación, están basados en la clasificación según López y De la Cerda (2002).

▲) Se propone que una vez que termine el tratamiento primario, se construya un humedal con macrófitas emergentes con un sistema de denominado Método de la Zona de la Raíz (MZR), con flujo libre (figura 29). Las medidas que se proponen a continuación son tomadas de humedales ya existentes.

Este sistema consiste en un lecho de raíces de *Typha. Latifolia* L. y *Schoenoplectus californicus* (C.A. Mey.) Soják. (especies nativas del lugar), dado que están morfológicamente adaptadas a crecer en sedimentos saturados de agua, debido a una gran cantidad de espacios internos de aire para transportar oxígeno desde las hojas a las raíces y rizomas, este transporte de oxígeno provee a la rizósfera de oxígeno, el cual crea condiciones oxidantes y estimula la descomposición aerobia de materia orgánica y el crecimiento de bacterias nitrificantes.

■) En segundo lugar, se propone un humedal de macrófitas flotantes que contenga *Lemna. Gibba* L., *L. obscura* (Austin) Daubs., *Wolffia brasiliensis* Wedd., y *Wolffiella lingulata* (Austin) Daubs. (especies nativas). Este sistema además de que tiene una alta capacidad de toma de nutrientes, se espera que también capture metales en sus tejidos.

Como se observó en los resultados *Eichhornia crassipes* (lirio acuático) retiene eficazmente elementos traza en sus raíces y bulbos como se observó en los resultados. Sin embargo, como ya se sabe, el rápido crecimiento suele favorecer a esta especie sobre las nativas, convirtiéndose rápidamente en maleza. Por tal motivo se sugiere no utilizarla en este proceso a menos que se tenga plena conciencia del riesgo de sus alcances y se tenga un manejo con la suficiente precaución para impedir su desplazamiento hacia el resto de la laguna, lo cual es sumamente difícil y

por lo tanto su uso involucra un alto riesgo.

c) El tercer sistema que se propone es denominado humedal con macrófitas de hojas flotantes, donde se incluyen especies de plantas que enraízan en el sustrato y sus hojas flotan en la superficie del agua. Se propone este sistema se realice con *Nymphaea mexicana* Zucc. (especie nativa del lugar), *N. gracilis* Zucc y *N. odorata* Aiton Hort. En la columna de agua el tratamiento es realizado por la microflora que se encuentra unida a los pedúnculos de las hojas y en el sedimento por raíces y rizomas, los cuales crecen horizontalmente bajo la superficie.

d) Existe un sistema que utiliza macrófitas sumergidas, las cuales tienen su tejido fotosintético sumergido en el agua y así tomar los minerales de ésta. Estas plantas crecen sólo en agua bien oxigenada por lo que no pueden ser usadas en agua con alta carga orgánica debido a que la descomposición de la materia crea condiciones anóxicas, además de que un agua muy turbia impide la actividad fotosintética de éstas macrófitas. La principal característica de este sistema es la de purificar aguas de desecho tratadas secundariamente por lo que podría implementarse como paso final en el humedal artificial. Sin embargo debido a la alta tasa de crecimiento que presentan estas hidrófilas al igual que *E. crassipes* (Mart.) Solems., pueden llegar a convertirse en malezas aun siendo especies nativas. Por estas razones sería muy riesgoso implementarse este sistema cuando la laguna este todavía esté desprovista de vegetación acuática. De este modo se sugiere que se realice una vez que el cuerpo de agua sustente un alto porcentaje de cobertura vegetal para no dar lugar a un crecimiento ilimitado de estas especies. Ejemplos de éste tipo de plantas son: *Myriophyllum aquaticum* (Vell.) Verdc., y *Ceratophyllum demersum* L.

Se espera que dada la combinación mecánica del tratamiento previo y primario con la implementación de los humedales artificiales, se obtengan resultados a corto plazo en la mejoría de la calidad del agua, dado que los estudios registran una baja significativa inmediata en la concentración de varios parámetros medidos antes y después de pasar por los sistemas de humedales (<http://www.wet.org/> y Lara 1999).

Para la realización del tratamiento secundario es necesario llevar a cabo un muestreo de las especies propuestas. Esta recolección puede hacerse en los canales de agua cercanos a la laguna, en la Laguna de Tecocomulco y en el Lago de Xochimilco.

Además, debe de hacerse presión sobre las industrias que descargan en el Río Cuautitlán e indirectamente descargan en esta laguna, para que se les obligue según la LAN a tratar el agua de desecho y esto permita reducir los índices de contaminantes al sistema. En la figura 23 se muestra el humedal mixto propuesto.

La forma de propagar las especies en un humedal artificial puede hacerse a partir de semillas, sin embargo este método requiere de mucho tiempo y un control estricto del agua. Adicionalmente ese método presenta el problema del posible consumo de semillas por parte de

los pájaros, por lo que lo más aconsejable es plantar a partir del trasplante de rizomas y estructuras de reproducción vegetativa al fondo del lecho previamente preparado en el caso de las hidrófilas enraizadas.

Para la operación y mantenimiento del humedal debe de verificarse periódicamente el nivel y flujo del agua que se está moviendo a través de todas las partes del humedal, no debe de permitirse el aumento de residuos que puedan bloquear caminos de flujo, así como el desarrollo de áreas de estancamiento que aumentan la probabilidad de mosquitos.

Deben inspeccionarse todas las estructuras de control de agua de forma regular e inmediatamente después de cualquier anomalía en el flujo. Los humedales deben verificarse después de subidas importantes del caudal y cualquier daño, corrosión u obstrucción, debe corregirse lo más pronto posible para prevenir fallos y reparaciones que podrían ser costosos.

El manejo del nivel del agua es la clave para el éxito de la vegetación. Mientras las plantas del humedal pueden tolerar cambios temporales en la profundidad del agua, debe tenerse cuidado de no exceder los límites de tolerancia de las especies usadas durante periodos largos de tiempo.

La vegetación debe ser inspeccionada regularmente y deben quitarse las especies invasoras. Los herbicidas no deben usarse excepto en circunstancias extremas, y sólo entonces y con cuidado extremo, dado que pueden dañar severamente la vegetación acuática.

Además, debe de practicarse la poda periódica de las plantas del humedal artificial, dado que cuando la materia orgánica se descompone permanece como materia orgánica refractaria, que termina formando turba en el humedal.

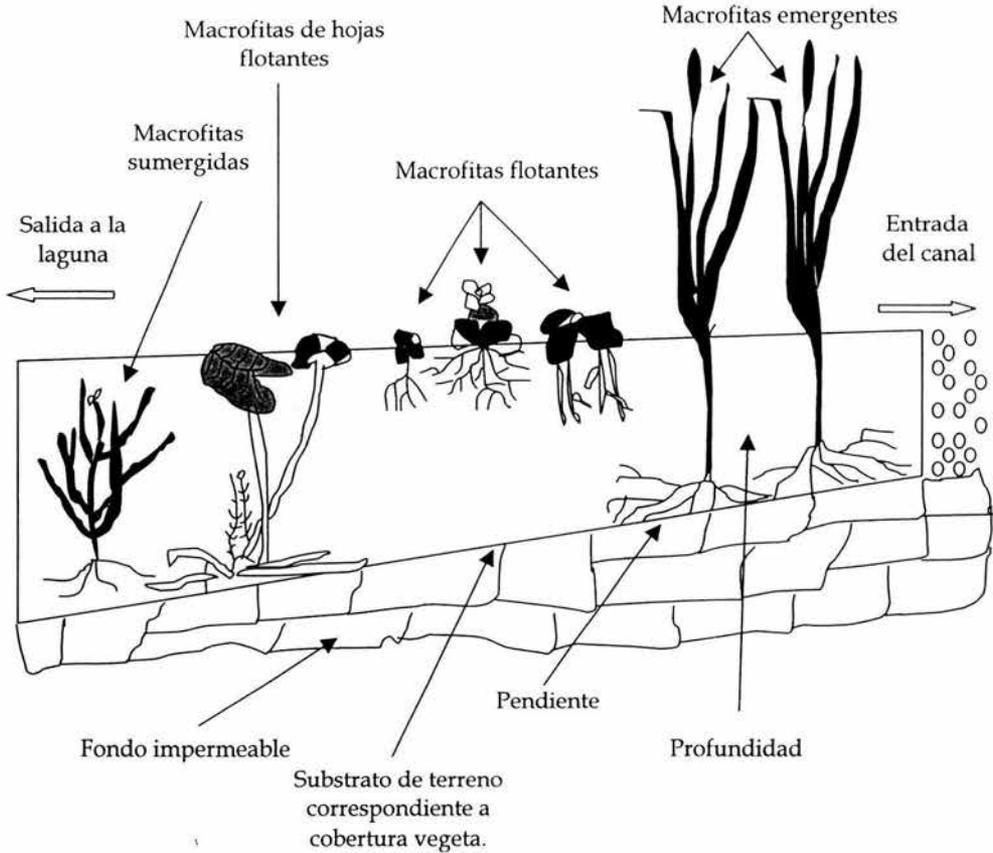


Figura 29. Representación esquemática del humedal artificial que se propone como tratamiento de aguas residuales que entran a la Laguna de Zumpango Edo. de México. Sistema de Flujo Libre (SFL) respecto de su construcción y mixto respecto de las macrofitas utilizadas.

b) Revegetar el sistema acuático.

La técnica a proponer está basada en el manual elaborado por Smart M y Dick G. 1999, con algunas variaciones con el fin de disminuir costos de construcción. La técnica original utiliza algunos fertilizantes para obtener un alto porcentaje de establecimiento en las plantas, sin embargo, aquí se eliminan dado que se propone que todo el proceso se realice en el cuerpo de agua y evidentemente después del tratamiento de agua lo menos deseable es causar nuevos puntos de contaminación por fertilizantes.

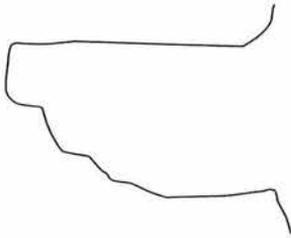
Los tipos de propágulos que pueden utilizar varían dependiendo de las especies que deseen incorporar al lago. Es decir, muchas especies de plantas acuáticas se extienden vegetativamente a partir de fragmentos de tallo. Se recomienda que se corten tallos de 15 a 20

cm. de longitud y al transplantarla quede con el corte apical de 8 a 10 cm. sumergido. Por otro lado las especies con crecimiento en forma de roseta se reproducen a partir de plantas hijas a lo largo de sus estolones. Aquí lo recomendable es separar las plantas hijas y plantarlas directamente. Finalmente se tiene la propagación por semillas que sin duda sería el método más lento, por lo que se sugiere se opte por la propagación vegetativa.

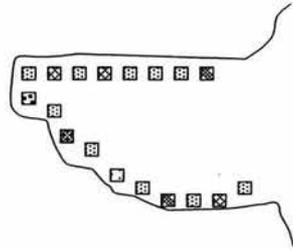
Se sugiere que las especies con las que se restablezca el sistema pueden ser las que se enlistan en la tabla 19 de los resultados, tomando en cuenta la información dada sobre las hidrófilas sumergidas en el último sistema del humedal artificial.

El restablecimiento de la cubierta vegetal de la Laguna se propone se realice en tres fases (figura 30):

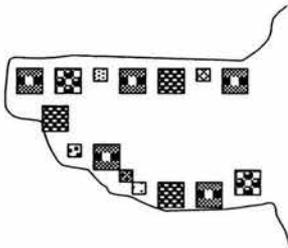
Cuerpo de agua sin cobertura vegetal



Fase 1. Exclusiones de prueba



Fase 2. Exclusiones a mayor escala



Fase 3. Expansión

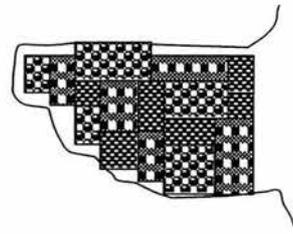


Figura 30. Representación del avance de cobertura vegetal que se espera en las tres fases de la revegetación en la Laguna de Zumpango. Tomado y modificado de Smart M y Dick G. 1999.

1) Fase 1. Involucra la plantación de hidrófitas dentro de exclusiones. En ésta fase se debe de observar el crecimiento y la respuesta de las especies escogidas para que en la segunda etapa se obtengan buenos resultados.

Construcción de las exclusiones: el uso de esta herramienta es por la necesidad de evitar herbivoría por cualquier tipo de organismo, así como de fuertes corrientes del agua evitando que las plantas sean desprendidas del substrato.

La exclusión consiste en un enrejado fijo al fondo de forma cuadrada o rectangular si se desea, de malla de alambre con soportes de tubos de PVC. Las medidas que han dado buenos resultados en otros estudios son de 150 cm. de cada lado con un altura de 150 ó 180 cm. Este tamaño de exclusión es funcional para máximo cinco transplantes.

Los pasos a seguir para plantar en los contenedores son los siguientes:

- A)** Colocar los contenedores en la orilla del lecho lacustre procurando que la pendiente aumente suavemente y que el agua no cubra más allá de una cuarta parte de la exclusión.
- B)** Verificar la solidez del sustrato y si no lo está tratar de consolidarlo manualmente.
- C)** Plantar los propágulos asegurando que queden bien fijados al sustrato. En cada exclusión debe de ir una sola especie.

2) Fase 2. Esta debe de darse en la segunda etapa de crecimiento de las especies plantadas. En esta fase se deben de aumentar el número de plantas a las exclusiones y la selección de éstas debe de darse de acuerdo a los resultados de la primera fase, es decir, con las especies que hayan resultado ser más exitosas.

En esta fase se debe de fabricar una exclusión de 3.5 m. de largo con una altura de 150 ó 180 cm. En este último enrejado la densidad de las plantas es de 0.4 a 0.8 plantas por metro cuadrado (figura 31).

En esta exclusión siguiendo la misma técnica que en la primera fase, se transplantarán nuevos propágulos tomando en cuenta las especies que dieron mejores resultados en la fase anterior. En estas exclusiones deben de combinarse especies.

3) Fase 3. Esta debe de realizarse en la subsiguiente etapa de crecimiento y consiste en encontrar dentro de las exclusiones colonias vegetativas. Una vez encontradas deben de ser transplantadas a nuevas áreas y por último se deben de quitar las exclusiones para permitir que la vegetación se expanda hacia el resto del cuerpo de agua por procesos naturales.

Una vez que se logre una gran biomasa en los enrejados, se deberá de iniciar la propagación hacia los islotes que flotan sobre la laguna y que carecen de vegetación, además deberá tratarse de cubrir la mayor área posible del contorno de la laguna con el mismo método de las exclusiones, las cuales se irán retirando de cada plantío según se vayan obteniendo resultados, con el fin de permitir que las plantas por si mismas empiecen a invadir el cuerpo de agua.

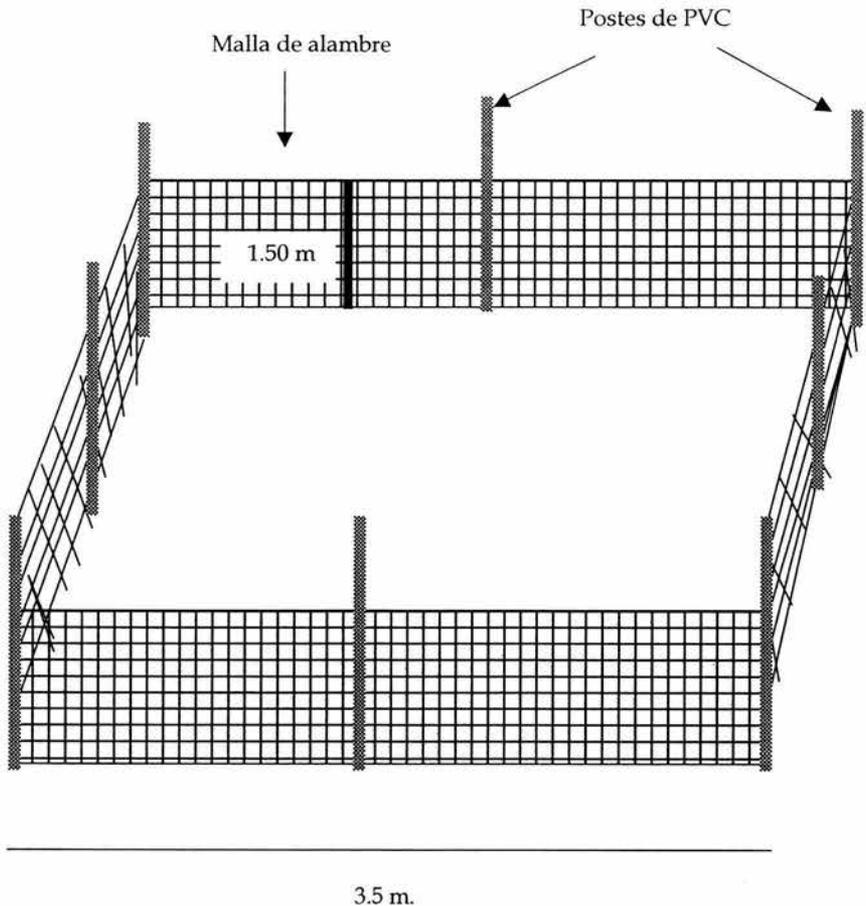


Figura 31. Representación esquemática de la exclusión para la segunda fase.

c) Establecimiento de chinampas.

La palabra chinampa se deriva del término náhuatl *chimamitl* (cerca de varas) y *pan* (encima de) (Jiménez Osorno *et. al.* 1990). Fueron desarrolladas por chichimecas, acolhuas, tepanecas, otomíes y toltecas antes de que los mexicas llegaran al Valle de México (Ezcurra 1990). La civilización mexicana realizó mejoras al sistema de chinampas y éste alcanzó su máxima extensión y productividad entre 1400 y 1521 (Jiménez-Osorno *et. al.* 1987).

La civilización mexicana basó su subsistencia en el control de un sistema centralizado de agricultura de riego: las chinampas abastecían a una población de más de 1 500 000 habitantes distribuidos en más de cien pueblos y aldeas en el Valle de México (Challenger 1998). Este tipo de sistema agrícola es uno de los más productivos que ha surgido a través del tiempo, con rendimiento de hasta cuatro toneladas por hectárea (Jiménez-Osorno *et. al.* 1987).

Después del interés actual que ha surgido por conocerlas, es de esperar su revitalización en el México contemporáneo, a través de la innovación tecnológica. En el lago de Tecocomulco se han venido desarrollando unidades experimentales sobre las chinampas. Este lago es un relicto de gran interés entre otras cosas por su vegetación acuática, por sus aves migratorias y porque aún se capturan peces con fisgas (arpones), tal como lo haría el habitante de la Cuenca desde el Preclásico (García y De la Lanza 2002).

Las chinampas requieren de un abastecimiento muy grande de aguas dulces y actualmente las aguas de este vaso son residuales, sin embargo se espera que con el tratamiento que se le de al agua sus condiciones mejoren y se podrá desarrollar el cultivo de la chinampa. El objetivo de implementar chinampas no es solo con fines de un rescate cultural, el cual no debe ser ignorado, sino también porque siendo tan altamente productivo, la población se verá beneficiada económicamente, además de ser una atracción turística. Sin embargo su construcción en este proyecto puede considerarse como opcional dado que no es un requisito para el mejoramiento de la calidad del agua y si es un sistema de rendimiento sostenible de alta complejidad que seguramente requerirá del asesoramiento de un chinampero de gran experiencia que ayude no solo a la construcción del sistema sino a su manejo posterior para obtener resultados óptimos. Por otro lado, debe buscarse la forma de regularse si se lleva a cabo la implementación de este sistema, dado que por ser tan productivo puede llegar a cubrirse la laguna con chinampas como sucede en Xochimilco.

La propuesta consiste en desarrollar este tipo de sistema chinampas en una porción somera de la laguna. La información recopilada por diversos autores indica que se construyen de la siguiente forma (figura 32):

Se apilan alternadamente capas de piedra, limo del fondo del lago y vegetación acuática sobre una estera de varas entretejidas que se sumergen en aguas someras; esto se sujeta a un cercado rectangular de postes entretejidos con ramas. Las capas alternadas se superponen hasta que sobresalen unos 30 a 60 cm., del nivel del agua. Finalmente para afianzar la chinampa al subsuelo, se clavan estacas o troncos de ahuejotes, que al enraizar dan la estabilidad al terreno (Challenger 1998 y Ezcurra E. 1990).

El amaranto y los chiles es conveniente que se siembren en almácigos a principios de año y se transplanten a las chinampas al llegar la época de lluvias <sup>(81)</sup>. Esta actividad la llevaban a cabo los mexicas con el fin de acortar el tiempo requerido por los cultivos para alcanzar su madurez. De este modo, cuando se transplanten las plántulas estarán bien desarrolladas, lo que implica un uso más eficiente del escaso espacio cultivable en la chinampa. Así, se permitirá el cultivo de otras plantas durante el crecimiento del amaranto y los chiles (Challenger 1998).

En la tabla 21 se dan algunos ejemplos de lo que se puede sembrar en este sistema agrícola:

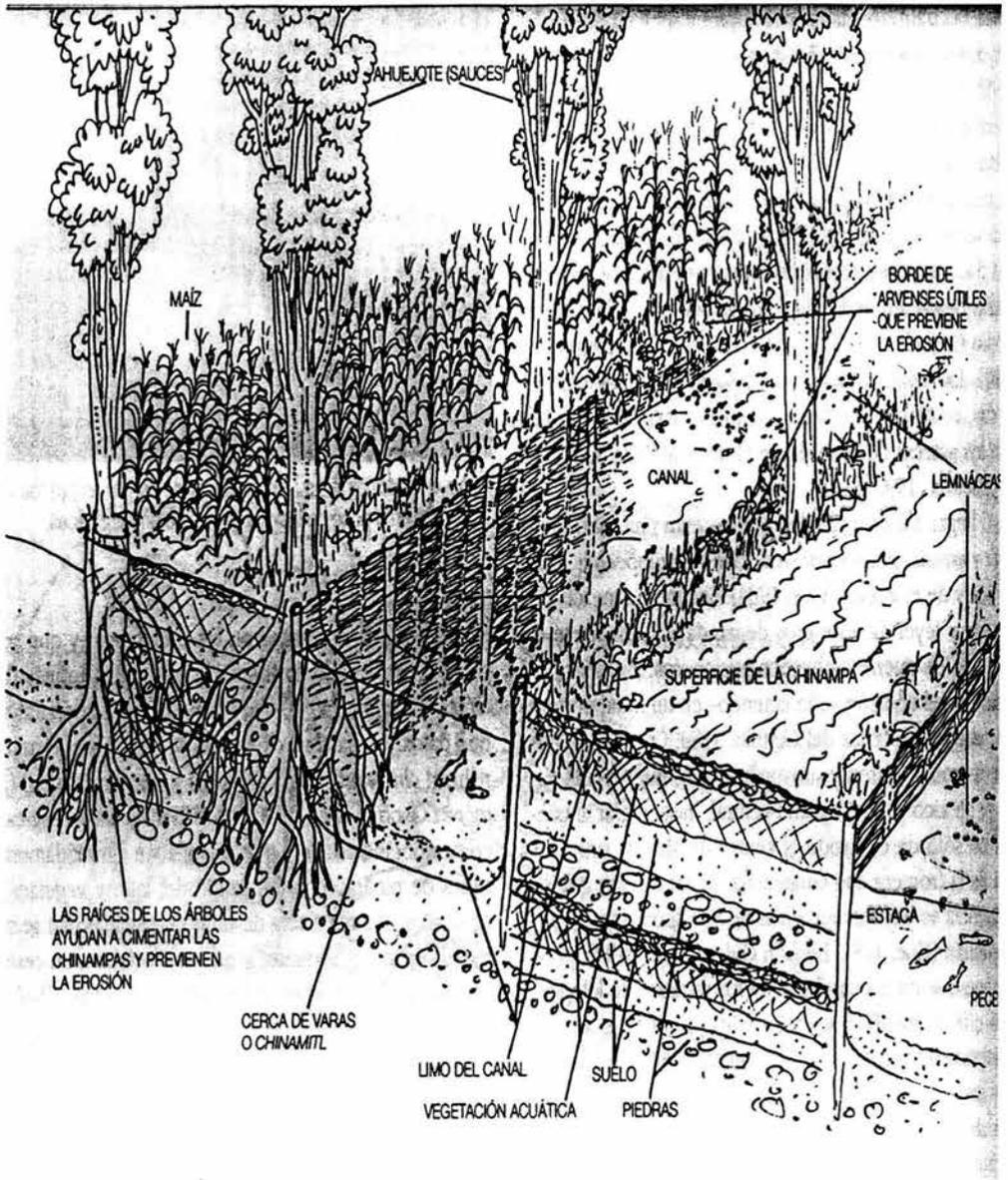


Figura 32. Representación esquemática de la construcción de una chinampa. Tomado de Challenger (1998). (Fuente original: Vera 1991).

Tabla 21. Listado de algunos ejemplos de los productos que pueden sembrar en las chinampas.

Familia	Especie	Nombre Común	Usos
Poaceae	<i>Zea mays</i> L.	Maíz	-Venta de elotes -Esquites -Tortillas -Atole
Poaceae	<i>Triticum</i> L.	Trigo	-Harinas
Fabaceae	<i>Phaseolus vulgaris</i> L.	Frijol	-Guisos
Amaranthaceae	<i>Amaranthus hypochondriacus</i> L.	Amaranto	-Harina para tamales -Agua de sabor -Atoles -Frituras
Solanaceae	<i>Capsicum</i> L.	Chile	-Salsas -Guisos
Solacaceae	<i>Solanum tuberosum</i> L.	Papa	-Diversos guisos
Lamiaceae	<i>Salvia hispanica</i> L.	Chía	-Agua de sabor -Como condimento en guisos
Lamiaceae	<i>Hyptis suaveolens</i> (L.) Poit.	También llamada chía	-Extracción de aceite
Cucurbitaceae	<i>Cucurbita pepo</i> L.	Calabaza	-Diversos guisos
Cucurbitaceae	<i>C. ficifolia</i> Bouché.	Chilacayote	-Diversos guisos
Brassicaceae	<i>Raphanus sativus</i> L.	Rábano	-Guisos
Liliaceae	<i>Allium</i> L.	Cebolla	-Guisos
		Ajo	
		Poró	
Apocynaceae	<i>Nerium oleander</i> L.	Rosa de San Juan	-Ornato
Liliaceae	<i>Lilium</i> L.	Azucenas	-Ornato
Solanaceae	<i>Petunia</i> Juss.	Petunia	-Ornato

### 1.3. TERCERA ETAPA

#### a) Reintroducción de la fauna acuática.

Para iniciar este paso, se debe tener en cuenta que se debe de esperarse a que la laguna tenga las condiciones necesarias para dar albergue a la biodiversidad de fauna típica de estos sistemas. Es decir, con la revegetación de la zona perimetral de la laguna y con el humedal artificial implementado para mejorar la calidad del agua, se espera que la masa vegetal empiece poco a poco a cubrir la laguna y se creen los nichos adecuados para los diferentes organismos. Evidentemente existen organismos más fáciles de recuperar que otros, las aves y los insectos por ejemplo, representarán un problema menor; mientras que los anfibios y los peces seguramente representarán mayores problemas si no se encuentran en lugares cercanos para poder desplazarse a este nuevo sitio.

Respecto de la avifauna, se sabe que actualmente la laguna es visitada por cormoranes

(pato buzo), pelicanos blancos, águila pescadora, patos, gaviotas, golondrinas de mar y garzas entre otros. Se espera que con el crecimiento de la masa vegetal en el cuerpo de agua, diferentes especies de aves sigan llegando a visitar la laguna. Esto ha sido uno de los logros en los estudios que se han realizado con humedales artificiales.

En estudios anteriores (Lara 1999) en humedales artificiales, se ha logrado aumentar la fauna acuática sin necesidad de manipularla, se ha visto que una vez que la cobertura vegetal se ha extendido sobre los cuerpos de agua, los anfibios y reptiles como las tortugas han invadido rápidamente esos espacios. Sin embargo, si esto no sucede por falta de estos organismos en cuerpos de agua relativamente cercanos, seguramente será necesaria una introducción manipulada. Para hacer la reintroducción se deberán tomar en cuenta a especies como a) *Ambystoma lacustris* (ajolote), la cual es endémica del Estado de México según el Banco de Datos sobre la distribución geográfica y ecológica de los vertebrados terrestres endémicos de Mesoamérica proveniente del Centro de Datos Regional localizado en Conservación Internacional Washington D. C. (Castillo 1995) y b) *Kinosternon hirtipes* Wagler (tortuga de agua dulce de la Laguna de Zumpango). Para la primera especie los últimos registros datan de 1995 (Castillo 1995), mientras que para la segunda en los últimos años de los 50's (Torres 1957).

Respecto a los peces, actualmente en la laguna solo hay carpas (*Cyprinus carpio* y *Carassius auratus*) y charales; sin embargo, la carpa es una especie introducida y ha logrado sobrevivir a los cambios del cuerpo de agua debido a que es una especie muy tolerante.

En el marco teórico de este trabajo se enlistan las especies que habitaban la cuenca del Valle de México en la época prehispánica y pueden ser de gran utilidad en este punto.

#### b) Revegetar la zona perimetral de la laguna.

El bordo perimetral es un proyecto que tiene más de diez años y no se ha concluido a la fecha, por lo que aquí se sugiere que se revegete a ambos lados de dicho bordo con tres especies nativas de la zona como son el agave, el huizache y el nopal.

Esta revegetación tendría como objetivos el impedir la erosión del suelo del bordo perimetral hacia el cuerpo de agua y enriquecer el atractivo de la zona.

La preparación de las plántulas para ser transportadas al bordo de la laguna deberá de realizarse en un invernadero que puede ser de bajo costo en alguna o algunas casas de los participantes. El invernadero puede consistir simplemente de techos y paredes de plásticos a modo de un pequeño cuarto con el fin de proteger las plántulas de las especies que se estén germinando. Los contenedores de las plántulas (macetas, bolsas o almácigos) deberán de estar en mesas para tener un mayor control de herbivoría por insectos.

A continuación se dará una pequeña guía práctica de como realizar la colecta, siembra y transplante de las especies propuestas a la zona perimetral.

1) Especies: *Acacia pennatula* Cham et Schldtl y *Acacia schaffeneri* (S.Watson) F.J. Herm. Ambas especies se distribuyen en el Edo. de México. (Cervantes *et. al.* 2001).

Familia Leguminosae

## Nombre común huizache

### A) Colecta.

- Colecta de frutos y procesamiento de semillas:
- Realizar la colecta de forma manual y directa de los individuos.
- Colocar las semillas en bolsas de manta.
- Transportarlas al sitio donde se vayan a germinar.
- La extracción de la semilla puede hacerse introduciendo los frutos en un costal, el cual debe ser golpeado hasta romperlos.
- Desechar las semillas perforadas y con colores anormales.

Nota: se recomienda realizar la colecta en la segunda quincena de enero.

### B) Germinación

- Para lograr su germinación deberá de seguirse el siguiente procedimiento: frotar las semillas sobre una lija de esmeril, teniendo cuidado de no lesionar el embrión. Después de esto debe de realizarse la germinación inmediata para eliminar costos de almacenamiento.
- El tamaño del envase que se recomienda 13 cm de diámetro por 25 de alto.
- El sustrato recomendado consiste en una mezcla de 3:2:1 de arena media, limo y arcilla.
- Deben de sembrarse en envases individuales.
- La profanidad de la siembra no debe de exceder dos veces el tamaño de la semilla para heterogeneizar la germinación de todas las semillas.
- Finalizada la siembra deberán de ser cubiertos los envases con malla de mosquitero oscura.
- Los primeros 30 días deben de regarse dos veces al día sobre la malla (antes de las 7 am y después de las 5 pm), posteriormente con un riego a saturación al día será suficiente.
- A partir de los 21 días deberá de irse incrementando la altura de la malla paulatinamente para iniciar la aclimatación de las

plántulas.

- A los tres meses las plántulas deben de estar a insolación total y los riegos deben de aplicarse alternadamente, entre someros y a saturación con uno o dos días sin aplicar agua.

Nota: Debe realizarse un deshierbamiento continuo.

**c) Transplante**

- Las plantas podrán transplantarse al bordo perimetral de la laguna a los tres meses, máximo 100 días.
- Si la germinación se realizó en bolsa, esta deberá ser retirada por medio de dos ranuras a cada costado (esto para todas las especies).

**2) Género *Agave***

Subgénero *Littaea*

Especies: *A. bakeri* Ross., y *A. ellemetiana* Jacobi. Ambas especies son endémicas del Edo. de México (García-Mendoza 1995).

Familia Agavaceae

Nombre común: maguey

**A) Colecta**

- Lo más recomendable para obtener resultados a corto tiempo, será buscar individuos que tengan hijuelos, los cuales deben de ser colectados manualmente.

**B) Germinación**

- Los hijuelos pueden ser sembrados por grupos en macetas largas o individualmente (de ambas formas se obtienen buenos resultados).
- La siembra puede hacerse en tierra negra (para no utilizar fertilizantes).
- Deben de regarse diariamente una vez al día por la noche o por la mañana durante el primer mes.
- Pasando el primer mes se pueden regar tres veces a la semana.

c) Transplante

- El transplante al bordo perimetral puede realizarse después de los tres meses.
- Si la siembra fue en grupo, deberán sacarse individuo por individuo con la ayuda de un cuchillo o una pala de jardinero con mucho cuidado, tratando de no afectar las raíces.

3) *Opuntia* Mill..

Familia Cactaceae

Nombre común: Nopal

A) Colecta

- Cortar cladodios (pencas) en buen estado de individuos adultos.
- Cortarlos a la mitad en su eje vertical para su siembra.
- Sembrarlos por la parte basal del corte (usar de preferencia hormonas para la generación de la raíz)

B) Siembra

- Sembrarlos en bolsas plásticas de 30 x 30 (para dar espacio suficiente a sus raíces) con tierra negra (para no utilizar fertilizantes).
- Regarlos a saturación una vez al día, preferentemente en la noche (7 am ó 7 pm) durante el primer mes.
- Una vez que enraícen en la tierra se deberán regar cada tercer día moderadamente.
- Después de los dos primeros meses solo deberán regarse tres veces a la semana.

c) Transplante

- A los tres meses (o una vez que se logren dos generaciones de cladodios) transplantarlos al bordo de la laguna.

c) Construcción limitada de establecimientos para venta de alimentos.

En la zona noroeste del bordo de la laguna, entre el bordo perimetral y la carretera Cuautitlán- Apaxco, se podrían construir pequeños establecimientos de comida que ofrecieran los productos que se obtuvieran del cuerpo de agua, como pescado, acociles, aves, ranas y lo que

cosecharan de las chinampas.

El *Ambystoma mexicanum* y *A. tigrinum* (ajolote) son especies que se ubican dentro de la NOM-059-ECOL-2001 con la categoría Pr (sujeta a protección especial). Dicha categoría indica que su especie y población podrían llegar a encontrarse amenazadas por factores que inciden negativamente en su viabilidad, por lo que se determina la necesidad de propiciar su recuperación y conservación incluyendo a las especies asociadas. De tal modo que para poder explotarla se tendría primero que elevar su población con los estudios pertinentes para lograrlo.

Estas construcciones no tendrían que exceder un número mayor de tres locales con el fin de mantener el control por los mismos usuarios y así no generar un alto consumo que propicie a una futura destrucción del sistema. A este respecto, se sugiere el uso de utensilios de cocina no desechables, la prohibición de materiales desechables como bolsas de plástico y un buen control de la basura orgánica e inorgánica con contenedores para las mismas en la zona. De hecho, con la materia orgánica pueden realizar compostas que les serán de gran utilidad para la fertilización de sus plantíos.

c) Reparación de la isla.

La isla actualmente tiene un uso religioso y turístico, además es utilizado frecuentemente por las aves acuáticas de la misma laguna. Por éstos motivos solo habría que remodelarla con los mismos fines con los que se utiliza, es decir, reparar sus figuras religiosas y los pequeños pasillos de cemento que tiene. Además, podrían propagarse algunas de las especies antes mencionadas para el bordo perimetral.

#### 1.4. CUARTA ETAPA.

En esta etapa se propone un plan de aprovechamiento de los recursos para un uso sustentable (se estiman resultados a largo plazo).

Se deberán establecer las unidades de recurso, las cuales darán la base para desarrollar las estrategias que permitirán elaborar un buen plan de manejo, el cual produzca derramas económicas, considerando los posibles servicios ambientales (agua para riego, recreación y turismo). Una vez que se identifiquen tales unidades de recurso, se podrán establecer claramente el rol de los usuarios del sistema y los métodos para poder mantener la relación adecuada entre la explotación de los recursos con la integridad del ecosistema.

Además, deberá de establecerse un reglamento para el adecuado uso de los recursos, en el cual deberán quedar asentadas las sanciones que se consideren pertinentes cuando éste sea quebrantado en sus disposiciones. En este documento se propone que el actor social que quede a cargo de la responsabilidad de vigilar y hacer cumplir dicho reglamento, sea el Municipio de Zumpango.

a) Unidades de recurso. Son todos aquellos elementos que provengan del ecosistema y que a su vez generen una utilidad a la comunidad. En este caso podemos enlistar los siguientes:

1) peces

- 2) anfibios (ranas y ajolotes)
- 3) aves
- 4) insectos
- 5) tule
- 6) productos del cultivo en las chinampas
- 7) aguamiel del agave

b) Rol de los usuarios. Establecer a los usuarios y el papel que desempeñarían dentro del proyecto de manejo. La formación de cooperativas sería muy útil para desarrollar las siguientes actividades:

- 1) Pesca regulada de peces, ranas y ajolotes, entre otros, así como la caza de aves.
- 2) Mantenimiento, siembra y cosecha de chinampas.
- 3) Elaboración y venta de comida en los establecimientos ya mencionados. Toda la comida puede provenir de la laguna: peces, ajolotes, ranas, insectos, aves; gramíneas (para hacer tortillas, atoles, etcétera), leguminosas, hortalizas, etcétera.
- 5) Extracción del tule
- 6) Elaboración de artesanía con el tule (fabricación de cestería y muebles). En esta parte sería recomendable buscar personal para capacitar a los interesados para trabajar este tipo de artesanía, es importante señalar, que los muebles fabricados con tule, son muy demandados por diferentes tipos de la población, además de dar altos beneficios económicos, ya que son muy costosos. Además, con los frutos de esta especie se pueden realizar arreglos florales.

c) Otras actividades.

- 1) Renta de lanchas y cayucos para paseos turísticos.
- 2) Caza de aves regulada abierta a cazadores.
- 3) Venta de plantas de ornato y artesanía.
- 4) Manejo y mantenimiento del museo (en este se pueden vender las artesanías y las plantas de ornato).

## 1.5. QUINTA ETAPA.

En esta etapa se propone la construcción de un museo de sitio. Donde el objetivo, es el de dar a conocer a todo visitante la historia y las transformaciones que ha sufrido la Cuenca del

Valle de México, haciendo énfasis en la Laguna de Zumpango. Así como, la relación que ha mantenido a través del tiempo con los pobladores. Además, por medio de este museo se puede educar permanentemente a la población tanto de la zona como a visitantes de otros sitios sobre la importancia del ecosistema, su funcionamiento y de las especies más importantes de la biodiversidad del mismo.

La construcción de dicho museo, se sugiere que se lleve a cabo en el lado noroeste de la laguna, entre el bordo perimetral y la carretera Cuautitlán- Apaxco, frente a las obras del Gran Canal de Desagüe construidas por Porfirio Díaz. Dada esta ubicación, se propone la construcción de un puente que comunique al museo con el Gran Canal (figura 33).

La construcción de dicho puente, permitiría ver a los visitantes por un lado un sistema restaurado (la laguna) y por otro a un sistema totalmente degradado (el Gran Canal de Desagüe). Desde una perspectiva ecológica, histórica y política se contrastaría la lucha contra el agua y el esfuerzo por recuperar un sistema casi perdido.

Además, en esta misma zona podría llevarse a cabo la delimitación de un estacionamiento y/o actividades recreativas como canchas de fútbol.

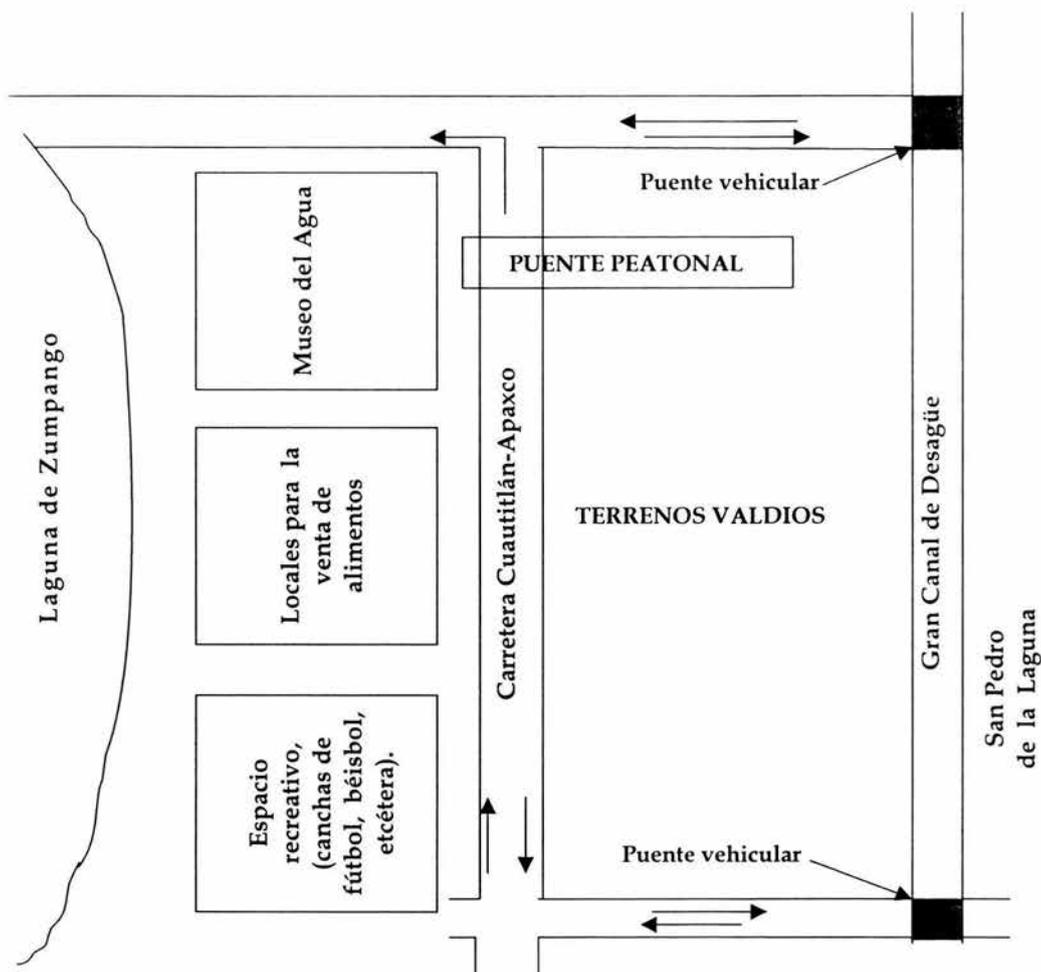


Figura 33. Ubicación propuesta para el museo, locales para venta de alimentos y áreas recreativas.

## 1.6. SEXTA ETAPA.

Finalmente en esta etapa se propone la gestión para decretar la zona como "área de protección de los recursos naturales".

Es importante revisar el decreto que actualmente tiene la laguna, la cual está decretada desde el año 20001 como "santuario del agua". Los santuarios del agua, no aparecen aún en la LGEEPA dentro de las categorías de áreas naturales protegidas (ANP), de hecho en el año del 2003 el Estado de México y la Secretaría de Ecología aún estaban realizando la normatividad para su implementación (G.E.M. 2003).

Los santuarios del agua se han definido como los sitios donde brota o se recarga el

acuífero. En el marco del programa de los santuarios del agua, la estrategia a seguir contempla la identificación de manantiales y fuentes de agua limpia, así como la identificación de las principales zonas de recarga de mantos acuíferos; la identificación de los principales riesgos de daño, destrucción o contaminación de dichos mantos; la concertación con las comunidades aledañas a los acuíferos, con el fin de integrarlas en los proyectos de protección y restauración de las zonas generadoras de agua, y el establecimiento de un esquema básico de conservación de los santuarios.

Como se observa, ésta categoría al no estar contemplada en la LGEEPA, no puede excluir el decreto de alguna de las categorías de las ANP de la ley mencionada. Además, la propuesta de este trabajo, de decretar el lugar como “área de protección de los recursos naturales”, puede ayudar a complementar el decreto ya existente.

a) Razones para establecer un decreto de protección de la zona.

En las condiciones en que se encuentra actualmente la Laguna de Zumpango, sería muy difícil lograr un decreto para protegerla; sin embargo, si se logra un paisaje atractivo que resguarde especies nativas y endémicas de México, aunado a un uso de aprovechamiento sustentable que además de proveer derramas económicas, eduque permanentemente a la población sobre el funcionamiento ecológico del ecosistema y preserve tradiciones culturales, sería no solo factible, sino indispensable para mantenerlo a través del tiempo.

b) Bases jurídicas.

Este apartado está basado en la LGEEPA que es la que establece la regulación sobre áreas naturales protegidas (ANP) y en Brañes (2000).

1) El artículo 44, las define así: Las zonas del territorio nacional y aquellas sobre las que la Nación ejerce soberanía y jurisdicción, en las que los ambientes originales no han sido significativamente alterados por la actividad del ser humano, o que requieren ser preservadas y restauradas, quedarán sujetas al régimen previsto en esta Ley y los demás ordenamientos aplicables.

Dada la definición anterior, la zona de la Laguna de Zumpango entra dentro de dicha definición.

2) El artículo 45 expone el objeto de establecer un área natural protegida. Este canon permite entender los alcances que tienen las ANP como herramienta de la política nacional ambiental. A continuación se muestran los lineamientos que establece este artículo para una ANP y que atañen a este sistema en particular, son los siguientes: **A)** preservar los ambientes naturales representativos de las diferentes regiones biogeográficas y ecológicas de los ecosistemas; **B)** salvaguardar la diversidad genética de las especies silvestres de las que depende la continuidad evolutiva; así como asegurar la preservación y el aprovechamiento sustentable de la biodiversidad del territorio nacional, en particular preservar las especies que están en peligro de extinción, las amenazadas, las endémicas, las raras y las que se encuentran sujetas a protección especial; **C)** asegurar el aprovechamiento sustentable de los ecosistemas y sus elementos; **D)** proporcionar

un campo propicio para la investigación científica y el estudio de los ecosistemas y su equilibrio; e) generar, rescatar y divulgar conocimientos, prácticas y tecnologías, tradicionales o nuevas que permitan la preservación y el aprovechamiento sustentable de la biodiversidad del territorio nacional

Con el proyecto de rehabilitación la zona de la Laguna queda circunscrita dentro de estos lineamientos dados por la LGEEPA.

3) Dentro de las diferentes categorías de ANP que señala la LGEEPA en su artículo 46, la zona en cuestión una vez rehabilitada entra dentro de áreas de protección de recursos naturales, en su fracción VI.

En el artículo 53 señala.- **Las áreas de protección de recursos naturales, son aquellas destinadas a la preservación y protección del suelo, las cuencas hidrológicas, las aguas y en general los recursos naturales localizados en terrenos forestales de aptitud preferentemente forestal, siempre que dichas áreas no queden comprendidas en otras de las categorías previstas en el artículo 46 de esta misma Ley.**

Aparentemente la zona de la laguna no entra dentro de esta categoría por el requerimiento de uso forestal, sin embargo tomando en cuenta el segundo párrafo de este artículo podemos incluirla.

Segundo párrafo: **Se consideran dentro de esta categoría las reservas y zonas forestales, las zonas de protección de ríos, lagos, lagunas, manantiales y demás cuerpos considerados aguas nacionales, particularmente cuando éstos se destinen al abastecimiento de agua para el servicio de las poblaciones.**

Así mismo, en su tercer párrafo dispone: **En las áreas de protección de recursos naturales solo podrán realizarse actividades relacionadas con la preservación, protección y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales en ellas comprendidos, así como la investigación, recreación, turismo y educación ecológica, de conformidad con lo que disponga el decreto que las establezca, el programa de manejo respectivo y las demás disposiciones jurídicas aplicables.**

La propuesta de rehabilitación y manejo en la zona incluye todas las actividades señaladas en el tercer párrafo.

c) Establecimiento del área.

1) En el artículo 57 de la LGEEPA se dispone que las ANP de competencia federal se establecen mediante declaratorias que debe expedir el Ejecutivo Federal. Estas declaratorias se expiden a propuesta de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). En la declaratoria que envíe, debe de promover para su administración y vigilancia, la participación de autoridades federales o locales, y de universidades, centros de investigación y particulares.

2) En el artículo 58 de la LGEEPA se dicta que la expedición las declaratorias

debe estar precedida por estudios que la justifiquen y consultas que la Secretaría deberá hacer a: **▲)** los gobiernos locales en cuyas circunscripciones territoriales se localice el área natural de que se trate; **■)** las dependencias de la administración Pública Federal que deban intervenir, de conformidad con sus atribuciones; **●)** las organizaciones sociales públicas o privadas, pueblos indígenas, y demás personas físicas o morales interesadas; **▣)** las universidades, centros de investigación, instituciones y organismos de los sectores público, social y privado interesados en el establecimiento, administración y vigilancia de áreas naturales protegidas.

En este caso, todo lo que se le pide a la Secretaría ya se habría llevado a cabo y la gestión se encaminaría precisamente al revés, de la comunidad hacia la secretaria.

3) En el primer párrafo del artículo 59 de la LGEEPA se dice que el establecimiento de un ANP puede también tener su origen en personas interesadas en las constitución de dichas áreas en terrenos que sean de su propiedad o que dispongan mediante contrato con terceros, cuando se trate de áreas destinadas a la preservación, protección y restauración de la biodiversidad. Así, los pueblos indígenas, las organizaciones sociales, públicas o privadas y demás personas interesadas, podrán promover ante la Secretaría el establecimiento de dichas áreas en tales terrenos.

En este caso, puede entenderse que el dueño es la nación y entonces, este párrafo es aplicable para el establecimiento como ANP de esta área.

4) Las declaratorias para el establecimiento de las áreas naturales protegidas deben de cumplir con ciertos requisitos establecidos en el primer párrafo del artículo 60 de la LGEEPA: **▲)** la delimitación precisa del área, señalando la superficie, ubicación y en su caso, la zonificación correspondiente; **■)** las modalidades a que se sujetará dentro del área, el uso o aprovechamiento de los recursos naturales en general o, específicamente, de aquellos sujetos a protección; **●)** la descripción de actividades que podrán llevarse a cabo en el área correspondiente, así como las modalidades y limitaciones a que se sujetarán; **▣)** los lineamientos generales para la administración, el establecimiento de órganos colegiados representativos, la creación de fondos o fideicomisos y la elaboración del programa del manejo del área y **▢)** los lineamientos para la realización de las acciones de preservación, restauración y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales dentro de las áreas naturales protegidas, para su administración y vigilancia, así como la elaboración de las reglas administrativas a que se sujetarán las actividades dentro del área respectiva, conforme a lo dispuesto en esta y otras leyes aplicables.

5) El párrafo tercero del artículo 60 dicta que la Secretaría promoverá el ordenamiento ecológico del territorio dentro y en las zonas de influencia de las áreas naturales protegidas, con el propósito de generar nuevos patrones de desarrollo regional acordes con objetivos de sustentabilidad.

6) El artículo 61 de la LGEEPA estipula que una vez expedida la declaratoria, ésta

deberá publicarse en el *Diario Oficial de la Federación* y notificarse previamente a los propietarios o poseedores de los predios afectados. La declaratoria deberá inscribirse en él o los registros públicos de la propiedad que corresponda.

7) Posteriormente, la Secretaría deberá designar al director del área que se trate, quien será responsable de coordinar la formulación, ejecución y evaluación del programa de manejo correspondiente, de conformidad con lo dispuesto en la LGEEPA y de las disposiciones que de ella se deriven. La administración debe de llevarse a cabo de conformidad con el programa de manejo que la Secretaría debe formular dentro del plazo de un año a partir de la declaratoria. Dicha formulación, deberá llevarse a cabo en conjunto con los municipios, la población, organizaciones sociales, etcétera. Por tanto durante la elaboración de este programa, se puede dar a conocer esta propuesta y/o otras que se contemplen.

8) En el artículo 66 establece los requisitos mínimos para la elaboración del programa de manejo. Éste deberá de contener por lo menos lo siguiente: **A)** la descripción de las características físicas, biológicas, sociales y culturales del área natural protegida, así como el análisis de la situación que guarda la tenencia de la tierra en la superficie respectiva; **B)** las acciones a desarrollar en el corto, mediano y largo plazo. Algunas de las acciones deberán de ser: investigación, educación ambiental, aprovechamiento sustentable, etcétera; **C)** la forma en que se realizará la organización del área y los mecanismos de participación de los individuos y comunidades asentadas en la misma, así como de todas aquellas, instituciones, grupos y organizaciones sociales, etcétera, interesadas en su protección y aprovechamiento sustentable. **D)** Los objetivos específicos del área natural protegida. **E)** La referencia a las normas oficiales mexicanas aplicables a todas y cada una de las actividades a que esté sujeta el área; **F)** los inventarios biológicos existentes y los que se prevea realizar; **G)** las reglas de carácter administrativo a que se sujetarán las actividades que se desarrollen en la ANP. La Secretaría deberá de publicar el un resumen del programa de manejo en el *Diario Oficial de la Federación*.

9) Finalmente, una vez que se tenga el programa de manejo, la Secretaría puede delegar la administración del ANP de competencia federal a los gobiernos de los estados, de los municipios y del Distrito Federal, así como a ejidos, comunidades agrarias, pueblos indígenas, grupos y organizaciones sociales, empresariales y demás personas físicas y morales que deseen llevar a cabo la administración de una ANP, mediante acuerdos y convenios.

## LITERATURA CITADA

- Aceves NE. y Palacios VO. 1970. **Instructivo par el Muestreo, Registro de datos e Interpretación de la calidad del agua para riego**. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 105 pp.
- Arhonditsis G, M T Brett y Frodge J. 2003. **Environmental Control and Limnological Impacts of a Large Recurrent Spring Bloom in Lake Washington, USA**. *Environmental Management*. 5 (31):603-618 pp.
- Arredondo FJL. **Los Axalapascos de la Cuenca Oriental, Puebla**. En Lagos y Presas de México. De la Lanza-Espino G y García-Calderón JL. 2002. AGT Editor, S.A. México. 81-105pp.
- ASP. American Society of fotogrammetry. 1993. **Manual of remote sensing**. Segunda edición. Vol. 1. Teoric, Instrument and Technic., 2. Interpretation and aplicacion. Fall chuch, VA. ASP & RS. 2440 pp.
- Atlas R y Bartha R. 2001. **Ecología Microbiana y Microbiología ambiental**. Addison Wesley. 4ta. Edición. Madrid. 677 pp.
- Bataillon, Claude y Helene Riviere D'Arc. 1973. **La ciudad de México**. Sep. Setentas, México.
- Bell G. 2001. **Neutral Macroecology**. *Science's Compass*. 28: 2413-2418 pp.
- Bradshaw AD. 1980. **The restoration of land: The ecology and reclamation derelict and degraded land**. Oxford: Blackwell. 317 pp.
- Brañes R. 2000. Cap. VII. **Las áreas naturales protegidas**. En. Manual de derecho ambiental mexicano. Fondo de Cultura Económica. México. 330-347 pp.
- Campos M. 2000. **La responsabilidad civil por daños al medio ambiente. El caso del agua en México**. UNAM. 269 pp.
- Canter W L. 1996. **Environmental Impact Assessment**. McGraw-Hill Internacional Editors. Second Edition. 660 pp.
- Carl L y Carrillo R. 2003. **Principios del Manejo Integrado de Ecosistemas**. Memorias del Curso Internacional. Manejo Integrado de Ecosistemas. Colegio de Postgraduados y Red Interamericana de Estudios y Capacitación en la Utilización de Recursos Naturales para la Transformación de las Comunidades. 1-12 pp.
- Carrera, E. y G. de la Fuente. (En prensa). 2004. **Inventario y Clasificación de Humedales en México**. Parte 1. Ducks Unlimited de México A.C. (DUMAC). Monterrey, México.
- Castillo MD. 1995. **Incorporación de CCH -Naucalpan a la dimensión ambiental; en apoyo**

- a la conservación del ajolote de Zumpango *Ambistoma lacustris*. Tesis de Licenciatura. Fac. Ciencias. U.N.A.M. México, D.F. 108 pp.
- Cervantes V, López M, Salas N y Hernández G. 2001. **Técnicas para propagar especies nativas de selva baja caducifolia y Criterios para establecer áreas de reforestación.** UNAM, SEMARNAP y PRONARE. 174 pp.
- Chacón TA y Alvarado DJ. **El Lago de Cuitzeo.** En Lagos y Presas de México. De la Lanza-Espino G y García-Calderón JL. 2002. AGT Editor, S.A. México. 157-169 pp.
- Chapman D. 1992. **Water Quality Assessments. Aguide to the use of biota, Sediments and water in environmental monitoring.** Ed. by Debora Chapman. Chapman & Hall. 585 pp.
- Challenger A. 1998. **Utilización y Conservación de los Ecosistemas Terrestres de México. Pasado, Presente y Futuro.** CONABIO, Inst. Biol. UNAM. Agrupación Sierra Madre. México. 847 pp.
- Clavijero FJ. 1945. **Historia Antigua de México.** Porrúa, México.
- Comisión Nacional del Agua. 1990. **Diagnóstico Ambiental del proyecto de Infraestructura Hidrológica de la Laguna de Zumpango, Edo. de México.** Subdirección General de Administración del Agua. Gerencia de calidad del agua. Ingenieros Químicos de Proceso. S.A. de C.V. Contrato No. SGAA. 90-102 pp.
- Corona RA. 2000. **Economía Ecológica. Una metodología para la sustentabilidad.** UNAM. México. 266 pp.
- Costanza R, Cumberland J, Daly H, Goodland R y Norgaard R. 1999. **Una introducción a la Economía Ecológica.** Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V. México. 303 pp.
- Coras P. 1999. **Calidad química del agua para riego.** Universidad Autónoma de Chapingo. Departamento de Fitotecnia. Ed. Enseñanza e Investigación. Chapingo, México. 123 pp.
- D.D.F. 1975. **Memoria de las obras del sistema de drenaje profundo del Distrito Federal.** 3 tomos y mapas, Talleres gráficos de la Nación, México.
- D.D.F. 1976. **El medio natural. Cuenca de México.** DDF. México.
- Decamp O y Warren A. 1998. **Bacterivory in ciliates isolated from constructed wetlands (Reed Beds) used for wastewater treatment.** *Wat. Res.* 32 (7): 1989.1996 pp.
- Del Campo M. 1955. **Productos biológicos del Valle de México.** *Revista Mexicana de Estudios Antropológicos.* 1 (14): 1954-1955 pp.
- Diario Oficial de la Federación. 1917. **Constitución Política de loa Estados Unidos Mexicanos.** México.

Díaz ZG y Gutiérrez LE. **La presa Requena**. En Lagos y Presas de México. 2002. De la Lanza-Espino G y García-Calderón JL. AGT Editor S.A. 459-466 pp.

De la Lanza-Espino G y García-Calderón JL. 2002. **Lagos y Presas de México**. AGT Editor, S.A. 680 pp.

Dobson AP, Bradshaw AD y Baker AJM. 1997. **Hopes for the future: Restoration Ecology and Conservation Biology**. *Science*. 277: 515-522 pp.

Ehmann WD y Vance DE. 1996. **Racional Nuclear Chemystri**. 429 pp.

Enquist BJ, Sanderson J y Weiser MD. 2002. **Modeling Macroscopic Patterns in Ecology**. *Science*. 295: 1835-1837 pp.

Enkerlin CE, Cano G, Garza RA y Vogel E. 1997. **Ciencia Ambiental y Desarrollo Sostenible**. Internacional Thomson Editores. México. 690 pp.

Espinoza FR 1986. **Levantamiento de suelos de la región de Zumpango de Ocampo, Edo. de México**. Tesis de Licenciatura. Fac. Ciencias. U.N.A.M. 110 pp.

Estrada-Lugo EIJ. 1989. **El Códice Florentino. Su información etnobotánica**. Colegio de Postgraduados. México. 399 pp.

Evans RD y Belnap J. 1999. **Long-term consequences of disturbance on nitrogen dynamics in an arid ecosystem**. *Ecology* 80 (1):150-160 pp.

Ezcurra E. 1990. **De las chinampas a la megalópolis: el medio ambiente de la Cuenca de México**. Serie, La ciencia desde México. Núm. 91. FCE. Subsecretaría de Educación Superior e Investigación Científica de la SEP y CONACYT. México.

Faulkner H, Green A, Pellaumail K y Weaver T. 2001. **Residents' perceptions of water quality improvements following remediation work in the Pymme's Brook catchment, north London, UK**. *Journal Environmental Management*. 62: 239-254 pp.

García CJL y De la Lanza EG. 2002. **Las aguas epicontinentales de México**. Lagos y Presas de México. AGT. Editor, S.A. México. 5-34 pp.

Gobierno del Estado de México. 2003. **La Laguna de Zumpango: Primer Santuario del Agua de en México**. *Agua y Desarrollo Sustentable*. 1. 3-9 pp.

Godínez M. 1989. **Análisis de la problemática de los terrenos de la Laguna de Zumpango**. Tesis de Licenciatura. Escuela Nacional de Estudios Profesionales. Acatlán. U.N.A.M. México, D.F. 200 pp.

H. Ayuntamiento Constitucional de Zumpango, Bando Municipal de policía y buen gobierno. 1997-2000.

Herrera AL. 1890. **Notas acerca de los vertebrados del Valle de México.** *Naturaleza*. 299-390pp.

<http://ambiental.uvigo.es/agroforesteral/catedra/apuntes/PDFs/ima-aguas.pdf>

<http://www.javeriana.edu.co/fear/det/referencia.htm>

<http://www.wet.org/pdf/files/historiaDeLasAguaSpanish.pdf>.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 1980. **X Censo General de población y Vivienda.** Integración Territorial del estado de México. Tomo (91) pp.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 1990. **Estado de México. Resultados definitivos. Datos por localidad. XI Censo General de población y vivienda.** Integración Territorial del estado de México. 376 pp.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 1997. **Anuario estadístico del Estado de México.** 103 pp.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 2000. **Estado de México. Resultados definitivos. Datos por localidad. XI Censo General de población y vivienda.** Integración Territorial del estado de México.

Jiménez-Osorno JJ y Gómez-Pompa A. 1987. **Las chinampas mexicanas.** *Pensamiento Iberoamericano*. 12: 201-214 pp.

Jiménez-Osorno JJ, Rojas Rabiela T, S del Amo Rodríguez y Gómez-Pompa. 1990. **Pasado, presente y futuro de las chinampas. Reportes de sostenibilidad maya,** núm. 1. University of California, Riverside.

Kabata-Pendias A y Pendias H. 1984. **Trace Elements in Soils and Plants.** CRC. Press. Inc. Florida. 51 pp.

Kay JJ y Ulanowicz RE. 1993. **A nonequilibrium thermodynamic Framework for discussing ecosystem integrity.** *Environmental Management*. 484-495 pp.

Lara J. 1999. **Tratamiento de aguas residuales con humedales artificiales.** Tesis de Maestría. Universidad Politécnica de Cataluña. 115 pp.

Ley de Aguas Nacionales. 1992. Diario Oficial de la Federación.

García Mendoza A. **Riqueza y endemismos de la familia Agavaceae en México.** En: Linares E, Dávila P, Chiang F, Bye R y Thomas E. 1995. Conservación de plantas en peligro de extinción: Diferentes Enfoques. Instituto de Biología. U.N.A.M. México. 51-70 pp.

Loperena D. 1996. **El derecho al medio ambiente adecuado.** Madrid, Civitas. 215 pp.

- López HM y De la Cerda MJ. 2002. **Amibas de vida libre en dos humedales artificiales con distintos pretratamientos**. Tesis de Licenciatura. FES. Iztacala. UNAM. 89 pp.
- Lot A. 1977. Atlacuetzon, **Planta acuática en los muros de tepantitla: Una posible interpretación**. Biología. Consejo Nacional para la enseñanza de la biología. 7:1-4. 46-50 pp.
- Lot A y Miranda-Arce MG. 1982. **Nota sobre las interpretaciones botánicas de plantas acuáticas representadas en códices mexicanos**. Internacional Congreso of Americanists. Congreso Internacional de Americanistas 1982. Ed. Norman Hammond. Flora y Fauna Imagery in Precolumbian Cultures: Iconography and Function. Edt. Jeanette F. Peterson. 85-92 pp.
- Lot HA y Novelo RA. 1978. **Laguna de Tecocomulco, Hidalgo**. Guías Botánicas de excursiones en México. Sociedad Botánica de México. A.C. México, D.F. 19 pp.
- Margalef LR. 1983. **Limnología**. Omega. Barcelona. 1010 pp.
- Martínez B. 2003. **La Investigación participativa en el campo del desarrollo y manejo ambiental**. Memorias del Curso Internacional. Manejo Integrado de Ecosistemas. Colegio de Postgraduados y Red Interamericana de Estudios y Capacitación en la Utilización de Recursos Naturales para la Transformación de las Comunidades. 13-25 pp.
- Marsh W. 1993. **Landscape Planning. Environmental Applications**. Second Edition. USA. 339 pp.
- Miranda A Ma-G. 1980. **Plantas acuáticas útiles del Valle de México**. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM.
- Miranda MG y Lot A. 1999. **El lirio de México. ¿Una planta nativa de México?** *Ciencias*. Revista de difusión. Facultad de Ciencias. UNAM. 53: 50-54 pp.
- Mitchell SD y Thomas AP. 1972. **Ecology of water weeds in the Neotropics**. UNESCO. París.
- Mosser F. 1963. **La cuenca lacustre del valle de México**. Mesas redondas sobre problemas del valle de México. Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables. México. 1-48 pp.
- Mosser F. 1975. **Historia Geológica de la cuenca de México**. Memoria de las obras del sistema de drenaje profundo del Distrito Federal. Departamento del Distrito Federal. México. 7-38 pp.
- Motolinía Fray T de B. 1971. **Memoriales o libros de cosas de la Nueva España y de los Naturales de ella**. Instituto de Investigaciones Históricas. UNAM. México.
- Muñoz-Iniestra DJ; Mendoza-Cantú A; López-Galindo F; Soler-Aburto A y Hernández-Moreno MM. 2000. **Edafología. Manual de Métodos de análisis de suelo**. UNAM. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala.
- Normas Oficiales Mexicanas. NOM-001-ECOL-1996; NOM-002-ECOL-1996; NOM-003-

ECOL-1997. Comisión Nacional del Agua.

Norma Oficial Mexicana. NOM-059-ECOL-2001. Protección ambiental de especies nativas de México de flora y fauna silvestres. Categoría de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio- Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación la Ley de la Vida Silvestre. Instituto Nacional de Ecología. SEMARNAT.

Oberts G y Osgood R. 1991. **Water-Quality Effectiveness of a Detention/Wetland Treatment System and Its Effect on an Urban Lake.** *Environmental Management*. 1 (15):131-138.

Oñate J, Pereira D y Suárez F. 2003. **Environmental assessment. Strategic Environmental Assessment of the Effects of European Union's Regional Development Plans in Doñana National Park (Spain).** *Environmental Management*. 5(31): 642-655 pp.

Ostrom E 2000. **El gobierno de los bienes comunes: La evolución de las instituciones de acción colectiva.** UNAM, Centro regional de investigaciones multidisciplinarias FCE. México. 395 pp.

Pérez VJC 1998. **Determinación de metales pesados en tejidos de carpa (Cyprinus carpio) de la Laguna de Zumpango.** Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. U.N.A.M. 95 pp.

Prescott GW. 1980. **How Know the aquatic plants.** G.W. Prescott university of Montana Biological Station. 158 pp.

Ramírez C, Godoy R, Contreras D y Stegmaier E. 1982. **Guía de plantas acuáticas y palustres valdivianas.** Universidad Austral de Chile. Chile. 42 pp.

Ramírez A. 1999. **Zumpango. Monografía Municipal.** Ed. Estado de México. México. 100 pp.

Rapport D. 1992. **Evaluating ecosystem health.** *Journal of Aquatic Ecosystem health*. 1:15-24 pp.

Reglamento de la ley de Aguas Nacionales, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 12 de enero de 1994, modificado por decreto publicado el 10 de diciembre de 1997.

Rzendowski CG y Rzendowski J. 2001. **Flora fanerogámica del Valle de México.** Instituto de Biología, Centro de Patzcuaro Michoacán. Regional de Ecología: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 1406 pp.

Rivera F y Calderón A. 1993. Biotratamiento de Aguas Negras. *Ciencia y Tecnología*. 15 (203): 12-15.

Robles E, Gallegos M, Calderón A y Sainz M. 1993. **Remoción de materia orgánica.** *Ciencia y Tecnología*. 15 (203): 26-28.

Rojas RT. 1985. **La cosecha del agua en la Cuenca de México**. SEP. (Cultura). Cuaderno de la Casa Chata. México. 124 pp.

Rojas RT, Straussk R y Lamerias J. 1974. **Nuevas noticias sobre las obras hidráulicas prehispánicas y coloniales en el valle de México**. SEP. INAH. México. 231 pp.

Rossell-Hunter WD. 1970. **Aquatic productivity: an introduction to some basic aspects of biological oceanography and limnology**. Macmillan. New York. 306 pp.

Saldívar A. 1998. **De la Economía Ambiental al Desarrollo Sustentable**. Programa Universitario de Medio Ambiente. México. 317 pp.

Sánchez AA. 2001. **Actores y mercado de tierras en una zona conurbada de la Ciudad de México: la región Zumpango**. <http://serpiente.dgsca.unam.mx/rer/armandos.html>. 13 pp.

Sanders WT; Parsons JR y Santley RS. 1979. **The Basin of Mexico: Ecological Processes in the Evolution of a Civilization**, Academic Press, Nueva York.

Secretaría de Industria y Comercio 1970. **Censo General de población. Localidades por entidad federativa y municipio con algunas características de su población y vivienda. Volumen II. Hidalgo a Oaxaca**. Dirección General de Estadística. 803 pp.

Schaeffer D, Herricks E y Kerster H. 1988. **Ecosystem health: I. Measuring Ecosystem Health**. *Environmental Management*. 4 (12):445-455 pp.

SEMARNAP. PROFEPA. 1997. **Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Delitos ambientales**. México. 244 pp.

Smart M y Dick G. 1999. **Propagation and Establishment of Aquatic plants: a handbook ecosystem restoration projects**. U.S. Army Corps of Engineers Washington, DC. 1-26 pp.

The Proven Solution for Image Análisis. 1999. Start-Up Guide. Image-Pro. Plus. Media Cybernetics. USA.

Torres VC. 1957. **Estudio Anatómico de *Kinosternon Hirtipes* Wagler (Tortuga de agua dulce) de la Laguna de Zumpango, Edo. de México**. Tesis de Licenciatura. Fac. Ciencias. U.N.A.M. México, D.F. 67 pp.

Valek V G. 2000. **Agua. Reflejo de un valle en el tiempo**. México. Historias de la Ciencia y la Técnica. 131 pp.

Van der Zee D y Zonneveld I. 2001. **Landscape ecology applied in land evaluation, development and conservation**. I.T.C. Publications NO. 81/IALE publications.

Vázquez YC y Orozco SA. 1995. **La destrucción de la naturaleza**. La ciencia desde México. FCE. 102 pp.

Vera R. 1991. **Xochimilco: este horizonte chinampero**. México Indígena. 19:37-44 pp.

Wang X. 2001. **Integrating water-quality management and land-use planning in a watershed context**. *Journal of Environmental management*. 61: 25-36 pp.

Wetzel RG. 1983. **Limnology**. Saunders College Publishing. E.U.A. 767 pp.

## ANEXO I

En este apartado se encuentran los criterios e índices que se utilizaron para obtener la clasificación química del agua para riego de la tabla 17 de resultados. Todas las fórmulas se encuentran en Coras (1999). El peligro de salinidad se obtiene con el valor de la conductividad eléctrica (CE) y el resultado de la RAS.

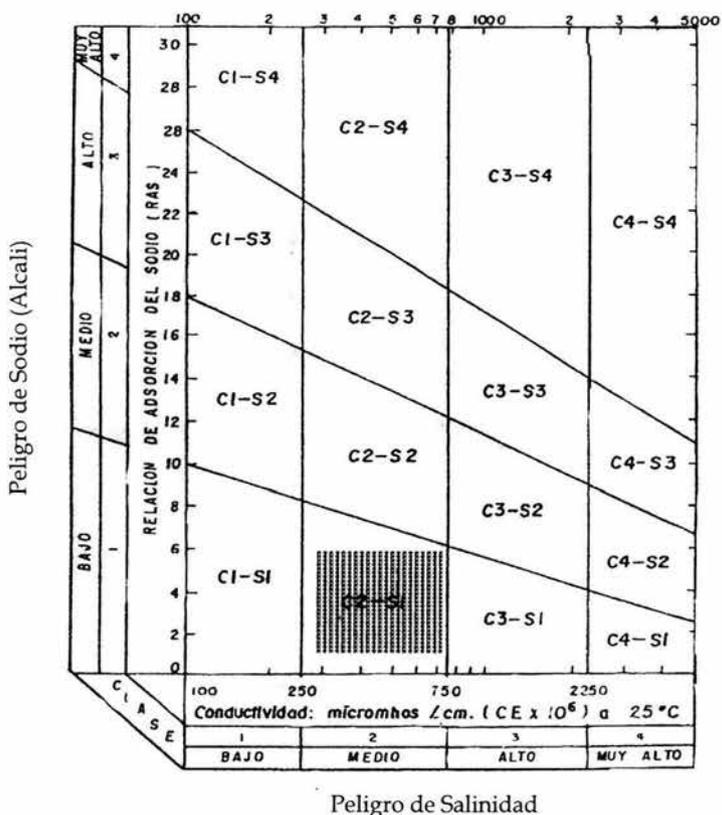


Figura 1. Diagrama para la clasificación de las aguas para riego (Tomado de Coras 1999). La ubicación en el diagrama del agua de la laguna de Zumpango (RAS = 1.55 me/l y C.E. = 574 micromhos) y de la entrada del canal (RAS = 1.77 me/l y C.E. = 543.3 micromhos) a la laguna se encuentra marcada con rojo.

Los criterios para que el agua se encuentre condicionada a la SE, SP, CSR o a los CI, se encuentra en las tablas (1, 2, 3 y 4) respectivamente.

Tabla 1. Clasificación del agua para riego según su S.E. La Laguna de Zumpango y la entrada del canal de Santo Tomás, a la laguna tuvieron valores de 3.29 y 3.13 me/l respectivamente.

Clase	Salinidad efectiva en me/l
Buena	menos de 3.0
Condicionada	de 3.0 a 15.0
No recomendable	más de 15.0

Tabla 2. Clasificación de agua para riego según su S.P. La Laguna de Zumpango y la entrada del canal de Santo Tomás, a la laguna tuvieron valores de 3.72 y 4.29 me/l respectivamente.

Clase	Salinidad potencial en me/l
Buena	menos de 3.0
Condicionada	de 3.0 a 15.0
No recomendable	más de 15.0

Tabla 3. Clasificación de agua para riego de acuerdo con el contenido de C.S.R. La Laguna de Zumpango y la entrada del canal Santo Tomás a la laguna, tuvieron valores de 0 y 0.93 me/l respectivamente.

Clase	Carbonatos de sodio residual en me/l
Buena	menos de 1.25
Condicionada o marginal	de 1.25 a 2.50
No recomendable	más de 2.50

Tabla 4. Clasificación del agua para riego de acuerdo a su contenido de cloruros. La Laguna de Zumpango y la entrada del canal a la laguna tuvieron valores de 3.71 y 4.9 me/l respectivamente.

Clase	Contenido de cloruro en me/l
Buena	menos de 1.0
Condicionada	de 1.0 a 5.0
No recomendable	más de 5.0

## ANEXO II

En este apartado se hará mención a los lineamientos que existen en los documentos donde se establecen las leyes sobre las aguas continentales que son las que nos interesan para abordar el caso de la Laguna de Zumpango, Edo. de México.

### 1. CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS

El artículo 27 constitucional (señala la propiedad de las aguas).

“... Son propiedad de la Nación las aguas.... de los lagos interiores de formación natural que estén ligados directamente a corrientes constantes; la de los ríos y sus afluentes directos o indirectos, desde el punto del cauce en que se inicien las primeras aguas permanentes, intermitentes o torrenciales, hasta su desembocadura en el mar, lagos, lagunas o esteros de propiedad nacional...”

Establece además, algunas disposiciones referentes a los recursos naturales en general y que son aplicables al agua:

- 1) El derecho de la nación de transmitir el dominio de las aguas a los particulares, constituyendo la propiedad privada.
- 2) El derecho de la nación de imponer a la propiedad privada las modalidades que dicte el interés público.
- 3) El derecho de la nación de regular el aprovechamiento de los elementos naturales susceptibles de apropiación, en beneficio social, con objeto de cuidar su conservación, lograr el desarrollo del país, etcétera.
- 4) La nación dictará las medidas necesarias para ordenar las aguas.

En su párrafo sexto señala que el dominio de la nación sobre las aguas es inalienable e imprescriptible y establece que el uso o aprovechamiento de los recursos por parte de los particulares será únicamente mediante concesiones que otorgue el Ejecutivo Federal y de acuerdo a las condiciones y a las reglas que dicten las leyes.

El artículo 73 en su fracción XVII establece la facultad del Congreso para expedir leyes sobre el uso y aprovechamiento de las aguas de jurisdicción federal.

## 2. LEY DE AGUAS NACIONALES (1992) Y REGLAMENTO (1994)

Este documento fue publicado en el Diario Oficial de la Federación el 1 de diciembre de 1992 y sustituyó a la Ley Federal de Aguas con el fin de contar con una nueva legislación en materia de aguas que fuera acorde con la nueva Ley Agraria y las reformas al artículo 27 constitucional.

El objeto de la ley de acuerdo con el artículo 1 de la misma, es el de “regular la explotación, uso o aprovechamiento de dichas aguas, su distribución y control, así como la preservación de su cantidad y calidad para lograr su desarrollo integral y sustentable”.

En ésta ley se incluye un capítulo tocante a la “Prevención y control de la contaminación de las aguas”; así como uno destinado a la protección de la contaminación del agua referida a su calidad como señala el artículo 85 de la misma.

*Autoridades competentes de acuerdo a la Ley de aguas nacionales (LAN).*

Comisión Nacional del Agua (CNA). Órgano desconcentrado de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Este órgano es el encargado de:

- a) Todo lo relacionado con la preservación, conservación y mejoramiento de la calidad del agua.
- b) Expide declaratorias que deben de contener parámetros que varían dependiendo de cada industria y deben ser publicados en el *Diario Oficial de la Federación*. (Artículo 87 LAN).
- c) Expide permisos a favor de los particulares para descargar aguas residuales en cuerpos receptores, tomando en cuenta la clasificación de los cuerpos de aguas nacionales, las normas oficiales mexicanas y las condiciones particulares que deba cumplir la descarga (Artículo 89 LAN).

El artículo 90, contempla la positiva ficta para el otorgamiento o negación de permisos. Establece que si la comisión no contesta la solicitud de permiso en un plazo de 60 días hábiles a partir de la admisión de la solicitud, el solicitante podrá realizar las descargas siempre y cuando:

- a) esté debidamente integrado el expediente, y
- b) las descargas las realice en los términos solicitados.

*Sanciones.*

La LAN prevé sanciones por incumplimiento a las disposiciones de la misma, dentro de las cuales están las siguientes:

- 1) La suspensión de las actividades que den origen a las descargas de aguas residuales y establece expresamente en qué casos procederá esta suspensión (artículo 92).
- 2) La revocación del permiso de descarga de aguas residuales, por las causas determinadas en la misma ley (artículo 93).

*Obligaciones a cargo de los particulares en el Reglamento de la LAN (R.LAN).*

Artículo 134. Establece la obligación a cargo de las personas físicas o morales que exploten, usen o aprovechen aguas en cualquier uso o actividad, a realizar las medidas necesarias para prevenir su contaminación y en su caso para reintegrarlas en condiciones adecuadas, a fin de permitir su utilización posterior en otras actividades o usos y mantener el equilibrio de los ecosistemas.

Dentro de esas obligaciones están las siguientes:

- 1) Contar con el permiso de descarga de aguas residuales, o en su caso, presentar el aviso a que se refiere la ley;
- 2) Tratar las aguas residuales previamente a su vertido en los cuerpos receptores;
- 3) Informar a la CNA tanto de cualquier cambio en sus procesos que representen modificaciones en las características o en los volúmenes de las aguas residuales, así como de los contaminantes presentes en las aguas residuales que generen por causa del proceso industrial o del servicio que operen;
- 4) Llevar a cabo un monitoreo de la calidad de las aguas residuales que descargue o infiltren en los términos de la ley y de las disposiciones reglamentarias.

Artículo 137. Establece la responsabilidad de los usuarios del agua y de todos los concesionarios de cumplir con las normas oficiales mexicanas y con las demás condiciones particulares de descarga para la preservación y el control de la contaminación que pueda resultar del manejo y de la aplicación de sustancias que puedan contaminar la calidad de las aguas nacionales y los cuerpos receptores.

Artículo 146. Se refiere a la responsabilidad solidaria que existe por parte de las personas físicas o morales que contraten o utilicen los servicios de empresas cuya actividad sea el tratamiento de aguas residuales.

Artículo 149. Se refiere a la obligación de llevar a cabo las labores de remoción y limpieza del contaminante de los cuerpos receptores que sean afectados por una descarga que haya sido

efectuada en forma fortuita, a cargo de quien haya sido responsable de la misma. El responsable deberá dar aviso a la CNA otorgando información concreta para que se adopten las medidas necesarias, de lo contrario, los daños que se ocasionen serán determinados y cuantificados por la CNA a cargo de los responsables.

Artículo 155. Hace referencia a la restauración en su fracción IV al establecer que es atribución de la CNA el promover y realizar las acciones y medidas necesarias para rehabilitar o restaurar los humedales, así como fijar un entorno natural o perímetro de protección de la zona de humedad, a fin de conservar las condiciones hidrológicas y el ecosistema.

### **3. LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE (LGEEPA).**

Artículo 88. Para el aprovechamiento sustentable del agua y los ecosistemas acuáticos se consideran los siguientes criterios:

- I.- Corresponde al Estado y a la sociedad la protección de los ecosistemas acuáticos y del equilibrio de los elementos naturales que intervienen en el ciclo hidrológico;
- II.- El aprovechamiento sustentable de los recursos naturales que comprenden los ecosistemas acuáticos debe realizarse de manera que no se afecte su equilibrio ecológico;
- III.- Para mantener la integridad y el equilibrio de los elementos naturales que intervienen en el ciclo hidrológico, se deberá considerar la protección de suelos y áreas boscosas y selváticas y el mantenimiento de caudales básicos de las corrientes de agua, y la capacidad de recarga de los acuíferos, y
- IV.- La preservación y el aprovechamiento sustentable del agua, así como de los ecosistemas acuáticos es responsabilidad de sus usuarios, así como de quienes realicen obras o actividades que afecten dichos recursos.

Artículo 89.- Los criterios para el aprovechamiento sustentable del agua y de los ecosistemas acuáticos, se consideran en:

- I.- La formulación e integración del Programa Nacional Hidráulico;
- II.- El otorgamiento de concesiones, permisos, y en general toda clase de autorizaciones para el aprovechamiento de recursos naturales o la realización de actividades que afecten o puedan afectar el ciclo hidrológico;
- III.- El otorgamiento de autorizaciones para la desviación, extracción o derivación de aguas de propiedad nacional;
- IV.- El establecimiento de zonas reglamentadas, de veda o de reserva;

V.- Las suspensiones o revocaciones de permisos, autorizaciones, concesiones o asignaciones otorgados conforme a las disposiciones previstas en la LAN, en aquellos casos de obras o actividades que dañen los recursos hidráulicos nacionales o que afecten el equilibrio ecológico;

VIII.- Las políticas y programas para la protección de especies acuáticas endémicas, amenazadas, en peligro de extinción o sujetas a protección especial;

IX.- Las concesiones para la realización de actividades de acuicultura, en términos de lo previsto en la Ley y Pesca, y

X.- La creación y administración de áreas o zonas de protección pesquera.

Artículo 90.- La Secretaría, en coordinación con la Secretaría de Salud, expedirán las normas oficiales mexicanas para el establecimiento y manejo de zonas de protección de ríos, manantiales, depósitos y en general, fuentes de abastecimiento de agua para el servicio de las poblaciones e industrias y promoverá el establecimiento de reservas de agua para consumo humano.

Artículo 91. El otorgamiento de las autoridades para afectar el curso o cauce de las corrientes de agua, se sujetará a los criterios ecológicos contenidos en la presente Ley.

Artículo 92.- Con el propósito de asegurar la disponibilidad del agua y abatir los niveles de desperdicio, las autoridades competentes promoverán el ahorro y uso eficiente del agua, el tratamiento de aguas residuales y su rehuso.

Artículo 93.- La Secretaría realizará las acciones necesarias para evitar, y en su caso controlar procesos de eutrofización, salinización y cualquier otro proceso de contaminación en las aguas nacionales.

Artículo 94.- La exploración, explotación, aprovechamiento y administración de los recursos acuáticos vivos y no vivos, se sujetará a lo que establece esta Ley, la Ley de Pesca, las normas oficiales mexicanas y las demás disposiciones aplicables.

Artículo 95.- La Secretaría deberá solicitar a los interesados, en los términos señalados en esta Ley, la realización de estudios de impacto ambiental previo al otorgamiento de concesiones, permisos y en general, autorizaciones para la realización de actividades pesqueras, cuando el aprovechamiento de las especies ponga en peligro su preservación o pueda causar desequilibrio ecológico.

Artículo 96.- La Secretaría expedirá las normas oficiales mexicanas para la protección de los ecosistemas acuáticos y promoverá la concertación de acciones de preservación y restauración de los ecosistemas acuáticos con los sectores productivos y las comunidades.

Artículo 97.- La Secretaría establecerá viveros, criaderos y reservas de especies de flora y fauna acuáticas.

#### 4. NORMAS OFICIALES MEXICANAS

NOM-001-ECOL-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales (D.O.F. 06/01/97. Aclaración D.O.F. 30/04/97).

Objetivo y campo de aplicación.

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, con el objeto de proteger su calidad y posibilitar sus usos, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. Esta Norma Oficial Mexicana no se aplica a las descargas de aguas provenientes de drenajes separados de aguas pluviales.

NOM-002-ECOL-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.

Objetivo y campo de aplicación.

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal con el fin de prevenir y controlar la contaminación de las aguas y bienes nacionales, así como proteger la infraestructura de dichos sistemas, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. Esta norma no se aplica a la descarga de las aguas residuales de proceso y conducidas por drenaje separado.

NOM-003-ECOL-1997. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público.

Objetivo y campo de aplicación.

Esta Norma Oficial establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público, con el objeto de proteger el medio ambiente y la salud de la población, y es de observancia obligatoria para las entidades públicas responsables de su tratamiento y uso.

Esta ley define el reuso de servicios al público con contacto directo del siguiente modo: es el que se destina a actividades donde el público usuario esté expuesto directamente o en contacto físico. En lo que corresponde a esta Norma Oficial Mexicana se consideran los siguiente reusos: llenado de lagos y canales artificiales recreativos con paseos en lancha, remo, canotaje y esquí; fuentes de ornato, lavado de vehículos, riego de parques y jardines.



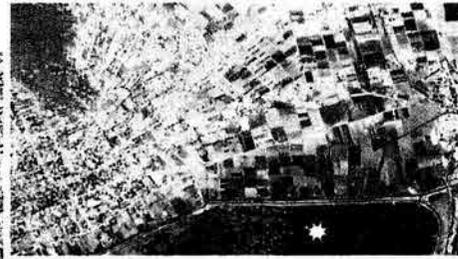
- NA I. Vegetación acuática
- NA II. Áreas sin vegetación en la laguna
- NA III. Erosión antrópica en vertisoles
- NA IV. Área agrícola en vertisoles

b)



San Juan Zulaquepec

19°48'24" N



- ZONA I. Leptosoles, Regosoles y Phaeozems.
- ZONA II. Phaeozems y tepetates
- ZONA III. Borde perimetral de la laguna
- ZONA IV. Phaeozems háplicos

a)

Zumpango de Quinto

## Laguna de Zumpango, Edo. de México



Teoloyucan



- NA I. Vegetación acuática
- NA II. Vertisoles
- NA III. Cultivos de temporal
- NA IV. Urbanización

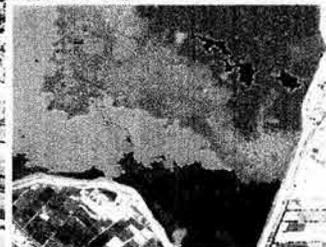
c)



Santa Cruz

19°45'41" N

99°15'45" W



- ZONA I. Áreas urbanas con efecto antrópico
- ZONA II. Phaeozems
- ZONA III. Suelos arcillosos
- ZONA IV. Áreas dedicadas a cultivos

d)



**Figura 13. La Laguna de Zumpango, pueblos cercanos a ella, división de los municipios Zumpango y Teoloyucan dentro de ella y sistema hidrológico. En los incisos a, b, c y d se muestran los tipos de suelo con sus respectivas fases químicas y físicas que los limitan para uso agrícola, así como el uso que se le está dado a cada uno. El inciso e muestra 9 perfiles realizados por INEGI (1995) y utilizados en este trabajo. Mosaico escala 1:25 000.**

