

EVALUACIÓN DEL ÁREA NATURAL PROTEGIDA (LAGO DE XOCHIMILCO) Y POTENCIALES PROPUESTAS DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA

¹ *Raul Arcos Ramos*

¹ Profesor de tiempo completo de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza UNAM; [biolar.terra.com.mx](mailto:biolar@terra.com.mx)

² *Sandra Vergara Salgado*

² Estudiante de la carrera de biología de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza UNAM; cabage_patchesan@hotmail.com

Introducción

Los primeros habitantes de la Cuenca de México que se asentaron en sus orillas corresponden al periodo denominado Preclásico Inferior (1500 A.C.) o un poco antes, ubicándose, inclusive en zonas altas pero con fácil acceso al agua; Casi siempre, estaban en cerros o próximos a ellos por lo que Alfonso Caso les denomina “culturas de los cerros”; entre los que se encuentran cuicuilco, próxima a la Sierra del Chichinautzin, fue destruida por la erupción del Xitle en su última etapa, provocando que los grupos poblacionales del sur emigraran al norte de la cuenca, dando lugar a lo que posteriormente sería el señorío de Teotihuacan.

Posteriormente, con la caída de Teotihuacan, la cuenca vuelve a ser importante en su parte sur, ya no cerca de la Sierra del Chichinautzin, sino directamente sobre el lago y sus orillas, es decir, cuando llegan los Mexicas y fundan la gran Tenochtitlan en el centro del lago, que para entonces mostraba la división en cinco grandes lagos: Chalco y Xochimilco al sur, Texcoco al centro oriente y Zumpango y San Cristóbal al Norte.

Xochimilco se deriva del Náhuatl *Xòchitl* (flor), *mili* (sementera) y *co* (locativo): “en el sembrado de flores” fue el asiento de las siete tribus nahuatlacas procedentes del legendario Chimoztoc. Al parecer, los Xochimilcas llegaron al Valle de México hacia el año 900 y fundaron su ciudad en 919.

En 1902-1903 Se inician las obras de captación de los manantiales regionales y la construcción del acueducto que va de Nativitas a Molino del Rey. También se establece la línea de ferrocarril que va de la Condesa a San Luís Tlaxialtemalco y que permite transportar los materiales para la construcción del acueducto. El sistema se inaugura en 1914 no por Porfirio Díaz, su promotor sino por Francisco I. Madero. Los encargados de las obras rellenaron y terraplenaron algunos manantiales de Nativitas a fin de permitir que aquellos bajo explotación como el de Quetzalapa, proporcionaran mas agua. Había manantiales desde Tlalpan hasta Chalco.

1935 Se construye la planta de bombeo de Xotepingo.

1929-1941. Desaparecen los empedrados tradicionales (filtrantes) conocidos como adoquinados de macadam en el poblado de Xochimilco. Se promueve el pavimentado de avenidas, labor que culmina con el trazado y asfaltado de la nueva Av. La Noria – centro de Xochimilco. Atravesando ésta, se construyen dos puentes, en San Marcos y San Antonio. La

nueva avenida, al construirse en línea recta, en vez de aprovechar el viejo camino real de Tepepan a Xochimilco, implicó la destrucción de chinampas y el relleno de superficies lacustres.

1940 Comienza a notarse la disminución en el nivel de agua de los canales.

1943 Tal vez por descuido se “queman” las bombas de Nativitas y resurgen los manantiales. Pero precisamente en este año y el anterior se construyen pozos aún más profundos.

1945. Ya casi desecado, se rellena el Canal de la Viga, aquél que condujera a las canoas de Xochimilco a Jamaica y que desde el inicio de los 40^s, como producto de su progresivo deterioro, ya no pudo ser navegado y se convirtió en tiradero de basura. También se inicia el dragado periódico de los canales mayores (acalotes), con intención de facilitar el tránsito de canoas turísticas. Los lodos extraídos descuidadamente se van depositando sobre canales pequeños (apancales), vitales para el riego en las parcelas chinamperas, o bien se colocan en grandes cantidades sobre algunas chinampas, elevando mucho su nivel y dificultando su cultivo.

1948. El presidente Miguel Alemán entrega en Xochimilco títulos de derechos agrarios.

1949-1950. Desección casi total de Xochimilco y Mixquic-Tetelco (“primera desección”). Se da una protesta general y con la solicitud de que se dejaran pozos a la población local. Las autoridades locales responden reforzando la vigilancia militar de los pozos e incrementando el caudal extraído con la apertura de nuevos pozos. Se reabren los viejos ojos de agua de Tepepan. Por otra parte, se construye la presa de San Lucas, destinada a bloquear el paso de río Santiago, y a controlar las avenidas que inundaban la zona urbana, asentada en la recién desecada zona sur de la chinampearía.

1957. Se inicia la introducción de las aguas residuales del río Churubusco al área lacustre, las cuales afectan la agricultura, propician la desaparición de especies faunística y florísticas, aumentan el ensalitramiento de las tierras, haciendo que los campesinos empiecen a abandonar la actividad productiva. El lirio es menos usado como abono y comienza a proliferar. Se sabía desde entonces que se construiría una planta tratadora de agua en el Cerro de la Estrella; se dijo incluso, al arribar los 60's, que el agua ya traía algún tipo de tratamiento, pero éste, en caso de haber existido, era menos que superficial.

1960. Se entuba el agua de un manantial más en Nativitas. Los árboles del área chinampera comienzan a plagarse como efecto de las inundaciones con aguas residuales.

1966. Se declara a Xochimilco zona de monumentos históricos.

1967. Se expropián 67 ha de terrenos ejidales para la construcción de la pista olímpica de Cuernavaca. A la fecha los ejidatarios no han recibido la indemnización.

1970. Al dragar en Santa Cruz, las autoridades “abren” un resumidero. Se presenta una nueva desección a raíz de la construcción y puesta en marcha de un nuevo sistema de pozos a lo largo del Canal de Chalco al norte de los ejidos de Xochimilco.

1972. Se expropián varias manzanas en el centro de Xochimilco. Por otro lado, es dragado el canal el Canal Nacional, lo que contribuye al debilitamiento de la zona chinampera. Es tal la compactación y el hundimiento del área norte de la chinampearía, que comienza a hundirse y a verse afectada por las inundaciones. Las autoridades construyen un bordo entre las chinampas

y la Ciénega Grande y envían a la zona de ejidos la demasía de agua, resultado de todo esto fue que los ejidos comenzaron a inundarse también. Finalmente, se introduce un grupo de manatíes procedentes de Tabasco, que se piensa que controlarían el exceso de lirio acuático, pero encontró un pronto fin a causa del cambio de ambiente y de su caza.

1973. Se rellena la laguna de Xaltocan. Se inundan las chinampas de San Juan, localizadas al noroeste de Xochimilco.

1974. La mitad de la laguna frente al embarcadero Fernando Celada, es rellenada con piedra y tierra para ampliar la avenida Guadalupe I. Ramírez. Se inundan las chinampas de Asunción, al noroeste; el agua llega hasta 1.5 m arriba de la chinampearía.

1980-1983. La Cámara de Diputados elabora un proyecto para decretar distrito de riego al área hidroagrícola de Xochimilco. Por otra parte, se abren los bordos y se inunda el ejido de Ciénega Grande.

1983. El DDF bloquea los puentes de Xilopa y Caltongo a fin de establecer canales con diferentes niveles en Santa Cruz y el Centro de Xochimilco.

1984. La SEDUE desarrolla un detallado proyecto de mejoramiento ambiental para el Microregión de Xochimilco que no llega a ejecutarse por las autoridades del DDF.

1985. Con los sismos de Septiembre se fractura el fondo de un canal en San Gregorio y se forma un resumidero que en menos de tres días absorbe toda el agua del compartimiento lacustre de San Gregorio. Se tienen que bloquear por ambos lados con costalera, para poder rellenar con agua nueva el vaso San Gregorio. La FAO inicio un apoyo de emergencia en la zona, para estudiar sus problemas.

1987. Se logra revertir la expropiación del centro de Xochimilco. En diciembre la UNESCO decreta Patrimonio Cultural de la Humanidad a Xochimilco.

1988. Se completa el reporte FAO-México sobre Xochimilco, que recomienda la rehabilitación agrícola del área y la construcción de obras hidráulicas regionales.

1989. Juan Balanzario es nombrado delegado agrario. Su hermano Daniel quien en 1983 había creado la asociación “Amigos de Xochimilco A.C.” Impulsa más actividades de rescate chinampero y comienza a trabajar con apoyo oficial en el barrio Ampliación San Marcos, en un espacio limítrofe entre las zonas agrícola y urbana.

1989. Sale a la luz pública el Plan de Rescate Ecológico de Xochimilco por parte del DDF, así como su contraparte, el Plan Alternativo Ejidal elaborado por ejidatarios de Xochimilco, Atlapulco y Tlahuác. El 25 de Septiembre, aparecen publicados en el Diario Oficial los decretos de expropiación de terrenos ejidales de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco, para establecer en ellos las obras del plan oficial de rescate ecológico.

1990. Se amparan los ejidatarios de Xochimilco de y San Gregorio Atlapulco contra la expropiación. Las autoridades jurídicas declaran procedente la acción ordenando al DDF la suspensión de obras, no obstante lo cual las del DDF siguen trabajando estableciendo un litigio legal con los ejidatarios. Por otra parte, los agricultores de San Luís Tlaxialtemalco protestan contra el proyecto DDF-ANDA de urbanización de terrenos localizados en el área de protección ecológica, y los de Tulyehualco y Tlahuác también demandan para las obras de construcción de

una unidad habitacional de FONHAPO y de la Villa Centroamericana, respectivamente, en áreas de reserva ecológica y de vocación agrícola.

1990. Ante el debate público que el decreto expropiatorio y la oposición de sectores ejidales despierta, el DDF convoca a un Consejo Asesor de su Plan de Rescate Ecológico de Xochimilco, mismo que se reúne esporádicamente.

1992 se publica por el diario oficial de la federación a Xochimilco como área natural protegida. (espacios físicos naturales en donde los ambientes originales no han sido significativamente alterados por actividades humanas, o que requieren ser preservadas y restauradas por su estructura y función).

La principal función de un ANP es la protección y conservación de recursos naturales de importancia especial, ya sean especies de fauna o flora que se encuentran catalogados en algún estatus de riesgo (raras, amenazadas, endémicas, peligro de extinción) o bien de ecosistemas representativos a nivel local, regional, país e incluso internacionalmente.

Xochimilco es considerada como área natural protegida ya que cuenta con diversos servicios ambientales tales como recarga de mantos acuíferos, captura de CO₂, etc.

Cuenta con 2,657ha de superficie y 180 Km.de canales, donde cientos de familias cultivan en ellas productos agrícolas que abastecen al Distrito Federal.

El territorio de Xochimilco en los últimos diez años ha presentado una dinámica de crecimiento y aumento de población que la ha distinguido de las otras delegaciones. Sobre todo considerando que este crecimiento se ha dado en su gran mayoría mediante la ocupación de tierras con vocación agrícola y ecológica.

Xochimilco cuenta con 17 barrios y 14 pueblos, cada uno con su capilla. Además existen nueve canales: Cuemanco, Apatlaco, Cuauhtemoc o Nacional, Tezhuilo, Apampilco, Tolteco o del Japón, Oxtotenco, o la Noria, Amelaco, y Atlilic; siete lagunas importantes: el Toro, la Virgen, Tlilac, Tlicuili, Tezhuizotl, Caltongo y Xaltocan.

Ha sido históricamente un centro de actividad agrícola, dedicado principalmente al cultivo de legumbres y flores mediante el sistema de chinampas. Las chinampas (es un sistema agrícola prehispánico altamente productivo y se puede describir como una isla de artificial construida con lodo del fondo del lago, vegetación acuática y árboles alrededor llamados ahujotes (salís bomplandiana), cuyas raíces intrincadas ayudan a retener los bordes).

Son en realidad “el último vestigio viviente de lo que fue el Valle de Anahuac”. Sin embargo de 400 Km. Cuadrados originales hace más de 400 años, las chinampas se han reducido a 25 Km.

México, DF; 16 agosto 2007.- La Delegación Xochimilco arranca las jornadas informativas en los 14 pueblos que integran la demarcación, para que la comunidad que habita en la zona de la montaña, así como asentamientos humanos, se informen sobre el Programa Delegacional de Desarrollo Urbano Xochimilco-05. A partir de mañana y hasta el día 05 de septiembre, los puntos de reunión son en las 16 Coordinaciones Territoriales, según calendario, para visitar un día cada Coordinación.

Las jornadas informativas tienen el objetivo de dar a conocer a las familias que habitan en los asentamientos humanos, existentes en cada pueblo, sobre la situación que prevalece, en

relación a los avances de los estudios específicos y de impacto urbano y ambiental, que se realizan en cada asentamiento.

La Delegación Xochimilco y la Secretaria de Desarrollo Urbano y Vivienda y la Secretaria de Medio Ambiente del Distrito Federal, conforman la Comisión de Regulación Especial y trabajan de manera coordinada para ordenar el territorio de la demarcación. Se tienen identificados 300 asentamientos irregulares, de los cuales en 160 asentamientos se trabaja en la normatividad que los regirá, así como las obras de mitigación que se tendrán que realizar para mejorar la calidad del medio ambiente y de vida de la población.

A pesar de las ventajas agroecológicas del sistema chinampero, actualmente enfrenta una serie de problemas que se pueden resumir en los siguientes puntos (Ezcurra, 1990:119):

- a) El deterioro de la calidad de agua de los canales, especialmente su salinidad.
- b) El deterioro de la calidad de suelo por modicidad y por la sedimentación de carbonatos, sulfatos y silicatos de calcio y magnesio.
- C) El uso de tecnologías inapropiadas en las chinampas como es el caso del empleo de fertilizantes químicos y de pesticidas.
- D) el incremento en la incidencia de enfermedades particularmente las producidas por los hongos y bacterias, debido a deterioro ambiental.
- E) la contaminación de suelo con metales pesados, cuya fuente es el riego de parcelas con aguas residuales con tratamiento terciario (planta Cerro de la estrella) y secundarios (planta de San Luis Tlaxialtemalco), así como el uso del lirio acuático (*Eichornia crassipes*) como abono verde, ya que esta planta absorbe contaminantes del agua que deposita en el suelo al descomponerse.
- F) la sustitución de técnicas de cultivo tradicionales como la labranza mínima, por métodos que impiden el desarrollo de la biota edáfica que origina la fertilidad natural de suelo.
- G) el desnivel de los suelos chinamperos, originado por el hundimiento desigual de los terrenos. Además de los problemas ambientales, la zona chinampera de Xochimilco tiene también problemas socioeconómicos, culturales y políticos que no han sido resueltos a pesar de varios esfuerzos institucionales.

Ante las prospectiva actual (2002) de intensificación del deterioro ecológico y productivo de los suelos de las chinampas, es necesario instrumentar un programa de restauración ecológica de estos agro sistemas, haciendo énfasis en la rehabilitación y mejoramiento productivo del suelo.

Hidrodinámica del sistema:

A continuación se presentan los resultados promedio obtenidos durante diferentes periodos de estudio, estableciendo su análisis estadístico y el efecto sobre el comportamiento metabólico del lago. Los resultados obtenidos permiten establecer una serie de potenciales estrategias de recuperación ecológica a mediano y largo plazo.

Estaciones	Apatlaco			Texhuilo			Asunción			Trancatitla			Cuernavaca		
Parámetro	Sup Fond			Sup. Fond			Sup. Fond			Sup Fond			Sup Fond		
Profundidad	1.373			1.221			1.913			1.006			1.467		
Transp.	0.351			0.382			0.287			0.295			0.233		
Conduc.	0.79	0.802	0.773	0.776	0.781	0.797	0.773	0.75	0.678	0.69					
pH	8.21	8.134	8.338	8.172	8.037	7.834	8.158	7.965	9.462	9.30					
Oxígeno	6.16	4.822	6.767	4.261	3.916	0.945	5.526	4.194	10.28	7.14					
Temp.	21.5	20.63	21.25	20.04	20.37	19.76	21.34	20.45	21.82	20.6					
D B O ₅	39.1	51.35	47.81	49.63	45.29	50.17	39.55	56.34	44.6	51.8					
D Q O	396	462	311	415	354	438	377	428	382.2	453					
CO ₂	8.10	12.58	4.993	12.6	14.98	20.86	7.212	14.39	0	0					
Sól. Part.	14.3	40.22	12.93	24.61	18.44	56.56	16.33	36.89	31.00	52.4					
Sól. dis	534.8	540.5	528.3	544.3	525.3	527.1	521.8	518.4	437.3	444					
Sól. Sed.	1.516			2.383			2.922			1.527			3.655		
Sól. Tots.	549.1	580.7	541.2	568.9	543.7	583.6	538.2	555.3	468.3	496.4					

Tabla 1. Valores promedio de los parámetros físicos y químicos de las estaciones de muestreo de los canales de Xochimilco.

Los datos se analizaron mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov (Levene, 1960: 278-292) y gráficas de caja y bigote para determinar si cumplían con los supuestos de normalidad y homocedasticidad respectivamente (Marques, 1991:500-650; Salgado, 1992: 130-190;). De esta forma, los resultados se agrupan en paramétricos (Tabla 2) y no paramétricos (Tabla 3).

Parámetro	Estación	Nivel
Profundidad	$F_c=40.05$ $p=0.0000$ **	$F_c= --$ $p= --$
Transparencia	$F_c=6.73$ $p=0.003$ **	$F_c= --$ $p= --$
CO ₂	$F_c=25.82$ $p=0.0000$ **	$F_c=10.41$ $p=0.0018$ **
Oxígeno	$F_c=19.41$ $p=0.0000$ **	$F_c=15.66$ $p=0.0002$ **
pH	$F_c=19.08$ $p=0.0000$ **	$F_c= 1.00$ $p=0.3194$
DQO	$F_c=1.40$ $p=0.2417$	$F_c=17.97$ $p=0.0001$ **
Sólidos disueltos	$F_c=17.32$ $p= 0.0000$ **	$F_c=0.21$ $p=0.6467$
Sól. sed.	$F_c= 1.83$ $p= 0.1428$	$F_c= --$ $p= --$

Tabla 2. Resultados del ANDEVA para los datos paramétricos.
**Diferencias estadísticas significativas.

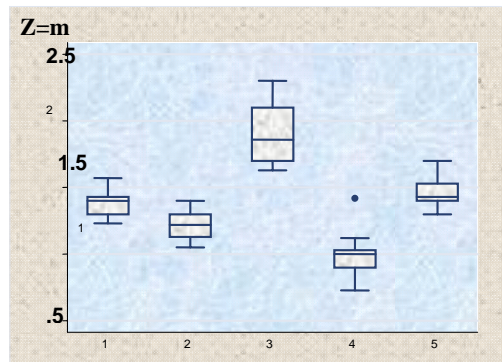
	Estación	Nivel
Temperatura	$\chi_c^2=3.345$ $p=0.5019$	$\chi_c^2=6.632$ $p=0.0100$ **
Conductividad	$\chi_c^2=29.054$ $p=0.0001$ **	$\chi_c^2= 0.6832$ $p=0.167$
DBO ₅	$\chi_c^2=0.278$ $p=0.9912$	$\chi_c^2=3.582$ $p=0.0584$
Sól. Totales	$\chi_c^2=19.150$ $p=0.0007$ **	$\chi_c^2=3.356$ $p=0.0670$
Sól. Part.	$\chi_c^2=10.184$ $p=0.0374$ **	$\chi_c^2=6.081$ $p=0.0137$ **

Tabla 3. Resultados del análisis de Kruskal Wallis para los datos no paramétrico
**Diferencias estadísticas significativas.

Profundidad

Uno de los parámetros morfométricos más importantes, es la profundidad, ya que ejerce efectos en el comportamiento de los parámetros físicos, químicos y biológicos en el sistema (Wetzel, 2001:400-860)

La profundidad, no presentó variaciones significativas durante los muestreos (ANDEVA, $F_c = 0.22$, $p=0.9841$); como se observa en la grafica1, lo que hace considerar que este cuerpo de agua mantiene su nivel de profundidad relativamente constante; en este caso se observa un comportamiento similar al reportado por (Olabode, 2000: 53)



Gráfica 1. Variación espacial de la profundidad en las cinco estaciones de monitoreo. (1= Apatlaco; 2= Texhuilo; 3= Asunción; 4=Trancatitla y 5= Cuemanco).

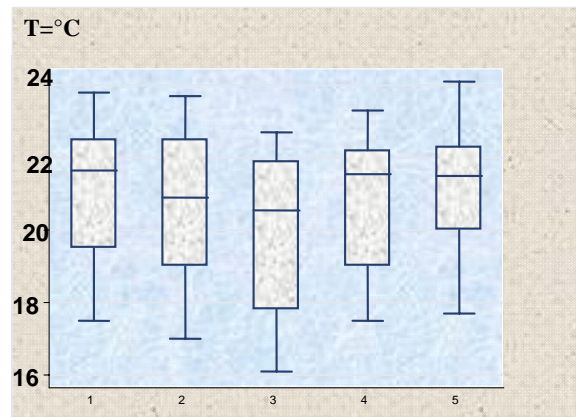
Transparencia

De acuerdo al análisis estadístico de la transparencia a lo largo del período de muestreo, no se detectaron diferencias significativas (ANDEVA $F_c = 1.77$, $p=0.1147$). El descenso de la transparencia se ve afectado porque el sistema de Xochimilco es un sistema cerrado rico en materia orgánica (Jiménez, et al. 1995: 200-250), ya que recibe el aporte de aguas con un tratamiento inadecuado de la planta de tratamiento del Cerro de la Estrella desde su inauguración en 1976 (Trejo, 1984: 70-89) y de la planta de tratamiento de San Luis Tlaxiatalmalco (Bastida y Maciel, 1986: 90-110) desde 1989 (Alfaro, 1989:70-85).

Asunción, estación representativa de la zona urbana en el presente estudio, recibe numerosas descargas de aguas negras en forma directa (Vidrio y Ávila, 2000:637-643), debido al cambio de uso de suelo a consecuencia de una acelerada ocupación irregular de asentamientos humanos (Canabal, 1991:25) y la presencia de establos clandestinos, por lo que asumimos que esta situación influye en tener bajos valores de transparencia.

Temperatura

El comportamiento de la temperatura del agua como era de esperarse, no fue homogéneo mostrando diferencias significativas entre superficie y fondo ($\chi^2 = 6.632$, $p < 0.05$) resultado esperado, ya que en el lago existe mucha materia flotante orgánica e inorgánica, Los valores de este parámetro se mantuvieron con un promedio en general de 20.79°C, encontrándose dentro de los límites permisibles para embalses naturales y artificiales para uso en riego agrícola en de acuerdo a la (NOM-001-ECOL-1996:31).



Gráfica 2. Variación espacial de la temperatura; en las cinco estaciones de monitoreo. (1= Apatlaco; 2= Texhuilo; 3= Asunción; 4=Trancatitla y 5= Cuemanco).

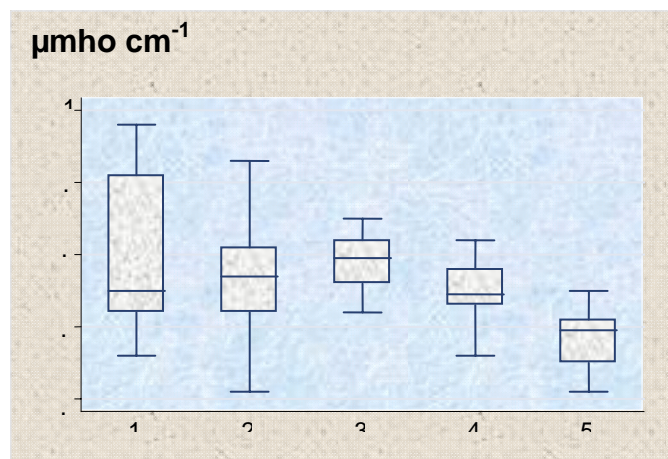
PH.

En general para todo el estudio, los valores obtenidos tendieron hacia la alcalinidad con una capacidad establecida por los bicarbonatos como lo menciona (Arcos et al, 1995:76-82) ya que se encuentran los valores en los dominios de 7 a 9, debido principalmente a las condiciones edáficas de las zonas geológicas en donde se encuentra y circula el agua.

Conductividad.

Los datos de la conductividad, se manejaron por medio del análisis de Kruskal Wallis ($p < 0.05$) (Marques, 1991: 500-650; Salgado, 1992:130-190), después de realizar las pruebas de homocedasticidad y normalidad correspondientes.

Cabe resaltar que el valor mínimo de los sólidos disueltos se reportó para Cuemanco (437.28 mg l^{-1}), y dado que la conductividad depende de la concentración total de sustancias disueltas el resultado es congruente con lo reportado por (Tebbutt ,1990:180-215; Pedraza ,1995:40-55).



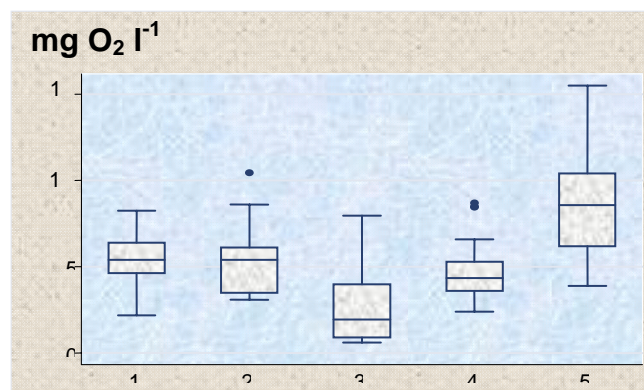
Gráfica 3. Variación espacial de la conductividad; en las cinco estaciones de monitoreo; (1= Apatlaco; 2= Texhuilo; 3= Asunción; 4=Trancatitla y 5= Cuemanco).

Oxígeno

La elevada concentración de oxígeno observada en la superficie es debido en parte al gradiente de difusión en la interfase aire-agua con la atmósfera (Lind, 1985: 150-180), así como por los procesos fotosintéticos que están restringidos relativamente a una pequeña zona no obstante la parte inferior se caracteriza por ser una área en donde los procesos de descomposición trófica de MO agotan el O_2 debido principalmente a reacciones oxidativas, sobretodo en la interfase agua-sedimento, en donde la actividad microbiana es más intensa (Wetzel, 2001:400-860; APHA, 1996:4500,2310).

Con respecto a las estaciones de monitoreo (gráfica 4), se encontró que al realizar la prueba de Bonferroni correspondiente se observó que Cuemanco, presenta diferencia significativa, con todas las demás estaciones, esto es comprensible ya que Cuemanco recibe vertidos con sulfuros, sulfitos y hierro ferroso entre otros que son característicos de efluentes tipo industrial que contribuyen al consumo de oxígeno (Rodier, 1990:1050)

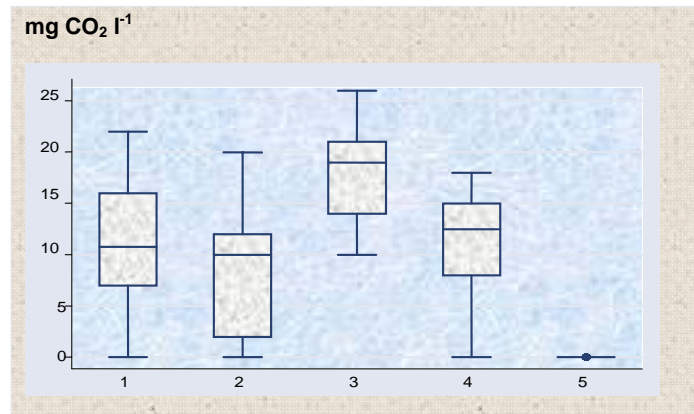
Cabe resaltar que la (NOM-001-ECOL-1996:31) no considera a este parámetro para aguas de embalses naturales y artificiales para uso de riego agrícola.



Gráfica 4. Variación del oxígeno en las cinco estaciones de monitoreo; (1= Apatlaco; 2= Texhuilo; 3= Asunción; 4=Trancatitla y 5= Cuemanco).

Bióxido de carbono (CO_2)

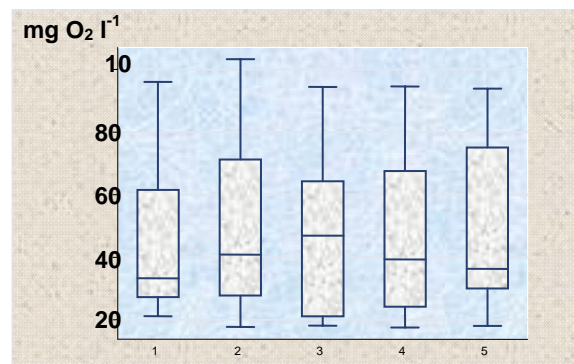
El CO_2 entre superficie y fondo no fue homogéneo (ANDEVA $F_c=10.41$, $p<0.05$) presentado a lo largo de la columna de agua, mayores concentraciones en el fondo, registrando un comportamiento similar pero en sentido inverso al O_2 coincidiendo con lo señalado por (Snoeyink, 1987:340-410), registrando promedios de 7.056 y 12.085 $mg\ l^{-1}$ para superficie y fondo respectivamente con una diferencia promedio entre niveles de 4 a 7 $mg\ l^{-1}$, (gráfica 5).



Gráfica 5. Variación del bióxido de carbono en las cinco estaciones de monitoreo; (1= Apatlaco; 2= Texhuilo; 3= Asunción; 4=Trancatitla y 5= Cuemanco).

Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO₅)

Después de realizar las pruebas para determinar si se cumplían los supuestos de normalidad y homocedasticidad, se decidió utilizar los métodos de distribución libre respectivos, los cuales ayudaron a determinar entre niveles que el comportamiento fue homogéneo, no mostrando diferencia significativa (Kruskal Wallis $\chi_c^2=3.582$, $p=0.0584$) (gráfica 6), siendo ligeramente mayor la DBO₅ en superficie, resultados parecidos a lo reportado por (Pedraza ,1995:40-55). Lo antes expuesto indica que existe un alto contenido de materia orgánica difícilmente biodegradable. Cabe resaltar que los valores de DBO₅ en general se encuentran dentro de los LMP que establece la (NOM-001- ECOL-1996:31).

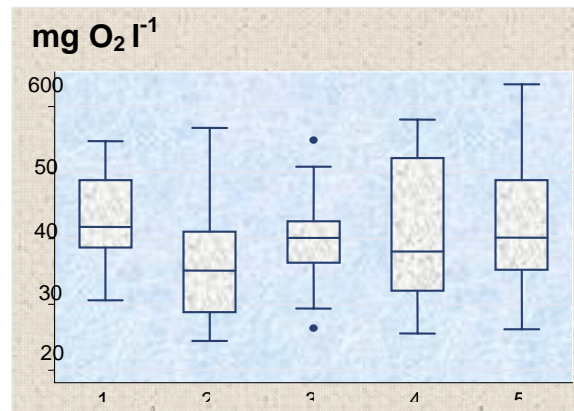


Gráfica 6. Variación de la demanda bioquímica de oxígeno en las cinco estaciones de monitoreo; (1= Apatlaco; 2= Texhuilo; 3= Asunción; 4=Trancatitla y 5= Cuemanco).

Demanda química de oxígeno (DQO)

Los resultados en comparación con la DBO₅, nos indican que existe mayor cantidad de compuestos difícilmente biodegradables en el fondo, debido tal vez por el elevado contenido de celulosa (compuesto orgánico poco biodegradable) (Tebbutt 1990:180-215; Jiménez 2002:800-830), proveniente de las paredes celulares del tejido vegetal, efecto que se refleja en las estaciones de la zona agrícola, principalmente en Texhuilo. Por otra parte el hecho de que exista poco oxígeno disuelto en la profundidad promueve la fermentación de materia orgánica,

proceso poco eficiente (*Hernández, 1993:80-89*) haciendo que exista un rezago de degradación en la zona trofófica del lago, alterando el régimen de reciclaje de nutrientes y modificando la dinámica de los ciclos biogeoquímicos, consecuencias del proceso de eutrofización (*Fontúrbel, 2004:17-2; APHA, 1996:2310, 2540,2550*).



Gráfica 7. Variación de la demanda química de oxígeno en las cinco estaciones de monitoreo; (1= Apatlaco; 2= Texhuilo; 3= Asunción; 4=Trancatitla y 5= Cuemanco).

Los resultados obtenidos en Cuemanco, nos hace pensar que el tratamiento de aguas que recibe no es eficiente o tal vez no es el adecuado, ya que no logra remover la materia no biodegradable, La situación se torna más grave considerando las descargas que realizan los pobladores de las zonas aledañas como en la Asunción, en donde el crecimiento acelerado de microorganismos es una respuesta a suministros ricos en nutrientes de aguas residuales domésticas (*Ramalho, 1991: 20-31*).

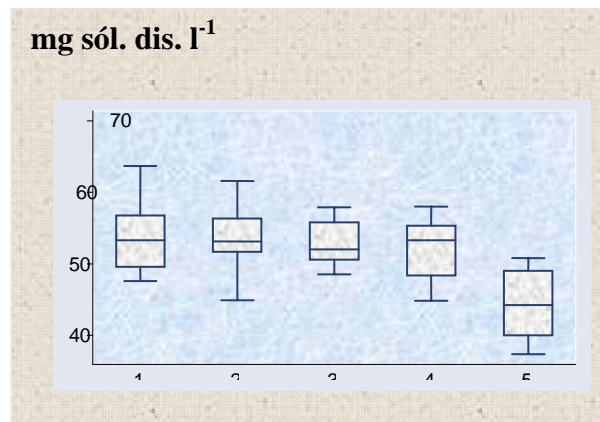
En estudios realizados por (*Baez y Belmonte, 1975:50-65*) clasifican esta agua como polisapróbicas tomando en cuenta la DBO₅ y el oxígeno disuelto.

Sólidos disueltos

Los suelos chinamperos con características salino-sódicas tienen una gran influencia en éste parámetro y se puede tomar como un indicador de la erosión y transporte fluvial de sedimentos vertidos al lago (*Celada, 1993:130-150; Caballero et al. 1995:76-82*), como se mencionara más adelante, en la parte de sedimentos.

Los valores obtenidos, en general son elevados (250 mg l^{-1} – 500 mg l^{-1}) ya que están comprendidos en su mayoría entre los intervalos de la composición típica del agua residual doméstica en una concentración de media a débil (*Metcalf y Eddy, 1977:237-253*) y están dentro del intervalo que abarca la Norma Mexicana (NMX-AA-034-SCFI-2001:35).

Al realizar la comparación múltiple de Bonferroni, se encontró que el efecto de lavado de suelos así como los escurrimientos contribuye en buena parte, sobre todo en las zonas con actividad agrícola.



Gráfica 8. Variación temporal de los sólidos disueltos en las cinco estaciones de monitoreo; (1= Apatlaco; 2= Texhuilo; 3= Asunción; 4=Trancatitla y 5= Cuemanco).

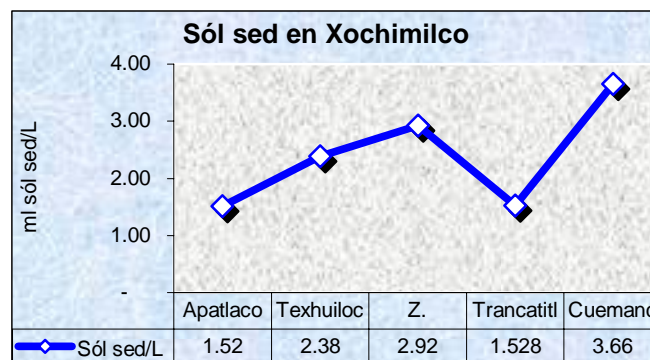
Sólidos particulados (suspendidos totales)

En Cuemanco se observó que la diferencia entre niveles es la menor de todas las estaciones, esto debido a la elevada presencia de comunidades algales (Ortíz y Ruvalcaba, 2005:50-100) que conforman el sestón, a diferencia de las demás estaciones en donde mayormente se evaluó el triptón siendo evidente en la coloración verde del material filtrado.

Es importante señalar que en general los valores de los sólidos suspendidos totales, medidos en los canales se encuentran dentro del LMP (75 mg l⁻¹) que establece la NOM-001-ECOL-1996 para embalses naturales y artificiales;

Sólidos Sedimentables

Los resultados de los sólidos sedimentables, sólo comprenden los encontrados en la profundidad debido a que en la superficie no se encontraron presentes o fueron menos del valor 0.1 ml;.



Gráfica 10. Variación de los sólidos sedimentables; fondo (◊) en las cinco estaciones de monitoreo.

Propuestas para la restauración ecológica del área natural protegida "Xochimilco"

En virtud del deterioro ecológico del lago de xochimilco, se considera relevante llevar a cabo una serie de estrategias que permitan a mediano y largo plazo, recuperar este último vestigio de los cinco grandes lagos que componían la cuenca del valle de México, para esto se investiga por la UNAM y con ayuda de la UAM nuevas formas para la restauración de este mismo.

La restauración ecológica es definida como la acción de reestablecer la condición original del sitio. (Lamb et al, 1997:366).

Se proponen 3 potenciales estrategias para la restauración del lago de Xochimilco:

Fitoremediación de los suelos salinos del lago de Xochimilco a través de plantas minorizadas

Uno de los problemas más relevantes es la deforestación y el uso intensivo del suelo por la agricultura, ganadería, y la degradación de los suelos, que junto con la disminución en la fertilidad y el deterioro de las propiedades físicas y químicas del mismo son un obstáculo para la regeneración de los suelos productivos (Siqueira et al., 1998: 241-252).

Además de la consecuente disponibilidad limitada de nutrientes, principalmente de fósforo en suelo (Hayman et al., 1975:489-495) traen como consecuencia que se inhiba el crecimiento de la vegetación, debido a que el potencial hídrico del suelo es insuficiente para sustentar el desarrollo vegetal, incluyendo las raíces, por lo que también las plantas mantienen una concentración deficiente de nutrientes. En este caso, las hifas son más eficientes para la absorción de agua y fósforo, que las raíces mismas, por lo que los HMA incrementan la tolerancia a la salinidad (Cui y Nobel, 1992:643-649) y se vuelven necesarias para el crecimiento y sobrevivencia de las plantas en suelo con deficiente suministro hídrico a los vegetales (Allen y Allen 1984).

Es posible si existen fragmentos de sustrato que puedan ser unidos, o reproducidos, para mantener los procesos ecológicos que en él se desarrollan y conservan su biodiversidad (Viana et al., 1997). En este sentido, la utilización de hongos micorrizogénos arbusculares (HMA) podrían ser una herramienta, con la que se pudiera acelerar el proceso sucesional de desarrollo de un suelo (Siqueira et al., 1998:241-252) y determinar la dirección de este después de un disturbio (Evans y Miller, 1990; Aziz. Et al., 1995:65-71).

En este caso se busca recobrar los ambientes degradados, se pueden utilizar tres técnicas:

- 1) la restauración, con el fin de llegar a la condición original del sitio.
- 2) La rehabilitación, donde se incluyen algunas especies exóticas para superar la degradación (con fines ecológicos y económicos)
- 3) la recuperación, donde se utilizan solo especies exóticas (con fines también ecológicos y económicos) (Lamb et al., 1997).

En este sentido, la presencia de inóculos micorrizogénos puede ser un factor importante para promover el establecimiento y mantenimiento de especies, ocasionando un relajamiento en la competencia entre malezas (Eissenstat y Newman, 1990:95-99), colonizadoras de suelos agrícolas abandonados, al promover la sobrevivencia y darles ventajas competitivas a plántulas bajo condiciones nutricionales e hídricas limitantes (Allen, 1991:184; Gange et al., 1993:616-622). Asimismo, es necesario subrayar que una problemática de salinidad del suelo es en realidad un problema de falta de disponibilidad hídrica para las plantas, ya que las sales retienen el agua y los vegetales no pueden captarla.

Los hongos micorrizogénos son el mayor componente de la microbiota del suelo en muchos ecosistemas y aunque están limitados en sus habilidades como saprobios (Harley y Smith, 1983:483), desempeñan un papel importante en ecosistemas naturales y manejados; incrementan la superficie de absorción de nutrientes de las raíces, son antagonistas de

parásitos, mejoran la estructura del suelo, transportan carbono de las raíces a otros organismos del suelo, son bioindicadores de la calidad del ambiente y son una importante fuente de animales (Brundett et al., 1996:374). Además se ha señalado que estos hongos incrementan la resistencia de la planta al ataque de patógenos (Fitter y Garbaye, 1994:123-132) o a factores adversos como la sequía (Allen, 1991), incluso reducen el efecto del forrajeo subterráneo (Fitter y Garbaye, 1994:123-132) y modifican el efecto de la competencia. Por otro lado, se sabe también que las relaciones hídricas de las plantas son alteradas de alguna manera por las interacciones micorrízicas y a pesar de que los mecanismos no se han determinado aun, la mayoría de los efectos están relacionados a cambios en el *status* nutricional (Smith y Read, 1997:605).

Lo que se pretende estudiar son especies de gramínea resistentes a la salinidad o sequía, los cuales son, (fenómenos funcionalmente equivalentes para la planta, al estar limitada a la disponibilidad hídrica para las raíces

Biodigestor anaerobio

Que involucra un tratamiento biológico dentro de un contenedor, por lo cual los procesos ocurren en un volumen y tiempo definidos, en estos procesos es de interés conocer la tasa a la cual la materia orgánica es removida y la tasa a la que se produce la biomasa de microorganismos anaerobios. En este diseño de un biodigestor, es necesario tener en consideración los siguientes aspectos:

- a) requerimiento nutricional de los microorganismos.
- b) Factores ambientales que afectan el desarrollo microbiano.
- c) Metabolismo de los distintos microorganismos involucrados
- d) Relación entre crecimiento bacteriológico y degradación del substrato orgánico.

Este proyecto se puede realizar con un biodigestor anaerobio comercial como el diseñado por la empresa “rotoplas” los cuales recibirán aguas residuales (descarga doméstica proveniente de casa habitacional).

Requeriría varias semanas y hasta meses para estabilizarse ya que es necesario que la biomasa microbiana se vaya adhiriendo gradualmente a las superficies de los soportes sólidos de Pet contenidos en el filtro interno, con las cuales toma contacto las aguas residuales conforme se desplaza entre ellos.

Humedales artificiales

Los humedales tienen un gran potencial de autodepuración gracias a la vegetación, el suelo y la flora bacteriana que vive. Desde hace años esto se aprovecha por construir sistemas que, imitando la naturaleza, depuran las aguas.

Para realizar el proceso se requiere de especialistas en diseño para elaborar el contenedor que aísla el suelo que contiene el soporte, así como también se necesitan plantas que enraizarán en esos soportes, los cuales una vez que crezcan hacen la función de la fitoremediación y depuración del agua.

Este tipo de humedales pueden depurar metales pesados como cadmio, arsénico cromo y plomo que son los más abundantes. En el caso de Xochimilco, la mayor parte de agua residual es de uso doméstica, aunque también es industrial (principalmente de pinturas). La Dirección General de Obras Hidráulicas realizaba detecciones mensuales en el lugar, pero lo resolvían a partir de verter químicos en una laguna de estabilización en lugar de dar seguimiento a una planta artificial de remediación. Las hortalizas que hoy se cultivan en las chinampas tienen altas concentraciones de metales

pesados y se busca con los humedales artificiales que los metales pesados presentes en las lechugas —que es lo que más se cultiva en la zona— desaparezcan en un 99 por ciento.

Conclusiones

La calidad del agua es inadecuada para uso agrícola, abrevadero y riego de hortalizas y flores los contaminantes que llegan a esta zona son diversos, debido a que la planta del cerro de la estrella, presenta un tratamiento deficiente de las aguas residuales, y éstas van a dar a la zona chinampera, agregando a ellas los residuos líquidos de origen doméstico, asimismo se arrojan a los canales gran cantidad de basura, lo que provoca la elevada concentración de materia orgánica y de nutrimentos por lo cual los canales chinamperos cada día aumentan su nivel de eutrofización y de contaminación inorgánica. Del mismo modo que los suelos, ya que son regados con esta agua y su fertilidad se ve afectada, además de elevar considerablemente su salinidad, es por esto que se proponen 3 estrategias viables para la restauración, tanto de suelo como del agua de los canales ya que en la cuenca del Valle de México, es de los escasos vestigios acuáticos que aun existen, que sin embargo, se encuentra en grave peligro de desaparecer en virtud al manejo inadecuado de los recursos naturales de este sitio y a las deficientes estrategias políticas de las autoridades las cuales por un lado no controlan los asentamientos humanos de la zona, y por otro lado no se revisa el funcionamiento adecuado de las plantas de tratamiento que vierten sus aguas a los canales de la zona chinampera de Xochimilco, se sabe en virtud de los estudios realizados, de la pérdida de la biodiversidad de este gran pulmón del distrito federal, es por este motivo que se consideró área natural protegida por la gran cantidad de especies tanto de fauna como de vegetación, ya que no existe en otro lugar un sistema con características similares a la zona chinampera de Xochimilco. Al llevar a cabo estrategias de recuperación ecológica a mediano plazo, le permitirán a este sistema acuático subsistir por muchos años más.

Bibliografía

Alfaro, F. G. (1989). Las Aguas de Xochimilco. CIDEX – UAM Xochimilco, México D.F. Trabajo Modular, 96-97 p.

Arcos R. E. Cabrera M. Pérez M. Ruiz y S. Soriano (1995). Evaluación de la Calidad del Agua de los Canales Chinamperos de Xochimilco, Posibles Alternativas de Usos y Tratamiento. Memorias, II Seminario Internacional de Investigación de Investigadores de Xochimilco, 76-82 p.

Báez, P. y Belmonte, R. (1975). Modificación de la Calidad las Aguas del lago de Xochimilco, por el Uso de aguas Negras en su recarga. I Congreso Iberoamericano del Medio Ambiente, México.

Bastida, A. y I. Maciel (1986). Estudio Físico y Económico-social de Xochimilco. Tesis Maestría en Ciencias. Facultad de Filosofía y Letras. UNAM. México D.F 120 p.

Caballero, M. M. S. G. Lozano, B. G. Ortega J. F. Urrutia, (1995). Historia Ambiental del Sistema Lacustre del Sureste de la Cuenca de México. Memorias, II Seminario Internacional de Investigación de Investigadores de Xochimilco: 76-82.

Canabal, C. (1991). Rescate de Xochimilco, México, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, Departamento del Distrito Federal 25 P.

Celada T. E. (1993.) Efecto de la Materia Orgánica en Suelos de Chinampa de Xochimilco, México, D. F. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias UNAM. México, 151 p.

Espinosa – Victoria, D 2002. Dialogo molecular: hongos micorrizicos arbuscular- raiz. En: ecología, fisiología y biotecnología de La micorriza arbuscular. A. Alarcon y R Ferrara- Cerrato (Eds.) IRENAT colégio de posgrados. Montecillos, Edo. De México.Mundi Prensa, México.pp:93-116.

Ezcurra, E. (1990). De las chinampas a la megalópolis: El medio ambiente en la cuenca de México. Serie: La ciencia desde México. SEP. FCE_ CONACYT. México , D.F. 119pp

Fontúrbel, R. F. (2004). La Eutrofización Localizada en el Lago Titicaca, La Paz, Bolivia, Universidad Loyola, Revista Ciencias de la Salud # 15 pp. 17-26.

Hernández, M. A. (1993). Abastecimiento y distribución de Aguas. 3ª ed., Editorial Paraninfo S.A., Colección Señor # 6, España, 80-89 p.

Jiménez, O. J. (1995). Componentes Principales de la Tecnología Chinampera, En Rojas Rabiela T. (coordinador) 1995. Presente, Pasado y Futuro de las Chinampas, Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social, Patronato del Parque Ecológico de Xochimilco, México D.F., CIESAS, 324 p.

Jiménez, C. B. (2002). La contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada. Ed. Limusa, Colegio de Ingenieros Ambientales de México, A. C., Instituto de Ingeniería de la UNAM y FEMISCA. México, 925 p.

Lamb D., J. Parrotta, R. Keenan y N. Tucker.1997. Rejoining habitat remnants: restoring degraded rainforest Lands. En: tropical forest remnants. Ecology, management, and conservation of fragmented communities. Laurances W.F. and R.O. Bierregaard (Eds). The University of Chicago Press. Chicago. p. 366-385.

Levene, H. (1960). Robust Tests for Equality of variances. Contributions to Probability and Statics: Essays in honor of Harold Hotelling. Ed. I. Olkin, S.G. Ghurye, W. Hoeffding, W.G. Madow, and H. B. Mann.. California: Stanford University Press 278-292 p.

Lind O. (1985). Hand-book of common Methods in Limnology 2ª Ed, the C.V. Mosby Company, London, 199 p.

Marques, D. M. J. (1991). Probabilidad y estadística para ciencias químico-biológicas. Ed. McGraw-Hill. México. 657 p.

Metcalf y Eddy (1977). Tratamiento y Depuración de las Aguas Residuales 2ª edición, Ed Labor, Barcelona, España 237-253.

NOM-001-ECOL-1996. Norma Oficial Mexicana, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas residuales en aguas y bienes nacionales. Publicada en Diario Oficial de la Federación de fecha 6 de enero de 1997. México. 31 p

NMX-AA-034-SCFI-2001. Norma Mexicana, que establece la guía de presentación de métodos alternos de métodos de análisis de agua. Publicada en Diario Oficial de la Federación de fecha 17 de abril de 2001.35 p

Olabode I. I. (2000). Purificación de las Aguas Residuales Tratadas de los Canales de Xochimilco Para el Uso de Riego Agrícola: México, Informe Final de Servicio Social UAM Xochimilco. 53 p.

Ortíz, R. B. y Ruvalcaba G. A. (2005). Evaluación del Estado Trófico del Lago de Xochimilco, Méx. Tesis de Licenciatura, FES-Zaragoza, UNAM, México D.F. 105 p.

Pedraza, G. M. (1995). Comparación Hidrológica de los Canales de Dos Zonas Chinamperas de la Región Xochimilco-Tláhuac a través de sus Parámetros Físicos-Químicos. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM, México D.F. 64 p.

Ramalho, R. S. (1991). Tratamiento de Aguas Residuales. Ed. REVERTE S.A. Barcelona España, 20-31pp

Rodier, J. (1990). Análisis de las Aguas, ed. Omega, Barcelona, España 1059 p.

Salgado-Ugarte, I. H. (1992). El Análisis Exploratorio de Datos Biológicos. Fundamentos y Aplicaciones. Marc Ed. Y ENEP. Zaragoza UNAM, México 243p.

Stephan- Otto, E. (2002) y siempre seguí sembrando. Facultad de ciencias políticas y sociales, UNAM. México, DF. 141Pp.

Snoeyink V. L., (1987). Química del Agua, Ed. Noriega editores, México D.F. 508 p.

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1996) (APHA, AWWA, WPCF). (Métodos Normalizados para el Análisis del Agua y Aguas Residuales), 18ª Edición. E. U. 2310, 2540-2550, 4500, 5210-5220.

Tebbutt, T. H. Y. (1990). Fundamentos de Control de la Calidad del Agua. Limusa, Noriega Editores. México. 239p.

Trejo, C. A. (1984). Estudio Edafológico del Ejido Grande de Xochimilco, Tesis Facultad de Ciencias, UNAM, México. 111p.

Vidrio, C. M. y J. G. Ávila (2000). Delegación Xochimilco, En: La Ciudad de México en el Fin del Segundo Milenio, Garza Villareal, G. Coord. Departamento del Distrito Federal, México. Colegio de México-Gobierno del Distrito Federal (COLMEX-GDF). México, D, F. 637-643.

Wetzel, R.G. (2001). Limnology. Lake and River Ecosystems. 3ª ed. Academic Press. California. 1006 p.