



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA

"ESTIMACIÓN DE LA SALINIDAD DEL LAGO DE
XOCHIMILCO A DOS DIFERENTES NIVELES
(SUPERFICIE Y FONDO) CONSIDERANDO
CIERTOS PARÁMETROS QUÍMICOS"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE BIÓLOGO

P R E S E N T A :

CRUZ MARTÍNEZ PATRICIA

Director de Tesis: Biól. Raúl Arcos Ramos





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Agradecimientos

Agradezco al Biól. Raúl Arcos Ramos por su invaluable ayuda y apoyo para la elaboración y culminación de este proyecto, así como por cada consejo brindado.

Agradezco al M. en C. Armando Cervantes Sandoval por las facilidades otorgadas durante el análisis de los datos estadísticos de este trabajo, también por sus charlas amenas y por los consejos brindados.

A mis sinodales:
M. en C. Justo Salvador Hernández Aviles,
Biól. Eloisa A. Guerra Hernández y
a la Biól. Aida Zapata Cruz,
por sus aportaciones tan valiosas
que hicieron a esta tesis.

Dedicatoria

A mi padre Mario, por su incondicional apoyo, paciencia y cariño que siempre me ha brindado a lo largo de mi vida.
Gracias papi.

A mi madre Teresa, quien me dio la vida, que con sus palabras de aliento y consejos me ha enseñado a mantenerme siempre erguida, Por ser mi mejor amiga y confidente.
Gracias mami.

A mis hermanos Mario y Enrique, por ser mis mejores amigos, por sus consejos, por señalar mis errores y compartir mi felicidad.
Gracias hermanitos.

Dedico a mi familia esta tesis, por apoyarme incondicionalmente en la toma de cada una de mis decisiones, por estar siempre a mi lado, por cada consejo que me brindan, otorgarme gran fortaleza y todo lo necesario durante toda mi vida para llegar hasta donde he logrado, pero sobre todo por comprender mis locuras.
Los amo.

ÍNDICE

	Pág.
1.-RESUMEN.....	11
2.- INTRODUCCIÓN.....	12
3.- MARCO TEÓRICO.....	16
3.1 Importancia de la calidad del agua.....	16
3.2 Sistemas Epicontinentales (lagos).....	16
3.3 Parámetros físicos y químicos de los sistemas Epicontinentales.....	20
3.3.1 Transparencia y Profundidad.....	20
3.3.2 Temperatura.....	21
3.3.3 Potencial de Hidrógeno (pH).....	22
3.3.4 Conductividad eléctrica.....	23
3.3.5 Oxígeno Disuelto.....	23
3.4 Salinidad.....	24
3.5 Origen de la salinidad.....	25
3.6 Efectos del medio ambiente sobre la salinidad.....	27
3.7 Distribución de la salinidad a nivel mundial.....	27
3.8 Principales aniones y cationes en aguas que determinan la salinidad del agua	28
3.8.1 Carbonatos.....	29
3.8.1 Bicarbonatos.....	29
3.8.2 Dureza.....	30
3.8.3 Cloruros.....	31
3.8.4 Sulfatos.....	32
3.9 Análisis univariado (ANDEVA).....	33
3.10 Statgraphic.....	34
3.11 Análisis estadístico multivariado de varianza.....	35
3.12 Antecedentes.....	37

3.12.1 Antecedentes Históricos.....	37
3.12.2 Antecedentes de trabajos realizados en la zona de estudio...	40
3.13 Zona de estudio.....	44
3.13.1 Ubicación del Lago de Xochimilco.....	45
3.13.2 Geología y Litología.....	45
3.13.3 Fisiografía.....	46
3.13.4 Hidrología.....	46
3.13.5 Clima.....	47
3.13.6 Flora.....	48
3.13.7 Fauna.....	48
4.- PROBLEMÁTICA.....	49
5.- JUSTIFICACIÓN.....	51
6.- HIPÓTESIS.....	52
7.- OBJETIVOS.....	53
7.1 Objetivo general.....	53
7.2 Objetivos particulares.....	53
8.-MÉTODOS.....	54
8.1 Selección de los sitios de muestreo.....	54
8.2 Trabajo de campo.....	54
8.3 Trabajo de laboratorio.....	58
8.4 Trabajo de gabinete.....	59
9.-RESULTADOS.....	60
9.1 Discusión de parámetros físicos y químicos en agua.....	60
9.1.1 Profundidad.....	61
9.1.2 Transparencia.....	62
9.1.3 Temperatura.....	63
9.1.4 Potencial de Hidrógeno (pH).....	66
9.1.5 Conductividad eléctrica.....	70
9.1.6 Oxígeno disuelto.....	74

9.1.7 Carbonatos (CO ₃) y Bicarbonatos.....	77
9.1.8 Cloruros (Cl ⁻).....	82
9.1.9 Dureza.....	85
9.1.10 Sulfatos (SO ₄).....	88
10. Discusión del análisis estadístico multivariado de componentes principales.....	90
11.- CONCLUSIONES.....	95
12. RECOMENDACIONES.....	96
13.- REFERENCIAS.....	97
14.- ANEXOS.....	107
14.1 Diagrama Metodológico.....	107
14.2 Determinación de oxígeno disuelto por el método Winkler.....	108
14.3 Determinación de la dureza por el método titulométrico.....	109
14.4 Determinación de CO ₃ y HCO por el método titulométrico.....	110
14.5 Determinación de cloruros por el método titulométrico.....	111

Anexo de Mapas

	Pág
Mapa No. 1 Ubicación de los Lagos en el valle de México durante la época prehispánica.....	40
Mapa No. 2 Ubicación de la zona de estudio.....	46

Anexo de Tablas

	Pág
Tabla No. 1 Composición Media de los aniones y cationes presentes en las Aguas Fluviales del Mundo.....	28
Tabla No. 2 Aniones y Cationes que causan la dureza del agua.....	30
Tabla No. 3 mg/L que determinan el tipo de dureza del agua.....	31
Tabla No. 4 Parámetros determinados " <i>in situ</i> " y técnicas empleadas en campo.....	58
Tabla No. 5 Parámetros evaluados en laboratorio, técnicas empleadas.....	59
Tabla No. 6 Valores Promedios de los parámetros físicos y químicos de las cinco zonas de estudio.....	60
Tabla No. 7 Valores máximos, mínimos y promedio de la conductividad eléctrica para determinar la salinidad en el sistema en las zonas de monitoreo.....	71
Tabla No. 8 Valores de los componentes con mayor peso dentro del sistema a nivel superficie.....	92
Tabla No. 9 Valores de los componentes con mayor peso dentro del sistema a nivel fondo.....	93

Anexo de Gráficas

	Pág.
Gráfica No. 1 Análisis temporal de la profundidad en los sitios de muestreo del lago de Xochimilco.....	62
Gráfica No. 2 Análisis temporal de la transparencia en los sitios de muestreo del lago de Xochimilco.....	64

Gráfica No. 3 Análisis temporal de la temperatura en los sitios de muestreo del lago de Xochimilco en el nivel superficie.....	65
Gráfica No. 4 Análisis temporal de la temperatura en los sitios de muestreo en el lago de Xochimilco en el nivel fondo.....	66
Gráfica No. 5 Análisis de cajas múltiples con muescas para temperatura por estaciones de muestreo a nivel superficie.....	66
Gráfica No. 6 Análisis de cajas múltiples con muescas para temperatura por estaciones de muestreo a nivel fondo.....	67
Gráfica No. 7 Análisis temporal de pH en los sitios de muestreo en el lago de Xochimilco en el nivel superficie	68
Gráfica No. 8 Análisis temporal de pH en los sitios de muestreo en el lago de Xochimilco en el nivel fondo	68
Gráfica No.9 Análisis de cajas múltiples con muescas para pH nivel superficie.....	68
Gráfica No.10 Análisis de cajas múltiples con muescas para pH nivel fondo.....	69
Gráfica No. Análisis temporal de oxígeno disuelto en las estaciones de muestreo en el lago de Xochimilco en el nivel superficie	71
Gráfica No.12 Análisis temporal del oxígeno disuelto en los sitios de muestreo del lago de Xochimilco en el nivel fondo	71
Gráfica No.13 Análisis de cajas múltiples con muescas para oxígeno disuelto a nivel superficie.....	72
Gráfica No.14 Análisis de cajas múltiples con muescas para oxígeno disuelto a nivel fondo.....	72
Gráfica No.15 Análisis temporal de la conductividad eléctrica en los sitios de muestreo en el lago de Xochimilco en el nivel superficie..	74
Gráfica No.16 Análisis temporal de la conductividad eléctrica en los sitios de muestreo en el lago de Xochimilco en el nivel fondo	74
Gráfica No.17 Análisis de cajas múltiples con muescas para conductividad eléctrica a nivel fondo.....	75

Gráfica No.18 Análisis de cajas múltiples con muescas para conductividad eléctrica a nivel superficie.....	75
Gráfica No.19 Análisis temporal de carbonatos en los sitios de muestreo en el lago de Xochimilco en el nivel superficie	77
Gráfica No.20 Análisis temporal para carbonatos en los sitios de muestreo en el lago de Xochimilco en el nivel fondo	77
Gráfica No.21 Análisis de cajas múltiples con muescas para carbonatos a nivel superficie.....	78
Gráfica No.22 Análisis de cajas múltiples con muescas para carbonatos a nivel fondo.....	78
Gráfica No. 23 Análisis temporal para bicarbonatos en los sitios de muestreo en el lago de Xochimilco en el nivel superficie	79
Gráfica No. 24 Análisis temporal para bicarbonatos en los sitios de muestreo en el lago de Xochimilco en el nivel fondo	79
Gráfica No. 25 Análisis de cajas múltiples con muescas para bicarbonatos nivel superficie.....	80
Gráfica No. 26 Análisis de cajas múltiples con muescas para bicarbonatos nivel fondo.....	80
Gráfica No. 27 Análisis temporal para cloruros en los sitios de muestreo en el lago de Xochimilco en el nivel superficie	82
Gráfica No. 28 Análisis temporal para cloruros en los sitios de muestreo en el lago de Xochimilco en el nivel fondo	82
Gráfica No. 29 Análisis de cajas múltiples con muescas para cloruros nivel superficie.....	83
Gráfica No. 30 Análisis de cajas múltiples con muescas para cloruros nivel fondo.....	83
Gráfica No. 31 Análisis temporal para dureza en los sitios de muestreo en el lago de Xochimilco en el nivel superficie	85
Gráfica No. 32 Análisis temporal para dureza en los sitios de muestreo en el lago de Xochimilco en el nivel por estaciones de muestreo fondo	85

Gráfica No. 33 Análisis de cajas múltiples con muescas para dureza nivel superficie.....	86
Gráfica No. 34 Análisis de cajas múltiples con muescas para dureza nivel fondo.....	86
Gráfica No. 35 Análisis temporal para sulfatos en los sitios de muestreo en el lago de Xochimilco en el nivel superficie.....	88
Gráfica No. 36. Análisis temporal para sulfatos en los sitios de muestreo en el lago de Xochimilco en el nivel fondo	88
Gráfica No. 37 Análisis de cajas múltiples con muescas para sulfatos nivel superficie.....	89
Gráfica No. 38 Análisis de cajas múltiples con muescas para sulfatos nivel fondo.....	89
Gráfica No. 39 Relación de los dos componentes con mayor peso dentro del sistema acuático con los demás parámetros físicos y químicos evaluados a nivel superficie.....	91
Gráfica No. 40 Relación de los dos componentes con mayor peso dentro del sistema acuático con los demás parámetros físicos y químicos evaluados a nivel fondo.....	92

Anexo de fotografías

	Pág.
Foto No. 1 Estación No. 1 Canal Nacional Cuernavaca.....	55
Foto No. 2 Estación No. 2. Club España.....	55
Foto No. 3 Estación No. 3. . Laguna de Texhuilo.....	56
Foto No. 4 Estación No. 4 Canal Apatlaco.....	56
Foto No. 5 Estación No. 5. Laguna de Asunción.....	57
Foto No. 6 Estación Cuernavaca.....	112

Foto No. 7 Estación Cuemanco (zona donde se conecta agua residual industrial y del lago).....	112
Foto No. 8 Estación Club España.....	113
Foto No. 9. Estación Club España (zona de recreación).....	113
Foto No. 10. Estación Texhuilo.....	114
Foto No. 11. Estación Texhuilo.....	114
Foto No. 12 Estación Apatlaco.....	115
Foto No. 13 Estación Apatlaco.....	115
Foto No. 14 Estación Asunción (Zona Urbana).....	116
Foto No. 15 Estación Asunción (Área urbana).....	116
Foto No. 16. Estación Asunción. Se puede observar la contaminación del lago por basura.....	117
Foto No. 17 Estación Asunción.....	117
Foto No. 18 Fauna endémica del lago de Xochimilco.....	118
Foto No. 19. Fauna que se encuentra en la zona chinampera de lago de Xochimilco.....	118
Foto No. 20. Ahuejotes y lirio acuático típicos de la zona lacustre del lago de Xochimilco.....	119
Foto No. 21. Determinación de profundidad y transparencia.....	119
Foto No. 22. Determinación de conductividad eléctrica, pH.....	120
Foto No. 23. Análisis de carbonatos, bicarbonatos.....	120
Foto No. 24. Determinación de cloruros.....	121

ABREVIATURAS, SÍMBOLOS Y SIGLAS

ABREVIATURAS

ABR.	Abril.
AGO-AGT.	Agosto.
cm.	Centímetro.
CO ₂	Bióxido de carbono.
Conduc.	Conductividad.
ECOL.	Ecología.
ENE.	Enero.
et al.	Colaboradores.
etc.	Etcétera.
F-Fond	Fondo.
FEB.	Febrero.
JUL.	Julio.
JUN.	Junio.
Km.	Kilómetro.
Km ²	Kilómetros cuadrados.
L-1	recíproco de litro.
LMP	Límite máximo permitido.
LN.	Latitud norte.
LO.	Longitud oeste.
mts.	Metro.
msnm.	Metros sobre el nivel del mar.
mm.	Milímetros.
MAR-MZO	Marzo.
MAY.	Mayo.
mg.	Miligramos.
Mg/L ⁻¹	miligramos por litro.
MO.	Materia orgánica.
N.	Norte.
O.	Oeste.
80 ´s	Años Ochenta.
O.D.	Oxígeno disuelto.
pH	Potencial de hidrógeno.
ppm.	Partes por millón.
S-Sup.	Superficie.
SEP	Septiembre.
Sól.	Sólidos.
Sól. dis.	Sólidos disueltos.
Sól. Totales	Sólidos totales.
sp.	Especies
Temp.	Temperatura.

Transp. Transparencia.

SÍMBOLOS

H ₂ O	Agua.
S	Azufre.
Al	Aluminio.
HCO ₃ ⁻	Bicarbonato.
Ca	Calcio
CO ₃ ⁻	Carbonatos.
Cl ⁻	Cloruros.
CO ₂	Dióxido de carbono.
°C	Grados centígrados.
PO ₄ ⁼	Fosfatos.
Fe	Hierro.
L/s	Litros por segundo.
Mg	Magnesio.
Mn	Manganeso.
N ₂	Nitrógeno.
O ₂	Oxígeno.
pH	Potencial de hidrógeno.
p.	Probabilidad.
SO ₄ ⁻	Sulfatos.
XIX	Siglo XIX.
µmho cm ⁻¹	micromho por recíproco de centímetro.
χ _c ²	Ji cuadrada calculada.

SIGLAS

ANDEVA	Análisis de varianza.
DDF	Departamento del Distrito Federal.
DGCOH	Dirección General de Construcción y Operaciones Hidráulicas.
GDF	Gobierno del Distrito Federal.
INEGI	Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
NOM	Norma Oficial Mexicana.
SEP	Secretaría de Educación Pública.
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México.
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.

1. RESUMEN

El trabajo que se presenta a continuación se realizó en la zona lacustre de Xochimilco, que han tenido gran importancia desde la cultura azteca, colonial y del presente siglo XXI.

El objetivo del estudio que se llevo a cabo, consistió en evaluar la salinidad del sistema lacustre considerando los siguientes aniones y cationes (CO_3^- , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^-). Se realizaron muestreos mensuales en cinco puntos de monitoreo representativos de la zona industrial, agrícola y urbana, en el período comprendido entre los meses de Marzo a Octubre del 2007. Además se llevó a cabo la determinación de temperatura, transparencia, pH, conductividad eléctrica, dureza total y oxígeno disuelto.

Con base en los resultados obtenidos, el lago de Xochimilco es un sistema determinado por el tipo de vertimiento que recibe. De acuerdo a la NOM-001-ECOL-1996, el pH rebaso los LMP (5.5-10) en todo el muestreo, la temperatura varió $\pm 5^\circ\text{C}$, con predominio de los carbonatos sobre los bicarbonatos, y valores de conductividad eléctrica bajos que determinan una salinidad tipo dos en el sistema lacustre del lago de Xochimilco.

2. INTRODUCCIÓN

La zona metropolitana de la ciudad de México era considerada hasta principios del siglo XX como uno de los lugares más bellos para vivir pero debido a los cambios por la acelerada expansión de la mancha urbana ha cambiando totalmente su panorama. Ocasionando que lagos tan importantes como el de Xochimilco, considerado sitio de subsistencia para sus habitantes por las actividades que se desarrollaban desde épocas prehispánicas (actualmente sitio agrícola, industrial y turístico) sufra severos daños ambientales y se pongan en riesgo la flora y fauna endémicas. (SEP, 1994).

En la época prehispánica, el lago de Xochimilco era sostenido por cuatro manantiales de gran importancia; sus aguas servían para regar los cultivos y eran morada de aves nativas y migratorias, además proporcionaba agua potable a la capital; pero la sobreexplotación del acuífero agotó el caudal de los manantiales y provocó hundimientos en los terrenos y contaminación en los canales del lago (SEP., 1994; Ezcurra, 1996).

En la década de los cincuentas, como consecuencia del rápido crecimiento demográfico y la excesiva extracción de agua, la situación de la zona lacustre de Xochimilco se volvió crítica, al acelerarse el proceso de desecación de los pozos del lago. A partir de 1975 el caudal de los diversos canales que alimentan el lago de Xochimilco disminuye de manera alarmante. Es así cuando en la década de los 80´s el Gobierno del D.F. pone en marcha el "Plan de Rescate Ecológico de Xochimilco" para la recuperación de la zona (Rodríguez, 2005).

Sin embargo, en la actualidad, dentro de la zona chinampera del lago de Xochimilco se han detectado 19 asentamientos

irregulares, esto implica que todos los desechos urbanos (de regaderas, de origen sanitario, de lavado de trastes) sean vertidos sin ningún control al sistema lacustre. De la misma manera, las industrias aledañas vierten sus aguas residuales, a ello se suman las actividades agrícolas que utilizan fertilizantes para obtener mejores cultivos y las zonas de recreación contiguas al lago que no cuentan con un sistema de drenaje (Hernández, 1992).

La importancia del recurso hídrico en la economía aumenta día con día y el abastecimiento del agua dulce se hace cada vez más difícil, en parte por el rápido crecimiento de la población y del nivel de vida así como por el desarrollo acelerado de las técnicas industriales modernas (Rodier, 1990).

Las aguas residuales que proceden de industrias, comercio, agricultura y el sector doméstico, originan cambios negativos en las comunidades acuáticas y terrestres del lago, así como de la concentración de los parámetros químicos del mismo (cloruros, carbonatos, bicarbonatos y sulfatos, dureza) (Metcalf, 1981).

3. MARCO TEORICO

3.1 Importancia de la Calidad del Agua.

Las necesidades de la población moderna, como la intensa extracción de las aguas superficiales ha ocasionado la contaminación del agua de pozos y manantiales. Las causas de ésta son muy extensas; haciéndola cada vez más variada y perjudicial para la supervivencia de todos los organismos acuáticos (Fair, 1981). Como resultado de esto, la cantidad y calidad del agua es alterada haciéndola inadecuada para otros fines, como por ejemplo para fines comerciales o recreativos, etc. (Fair, 1981).

Así, se puede definir la contaminación como toda aquella alteración de las características físicas, químicas y biológicas del medio ambiente, que provoca trastornos para la vida humana, animal y vegetal. Los efectos que produce están basados en el tipo de sustancia, concentración y metabolismo. En general, su característica relevante es que son acumulables, de tal manera que su efecto se manifiesta al cabo de cierto tiempo de exposición (Jiménez, 2001).

Tiene dos orígenes: natural o artificial (donde el hombre usa los mantos naturales como receptores de sus desechos industriales, domésticos y agrícolas). Este último es el principal problema en las aguas ya que son vertidos materiales nocivos y patógenos que perjudican a la flora, fauna y por tanto a la vida humana (Rodier, 1990).

De acuerdo a su naturaleza, los contaminantes del agua se clasifican en: químicos, biológicos y físicos.

- ❖ Químicos. Los compuestos químicos provienen de los drenajes de minas, desechos solubilizados de la agricultura, derrames de petróleo, pesticidas, aguas residuales municipales

y desechos líquidos industriales. Producen efectos diversos y pueden ser de origen natural y sintético. Algunos son desechados directamente, otros se forman por la reacción entre diferentes compuestos en el agua y una pequeña fracción se forma durante el procesamiento del agua.

- ❖ **Biológicos.** Son seres vivos que provocan enfermedades en el hombre u otras especies. Las más comunes en el hombre son la tifoidea, salmonelosis, disentería, cólera y helmintiasis. Los agentes que las causan entran al agua a través de las heces de humanos o animales.

- ❖ **Físicos.** Son alteraciones de las propiedades físicas del agua, temperatura, color, etcetera. Su origen y efectos son diversos.

De acuerdo con el tamaño existen tres tipos de contaminantes:

- ❖ **Materia suspendida.** Corresponde a moléculas en fase dispersa con diámetro equivalente entre 1 y 100 μm .

- ❖ **Material coloidal.** Es materia suspendida con características similares a la materia disuelta. Tiene diámetro equivalente entre 10^{-3} y 1 μm y se caracteriza por ser de sedimentación muy lenta.

- ❖ **Materia disuelta.** Son moléculas o iones disueltos con diámetro equivalente entre 10^{-5} y 10^{-3} μm .

En general, la dificultad para eliminar los contaminantes es de mayor a menor en este orden: disueltos, coloidales y suspendidos. (Romero 1999; Jiménez, 2001).

3.2 Sistemas Epicontinentales

En México existen una gran cantidad de cuerpos de agua epicontinentales, cuya superficie ha sido estimada en 1.3 millones de hectáreas, que incluyen sistemas lénticos (los lagos). Sin embargo, en los últimos 50 años la construcción de presas y bordos se ha acelerado notablemente, debido a la topografía accidentada del suelo mexicano y a la creciente demanda de agua por el aumento de la población (Arredondo et al, 1992).

Desde el punto de vista limnológico estos embalses artificiales presentan características particulares, en la cola del embalse se observa una influencia de tipo horizontal que está dada por la presencia de afluentes como ríos, canales o manantiales; cerca de la cortina del vaso de la cuenca propiamente dicha domina la fase limnética (Margalef et al, 1976). Estos ecosistemas acuáticos tienen un tiempo de vida corto, ya que evolucionan de manera rápida convirtiéndose en trampas que retienen gran cantidad de material sedimentario alóctono y autóctono, lo que propicia que la cubeta se azolve disminuyendo su profundidad media. Durante décadas han sido utilizados de manera tradicional como almacén de agua para actividades agrícolas, para uso del ganado, doméstico y recreación. No obstante, siempre han servido como productores de peces y flora de importancia económica (Arredondo et al, 1992).

En estos sistemas es posible reconocer tres etapas de sucesión ecológica alternadas, estas son:

- Fase de transición: corresponde a un estado inestable de la masa de agua, donde es posible distinguir dos zonas delimitadas en la columna de agua (limnética y trofogénica) que están limitadas por la profundidad de penetración de la luz y que varía entre los 10 y 20cm. Así como la (afótica o trofolítica), donde se observa un aumento en el consumo de oxígeno debido a la

respiración de la flora y la fauna, así como a la constante mineralización de la materia orgánica (Ponce y Arredondo, 1986).

- Fase de dilución: se presenta una mayor estabilidad del sistema y es cuando el embalse alcanza su nivel de máxima inundación. Los ingresos al sistema son la precipitación, el aporte de material alóctono y las excretas de los animales que concurren a saturar el cuerpo de agua. Una característica de este período, es la salida de agua del sistema para fines agrícolas, el consumo para el ganado y la evaporación. La transparencia aumenta a medida que avanza esta etapa y bajo estas condiciones de estabilidad, en días de fuerte insolación y ausencia de vientos, es posible detectar termoclinas, con una curva positiva de oxígeno disuelto que es característica de ambientes eutróficos y que permite la diferenciación de tres etapas en la columna de agua.

- Fase de concentración: es la más crítica del embalse, ya que las condiciones son desfavorables para el crecimiento de los organismos, se caracteriza por una rápida disminución en el volumen. Donde los cambios limnológicos están marcados por un aumento en los valores de la conductividad, alcalinidad, dureza total y los nutrimentos (Arredondo, 1992).

Las aguas epicontinentales incluyen una rica variedad de ecosistemas, muchos de los cuales están física y biológicamente conectados al flujo del agua y el movimiento de las especies. Estas conexiones son fundamentales para el mantenimiento de la biodiversidad y el bienestar de las comunidades humanas. Las diferencias en la química del agua, transparencia, velocidad o turbulencia de la corriente, así como la profundidad y morfometría del cuerpo acuático, contribuyen a la diversidad de los recursos biológicos que se presentan en las aguas epicontinentales. La preocupación sobre el mantenimiento de la biodiversidad de las aguas epicontinentales esta basado en la pérdida de los hábitats (degradación, cambios en la calidad y fragmentación), de especies,

así como la sobreexplotación e introducción de especies exóticas (Arriaga y col, 2002).

En realidad, la distribución del agua dulce es desigual entre las regiones naturales y económicas del planeta. Cerca del 75% de la población humana se concentra en regiones donde sólo existe el 20% de la disponibilidad del agua. Por el acelerado deterioro de los recursos acuáticos, se espera que para el 2025, el 80% de la población sufra la escasez de agua. A pesar de los esfuerzos por para manejar la distribución de este recurso, la urbanización y la revolución agrícola de los últimos decenios, las principales acciones se iniciaron con la manipulación de los flujos de los grandes ríos, drenaje de los humedales, explotación de los acuíferos, transporte de agua a los centros urbanos y la irrigación de tierras agrícolas (Toledo, 2002).

Estas actividades antropogénicas han modificado los flujos de agua, cambiando las tasas de evaporación y calidad de las aguas por el incremento sustancial de los desechos tóxicos (L´vovich, 1995).

Los problemas de la calidad del agua (ríos, aguas subterráneas y lagos) son muy variables entre las regiones y países del mundo, son el reflejo de condiciones económicas y sociales (Toledo, 2002).

Los ecosistemas acuáticos lénticos epicontinentales, han sido foco de atención del ser humano debido a su disponibilidad, por lo que se han realizado diversas clasificaciones por diferentes autores utilizando varios criterios como:

- Margalef (1983) propuso que los lagos son nombrados de acuerdo a su origen y pueden ser: volcánicos, cársticos y salobres.
- Vallentyne (1978) nombra de acuerdo a su estado trófico y productividad primaria a los lagos, dividiéndolos en: Oligotróficos, Eutróficos, Distróficos.
- Mientras que Vallentyne (1978), Lampert y Sommer (1997) se basan en el estado trófico y productividad primaria de los

sistemas para hacer una de las clasificaciones más utilizada, dividiéndola de la siguiente manera:

- ❖ Los lagos oligotróficos: son aquellos que tienen un bajo suministro de nutrientes en relación con el volumen de agua que contienen, son profundos (de 15-35 metros), sus aguas son claras permitiendo el crecimiento vegetal a lo largo de la columna (Vallentyne, 1978).
- ❖ Lagos mesotróficos: están en un estado de transición entre oligotróficos y eutróficos.
- ❖ Los lagos eutróficos: tienen una profundidad que varía entre los 10 y 15 metros, disponen de un alto suministro de nutrientes en relación con el volumen de agua que contienen como resultado de esto presentan crecimiento de algas en la superficie, por lo que los vegetales pueden cubrir tanto la superficie como el fondo del lago según la competencia de los mismos (Lampert y Sommer, 1997).

Las aguas Epicontinentales reciben componentes de la atmósfera, de las rocas y del suelo, así como de los organismos. Sin embargo, la esperable variabilidad en su composición queda restringida por la existencia de condiciones internas, como equilibrios químicos y ciclos ecológicos (biogeoquímicos) (Metcalf, 1981).

En los lagos, la regulación de la composición de agua está regulada por la intensidad de la mezcla vertical y la disponibilidad de la diferenciación en los tiempos de permanencia de los distintos elementos, así como por el fraccionamiento entre diferentes compartimientos, los cuales, se distinguen en la estructura vertical del lago de la siguiente manera: Epilimnion, Hipolimnion, Metalimnion, sedimento. Los gradientes verticales de temperatura, oxígeno, equilibrio ácido-base son decisivos en los procesos de diferenciación (Margalef, 1983).

3.3 Parámetros Físicos y Químicos de los Sistemas Epicontinentales

El agua circula constantemente a través de un interminable ciclo hidrológico de precipitación o lluvia, escurrimiento, infiltración, retención o almacenamiento, evaporación, y así sucesivamente de manera natural. En algunos lugares el hombre ha contaminado los mantos acuíferos, provocando la deterioros en la cantidad y calidad del agua (Rigola, 1999).

Es así como la composición y concentración de las sales inorgánicas que provienen del uso del agua varían de un sistema de alcantarillado a otro. Esto es importante para valorar el uso de agua residual, ya que el incremento de estas sales se produce por el uso doméstico (incluyen los procedentes de inodoros, fregaderos, baños, lavaderos y ablandadores de agua) (Metcalf, 1981), por aguas procedentes de pozos privados, de aguas subterráneas y por el uso industrial (manufacturera, electricidad, construcción) (Echarri, 1998).

3.3.1 Transparencia y profundidad

La Transparencia y profundidad son parámetros que indican el grado de eutrofización de un sistema, la adecuada operación del mismo está determinado por la presencia de partículas inorgánicas que permiten el crecimiento bacteriano (Lampert y Sommer, 1997).

Para el parámetro de transparencia, el científico italiano de apellido Secchi, ideó la manera de evaluarla con respecto a la luz, la cual se basa en el punto que deja de ser visible un disco (blanco y negro) conforme se introduce al sistema acuático. Básicamente es la reflexión de la luz, y por lo tanto está influenciada por las características de la absorción, tanto del agua como de la materia

disuelta y particulada (Stumm y Baccini, 1983; Sandoval, 2003; Sierra, 2008).

La transparencia esta determinada por la presencia de sólidos en suspensión que absorben la radiación solar, y disminuyen la actividad fotosintética de la vegetación acuática. También la profundidad es un parámetro relacionado con la morfología de un lago, ejerce efectos en el comportamiento de la mayoría de los parámetros físicos, químicos y biológicos en el sistema. Según la profundidad se puede conocer tanto su origen, el grado de eutrofización por lo que diversos autores relacionan a los lagos profundos con los lagos oligotróficos y a los lagos poco profundos con lagos eutróficos (Wetzel, 2001).

3.3.2 Temperatura

Una de las características esenciales en la determinación de las aguas residuales es la temperatura. Este parámetro es importante en la difusión de los gases, solubilidad de los minerales y en la distribución espacial de los organismos acuáticos. Generalmente los cambios bruscos en la temperatura suelen ser causados por vertidos industriales, agrícolas o urbanos (Metcalf, 1981). Cuando la temperatura se eleva como en los meses de verano, se agravan los problemas de oxigenación, disminuyendo la densidad del agua y ocasionando de esta manera la eutrofización del lago (Ensastegui, 1995; Díaz, 2002; Domínguez y Díaz, 2004).

La temperatura guarda una relación estrecha con la intensidad de luz, debido a que la absorción de la energía solar y su disipación en forma de calor afectan profundamente la estratificación de las masas de agua (las masas de agua de mayor temperatura se sobreponen a las más frías, formando capas o estratos) e influyen en la circulación estacional, generando cambios en las propiedades fisicoquímicas del agua como: densidad, viscosidad, conductividad,

solubilidad de gases (principalmente el oxígeno) y en la velocidad de las reacciones químicas y bioquímicas Margalef (1983), Pedraza (1990).

Cuando la temperatura aumenta, se eleva la producción de la materia orgánica, el crecimiento y el intercambio de nutrientes (Pedraza 1990). Es un parámetro esencial por su efecto en la vida acuática, en las reacciones químicas y velocidades de reacción, así como en la aplicación del agua a usos útiles (Romero, 1999). Se puede decir que la temperatura es un factor importante en la productividad de un sistema (Dorador et al, 2003).

3.3.3 Potencial de hidrógeno.

El pH, es una medida del equilibrio ácido-base alcanzado por diversos compuestos disueltos, es esencial para determinar el índice de concentración adecuado para la existencia de la vida acuática (American Society, 1991; Tebbutt et al, 1993). En los sistemas naturales, generalmente el índice de concentración de pH adecuado fluctúa entre los valores 6.5 y 8.5. Pero en el caso de las aguas residuales, el límite varía de 5.5 a 10.0 por lo que el control de este parámetro es necesario debido a su influencia en el desarrollo normal de la vida acuática (bacterias, hongos, algas) (Jiménez, 2001).

El pH en los cuerpos de agua natural y agua residual doméstica, en general, es ligeramente alcalino por la presencia de bicarbonatos y carbonatos. Sin embargo debido al uso de reactivos químicos, es posible encontrar un pH ácido o básico en descargas industriales (Jiménez, 2001).

3.3.4 Conductividad eléctrica.

También la conductividad eléctrica es otro parámetro asociado con los mencionados anteriormente, la conductividad eléctrica actúa como un indicador del estado trófico del cuerpo de agua (Alcocer y Escobar, 1992). Es una expresión numérica de su habilidad para transportar una corriente eléctrica. La conductividad del agua depende de la concentración total de sustancias disueltas ionizadas en el agua y de la temperatura. Por lo tanto, cualquier cambio en la cantidad de sustancias disueltas, en la movilidad de los iones disueltos y en su valencia, implica un cambio en la conductividad (Romero, 1999; Dorador et al, 2003).

La forma más usual de medir la conductividad en aguas es mediante lectura directa en ms/cm y esta relacionada con la suma de los cationes o aniones determinados en miliequivalentes por litro (Romero, 1999). Una conductividad que corresponde aproximadamente a una concentración salina de 0.6 g. por litro es propia de aguas dulces duras y ésta tiene una estrecha relación con la salinidad, que depende de la naturaleza de las sales presentes (Tebbutt et al, 1993).

3.3.5 Oxígeno disuelto

Otro parámetro está fuertemente asociado a la temperatura es el oxígeno disuelto, proviene de la difusión de la interfase aire-agua y de organismos fotosintéticos que liberan oxígeno al medio. La solubilidad del oxígeno aumenta conforme la temperatura baja y disminuye conforme se presentan sales disueltas en el agua (Odum, 1972), encontrándose menos soluble en el agua caliente que en fría. La cantidad real de oxígeno presente en una solución esta regida por las siguientes condiciones:

- 1.- La solubilidad del gas.
- 2.- La presión parcial del gas en la atmósfera.
- 3.- La temperatura.
- 4.- La pureza del agua (salinidad, sólidos suspendidos) (Metcalf, 1981; Tebbutt et al, 1993).

Debido a que el oxígeno participa en numerosas reacciones químicas y biológicas, es el elemento químico más estudiado en los ambientes acuáticos (Goldman y Horne, 1983). Además determina la existencia de las condiciones aerobias y anaerobias en un medio particular (Goldman, 1983). El aumento de las reacciones químicas que supone un aumento de la temperatura, junto con la disminución del oxígeno disuelto puede dar como resultado un alto porcentaje de mortalidad de la vida acuática (Metcalf, 1981).

3.4 Salinidad

Debido a la contaminación natural y en mayor medida a la antropogénica, ha aumentado la concentración de sólidos disueltos totales en los sistemas acuáticos, haciendo a estos ambientes salinos, esta medida se puede expresar como el número de gramos de sal por kilogramo de muestra; por ello se expresa en partes por mil ($^0/_{00}$) o en gramos de sales por kilogramo de agua, indicando una parte en peso de una sustancia en 1,000 partes de una solución (Romero, 1999).

Numéricamente es menor que los sólidos disueltos y es un valor importante en aguas y ciertos residuos industriales. En cubetas de lagos abiertos, la composición química está regida por las corrientes de entrada que provienen de cuencas de drenaje y de la atmósfera. Mientras que en cubetas cerradas, la evaporación y precipitación de las sales provocan un gran incremento de la salinidad del agua. Las concentraciones proporcionales de los principales cationes que determinan la salinidad y la relación entre cationes monovalentes y

divalentes influyen sobre el metabolismo de muchos organismos, afectando la sucesión estacional de la población y la productividad del sistema. De modo que la salinidad relativamente baja de las aguas dulces ha determinado, en gran parte, la distribución de los seres vivos y la larga historia evolutiva de sus adaptaciones fisiológicas para la regulación osmótica e iónica (Wetzel, 1982).

3.5 Origen de la Salinidad

La salinidad puede ser ocasionada por diversos factores, entre los que se encuentran la composición del suelo y de las rocas, de sus capacidades de intercambio que influyen en el ritmo de la meteorización superficial, del aporte de iones al agua de filtración y de escorrentía. La adsorción de los iones depende de la disponibilidad de los cationes, de sus concentraciones, de sus proporciones en la disolución del suelo o en el agua de lavado, y de la naturaleza y número de posiciones de intercambio en el complejo de intercambio de los suelos, así como del volumen de agua en contacto con dicho complejo (Lampert y Sommer, 1997; Leslie, 1999).

La salinidad, es una importante propiedad de las aguas que son utilizadas para consumo humano, agrícola e industrial. Y la única manera de determinar la salinidad real o absoluta de un agua natural es llevando a cabo análisis químicos completos. Sin embargo, este método es costoso en tiempo y no puede proporcionar la exactitud necesaria para un trabajo detallado. Así pues, para determinar la salinidad se suelen utilizar métodos indirectos que incluyen la medida de una propiedad física como por ejemplo: la conductividad para que a partir de esta relación empírica entre la salinidad y la propiedad física estándar determinada sea posible calcular la primera (APHA, 1992).

La salinidad del agua puede deberse a procesos generales de meteorización superficial que controlan la cantidad de iones presentes en las aguas, como son:

- 1.- Las tasas de lavado de los distintos iones que dependen del tiempo, así, en los períodos de flujo abundante (inundación) y escaso flujo, se encuentran fluctuaciones marcadas de las proporciones iónicas a causa de las diferencias de la solubilidad (Arredondo, 1992).
- 2.- Los procesos de oxidación y reducción, los cuales afectan principalmente a los compuestos de hierro, azufre, nitrógeno, fósforo y carbono de los suelos. Los sulfuros de hierro son componentes comunes de las rocas y de los suelos saturados de agua. La oxidación de estos sulfuros puede ser la fuente principal de sulfato en las aguas naturales (Margalef, 1983).
- 3.- La acción de los iones hidrógeno que provienen de la disociación del ácido carbónico son importantes en la meteorización superficial de los suelos y rocas. Ya que las concentraciones de CO_2 y de iones H^+ son mayores en los suelos que sufren una descomposición microbiana intensa de la materia orgánica de origen vegetal, y en proximidad a los sistemas radiculares. La presencia del ácido carbónico en la meteorización se debe a la elevada proporción de los iones bicarbonato que presentan la mayor parte de los ríos. (Romero, 1999).

Otro factor que puede ocasionar una salinidad de las aguas también es la profundidad y el modelo de filtración del agua. Los lagos de exudación, que reciben principalmente descargas de agua superficial, normalmente son muy diluidos en comparación con los lagos abiertos que drenan horizontes más profundos del suelo. Generalmente la salinidad del agua intersticial es mucho más elevada que la del flujo superficial (Wetzel, 1982).

3.6 Efectos Del Medio Ambiente Sobre La Salinidad

El clima tiene una fuerte influencia sobre el equilibrio entre precipitación y evaporación, y sobre las concentraciones de salinidad de las aguas superficiales. Los efectos de este se observan en el aumento de la salinidad al disminuir la altitud de los lagos. Esta correlación se relaciona con el hecho de que gran parte de la salinidad de la lluvia y de la caída de material es depositada en las regiones de poca altitud (Wetzel, 1982).

Otros factores climáticos relacionados a la salinidad son la temperatura y el viento. La temperatura influye en el alcance de la meteorización superficial de las rocas, la dirección y velocidad del viento. Por lo que la vegetación de la cuenca de drenaje y las exigencias de iones están también influenciadas por el clima (Tebbutt, 1993).

3.7 Distribución de la Salinidad en el Mundo

La salinidad de las aguas superficiales es variable, depende de las influencias iónicas del drenaje e intercambiando con la tierra circundante, de sustancias atmosféricas derivadas de la tierra, del océano y actividad humana, del equilibrio e intercambio del volumen del agua con los sedimentos. La composición media global que aparece en la tabla 1 se basa en el tratado monográfico de Clarke de 1924 (Wetzel, 1981).

	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ CO ₃	SO ₄	Cl ⁻	NO ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Suma
Norteamérica	21	5	9	1.4	68	20	8	1	0.16	9	142
Sudamérica	7.2	1.5	4	2	31	4.8	4.9	0.7	1.4	11.9	69
Europa	31.1	5.6	5.4	1.7	95	24	6.9	3.7	0.8	7.5	182
Asia	18.4	5.6	5.5	3.8	79	8.4	8.7	0.7	0.01	11.7	142
África	12.5	3.8	11	-	43	13.5	12.1	0.8	1.3	23.2	121
Australia	3.9	2.7	2.9	1.4	31.6	2.6	10	0.05	0.3	3.9	59
Mundial	15	4.1	6.3	2.3	58.4	11.2	7.8	1	0.67	13.1	120
Cationes (meq)	0.75	0.34	0.27	0.05	-	-	-	-	-	-	1.425
Aniones	-	-	-	-	0.95	0.23	0.22	0.01	-	-	1.428

Tabla No. 1. Composición Media de los aniones y cationes presentes en las Aguas Fluviales del Mundo. (Wetzel, 1981).

3.8 Principales Cationes en Aguas que determinan la Salinidad del Agua.

La composición química de las aguas epicontinentales refleja la naturaleza química del terreno que las contiene. Sin embargo, la abundancia relativa de estos elementos varía de continente a continente y de región a región. Entre los factores que determinan estas diferencias se encuentran: el clima, la topografía, la geografía y la actividad biológica. Los elementos químicos no se encuentran aislados en el medio natural, sino combinados, formando ácidos, sales y bases, los cuales se disocian en iones cuando se disuelven en el agua. La atmosfera y la lluvia también contribuyen al incremento

de los iones en el agua, especialmente en áreas industriales (Roldan y Ramírez, 1992).

Al disolverse las sustancias químicas en el agua, estas se disocian en cationes o iones positivos y aniones o iones negativos. El mecanismo más importante de equilibrio interno en la regulación de la composición de las aguas dulces es, el que concierne al CO_2 y define la concentración de carbono inorgánico que está a disposición de los productores primarios, de la forma y cantidad de los metales en solución. Cuando en un agua hay una densa población de productores primarios asimilando la cantidad de CO_2 que pasa de la atmósfera, los valores elevados en el proceso de difusión, indican la variación de dos parámetros importantes, como son de un pH alto y alcalinidad baja (Metcalf, 1981).

Con un valor de pH superior a 6.5 hay un fuerte predominio de los bicarbonatos. En cambio, para un pH superior a 10.5, la concentración de carbonatos supera a la de bicarbonatos. (Margalef, 1983). La mayoría de las aguas epicontinentales quedan comprendidas, por su pH, entre 6.5 y 8.5, lo que significa que, en todas ellas, tiene un papel preponderante el ión bicarbonato (Wetzel, 2001).

3.8.1 Carbonatos y bicarbonatos

Los carbonatos y bicarbonatos son producto de equilibrio de los gases disueltos que participan en los procesos de síntesis y metabolismo en todo ecosistema acuático; ambas determinaciones son consideradas como análisis de rutina (De la Lanza 1990).

Tanto los carbonatos como los bicarbonatos forman el sistema alcalinidad, que significa la capacidad tapón del agua. Son de gran importancia ya que su papel es el de evitar que los niveles de pH del agua lleguen a ser demasiado básicos o ácidos. La alcalinidad estabiliza el agua en los niveles del pH alrededor de 7. Sin embargo,

cuando la acidez es alta en el agua la alcalinidad disminuye, puede causar condiciones dañinas para la vida acuática. En química del agua la alcalinidad se expresa en ppm o en mg/L de carbonato equivalente del calcio (Gatica G. J. 2006).

3.8.2 Dureza

La dureza del agua representa la concentración de cationes metálicos multivalentes en solución e iones metálicos divalentes en el agua, capaces de reaccionar con el jabón para formar precipitados e incrustaciones (Mercado, 2002). Los principales cationes que causan la dureza en el agua y los principales aniones asociados con ellos son los siguientes:

Cationes que causan dureza	Aniones
Ca^+	HCO_3^-
Mg^{++}	SO_4^-
Sr^{++}	Cl^-
Fe^{++}	NO_3^-
Mn^{++}	SiO_3^-

Tabla No. 2. Aniones y Cationes que causan la dureza del agua. (Romero, 1999).

En menor grado Al^{+3} y Fe^{+3} son considerados iones causantes de dureza. En general, ésta es igual a la concentración de cationes polivalentes del agua.

Las aguas que son consideradas duras son aquellas que requieren cantidades considerables de jabón para producir espuma y además producen incrustaciones en las tuberías de agua caliente, calentadores y otras unidades en las cuales se incrementa la

temperatura del agua (Martínez, 2003). En términos de dureza las aguas pueden clasificarse como se muestra en la siguiente tabla:

mg/L	Dureza
0-75 mg/L	Blanda
75-150 mg/L	Moderadamente dura
150-300 mg/L	Dura
300 mg/L	Muy dura

Tabla No. 3. Concentración en mg/L que determinan el tipo de dureza del agua. (Romero, 1999).

Desde el punto de vista sanitario, las aguas duras no son satisfactorias para el consumo humano como las aguas blandas; sin embargo un agua dura requiere demasiado jabón para la formación de espuma y crea problemas de lavado. El valor de la dureza determina, por lo tanto, su conveniencia para uso doméstico e industrial y la necesidad de un proceso de ablandamiento (Morábito y col, 2007).

3.8.3 Cloruros

En cuanto a los cloruros, estos aparecen en todas las aguas naturales en concentraciones que varían ampliamente, sin embargo, su contenido es generalmente menor que el de los bicarbonatos y sulfatos (Romero, 1999). Los cloruros logran acceso a las aguas en muchas formas: el poder disolvente del agua introduce cloruros de la capa vegetal y de las formaciones profundas. En aguas residuales provienen de vertidos de tipo antropogénicos, agrícolas e industriales sobre las aguas superficiales (Metcalf, 1981).

Es importante mencionar que los residuos industriales contienen cantidades apreciables de cloruros, en concentraciones por

encima de los 250 mg/L producen un sabor salado en el agua y para consumo humano el contenido de cloruros se limita a esta cantidad (Romero, 1999). Los cloruros afectan el balance osmótico general de la salinidad y al intercambio iónico, pero su utilización metabólica no provoca variaciones significativas en la distribución espacial y estacional del lago (Wetzel, 1981; Romero, 1999; Garbagnati, 2005).

3.8.4 Sulfatos

Por lo que se refiere a los sulfatos son los aniones más comunes en las aguas naturales; se encuentran en concentraciones que varían desde unos pocos hasta varios miles de mg/L. (Romero, 1999; Chávez, 2006).

El enriquecimiento de las aguas naturales con nutrientes, induce a una variedad de cambios biológicos y químicos en la calidad del agua que pueden ser considerados beneficiosos o perjudiciales, según los usos que de ella se hagan (Vallentyne, 1978).

Los sulfatos pueden proceder de la oxidación de los sulfuros que derivan de la descomposición de materia orgánica. (Margalef, 1983). Sin embargo, aguas ricas en sulfatos disponen de una reserva suplementaria de oxígeno que puede mitigar la eutrofización de las cubetas de agua.

Para llevar a cabo una investigación adecuada y certera sobre las variables químicas y físicas que determinan la dinámica de un sistema acuático, es necesario realizar una serie de pruebas estadísticas que permitan conocer e identificar las variables que influyen en la vida de los sistemas epicontinentales, en el caso de este trabajo se mencionará una breve explicación del tipo de análisis aplicado a los resultados experimentales.

3.9 Análisis de Varianza (ANDEVA)

El término diseño de experimentos hace referencia a una amplia gama de técnicas estadísticas que permiten comparar la igualdad o semejanza entre más de dos medias, o de que no existe efecto de los tratamientos utilizados. En otras palabras sirve para probar un par de hipótesis (Cervantes, 2007).

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k = (\text{no hay efecto de tratamiento}).$

$H_a: \mu_i \neq \mu_j, \text{ para toda } i \neq j; i, j = 1, 2, 3, \dots, k.$

Que se lee: H_0 , La respuesta promedio de los k tratamientos de un experimento son estadísticamente iguales o semejantes; contra H_a , al menos un par de respuestas promedio son diferentes entre sí. La técnica estadística que permite probar esta hipótesis, sin perder la confiabilidad, es el análisis de varianza, que consiste en dividir la variabilidad total entre dos componentes, la variabilidad debida a tratamiento o entre tratamientos, y la variabilidad aleatoria o dentro de los tratamientos. Por último se comparan estas dos varianzas (Cervantes y Marques, 2007).

Otra prueba diseñada para comparar todas las parejas posibles de medias, manteniendo a α , el error tipo I para todo el conjunto completo de comparaciones es la prueba de Tukey. El método se basa en utilizar el cuadrado medio del error, que se obtiene de un ANDEVA, para calcular un valor de referencia, ω , que se compara con las diferencias de cada par de medias, si el resultado es mayor que ω se asumen medias diferentes, en caso contrario se consideran semejantes o estadísticamente iguales (Cervantes y Marques, 2007). La fórmula de cálculo es:

$$\omega = q\alpha(k, v) \frac{CM_E}{n_g}$$

Donde:

k = número de tratamientos o niveles.

v = grados de libertad asociados al CME, con $v = N - k$.

n_g = número de observaciones en cada uno de los k niveles (lo que implica un diseño balanceado).

α = nivel de significancia.

$q\alpha(k,v)$ = valor de tablas de Tukey (rangos estandarizados de Tukey).

3.10 Análisis estadístico (STATGRAPHICS) para el diseño completamente al azar.

El objetivo de utilizar esta prueba estadística es comprobar un par de hipótesis, siendo:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$$

H_a : al menos un par de medias es diferente.

Donde se utiliza la prueba de Kruskal-Wallis, que es una técnica No Paramétrica de Análisis de Varianza y se selecciona una vez que se comprueba la violación de supuestos del modelo del Diseño Completamente al Azar. El Box-and-Whisker-Plot es una buena opción cuando se aplica la prueba de Kruskal-Wallis, ya que la muesca en los gráficos de cada tratamiento permite visualizar e interpretar la semejanza o diferencia entre tratamientos (Cervantes y Marques, 2007).

3.11 Análisis multifactorial de varianza

Para un completo análisis estadístico es necesario utilizar el análisis de componentes principales, que está estrechamente relacionado con la explicación de la varianza-covarianza, esto a través de combinaciones lineales de las variables originales. Estos componentes principales (p) son necesarios en el análisis de la variabilidad total del sistema, en donde muchas de sus variables pueden ser contadas por un pequeño número (k), de los componentes principales. Si es el caso, existe mucha información en el componente (k) como en las variables originales (p). Así el componente principal (k) puede reemplazar las variables iniciales (p), y el grupo original de datos, consistiendo de (n) mediciones en variables (p), es reducido para una consistente de (n) mediciones en el componente principal (k). (Johnson D. E., 2000).

Algebraicamente los componentes principales, son combinaciones lineales particulares de (p) valores al azar de X_1, X_2, \dots, X_p . Geométricamente estas combinaciones lineales representan la selección de un nuevo sistema coordinado obtenido por la rotación del sistema original con X_1, X_2, \dots, X_p , como los ejes de coordenadas. Los nuevos ejes representan las direcciones con una variabilidad máxima y proveen una simple y más parsimoniosa descripción de la estructura de covarianza.

Los componentes principales dependen únicamente de la matriz de covarianza Σ (o de la matriz de correlación [p]) de X_1, X_2, \dots, X_p . Su desarrollo no requiere una suposición normal multivariada. Por otro lado los componentes principales derivados, de grupos normales multivariados tienen útiles interpretaciones en términos de los elipsoides de la constante densidad. Además, las suposiciones pueden estar hechas desde la muestra de componentes cuando el grupo es multivariado normal (Rencher A., 1995).

Los componentes principales están correlacionados en combinaciones lineales Y_1, Y_2, \dots, Y_p . Cuya varianza en la ecuación es tan grande como sea posible. El primer componente principal es la combinación lineal con máxima varianza, esto es, su máximo $\text{Var}(Y_1) = \ell' \Sigma \ell$. Esta claro que $\text{Var}(Y_1) = \ell' \Sigma \ell$ puede ser incrementado por multiplicación de cualquier ℓ por alguna constante. Para eliminar esta indeterminación es conveniente limitar la atención de vectores de coeficientes de una unidad de longitud (Cervantes y Rivera, 1993; Rencher, 1995).

3.12 ANTECEDENTES

3.12.1 Antecedentes Históricos

Históricamente, los lagos mexicanos han estado asociados al desarrollo de las culturas prehispánicas, es así como hacia el año 1524 A.C., en los alrededores de Santa Cruz Acalpixca se asentó la primera tribu de nanahuatlacas que llegó al Valle de México, aquellos pobladores dedicados a la agricultura que bajo el liderazgo de Acatonalli se dispusieron de inmediato a intensificar el cultivo en tierras altas introduciendo un nuevo sistema de cultivo: Las Chinampas (Fernández, 1986). Ver mapa N. 1

El desarrollo de este sistema tuvo lugar en el lago de Xochimilco que formaba parte del sistema lacustre de 2000 km², formado por los lagos de Zumpango y Xaltocan al norte, Texcoco al centro, Chalco y Xochimilco al sur. Desde entonces, el lugar es llamado es llamado Xochimilco (de las voces náhuatl "Xochitl", flor, "Milli", campo cultivado y "co", lugar) (Fernández, 1986; Pérez-Fons, 1993).

Originalmente la cuenca del Valle de México estaba cerrada, carecía de una salida natural y se componía de cinco lagos principales conectados entre sí (Zumpango, Xaltocan, Texcoco, Chalco y Xochimilco) la cual posteriormente fue abierta en forma artificial. Ahora se encuentra rodeada por la Sierra Nevada al Este, por la Sierra de las Cruces al oeste y al sur por la Sierra del Chichinauhtzin, al norte por las Sierras Tezontlalpan y Pachuca (Neira, 2001; Olvera, 2004).



Mapa No. 1 Ubicación de los lagos en el Valle de México durante la época prehispánica.

Cada uno de los lagos tenía características peculiares debido a que se encontraban a alturas desiguales sobre el nivel del mar, se abastecían de diferentes fuentes, y arrastraban diversos materiales, la profundidad de los lagos variaba y la calidad del agua también era distinta. El sistema lacustre de Xochimilco se consideraba que era uno de los que más tenía agua dulce, pues provenía de los ríos de la sierra nevada y de los manantiales que allí se generaban, además de estar cubierto de vegetación que impedía la evaporación del agua y la salinización del lago (Mazari y Alberro, 1990; Rojas, 1990). Estudios realizados por Gonzáles y Rosas (2006), determinaron que la calidad del agua está determinada en virtud de las actividades agrícolas e industriales, mientras que Arcos y col, (2006) refieren un comportamiento homogéneo del sistema por parte del aporte de contaminantes que provienen de las descargas artificiales de agua, hacia las lagunas y canales. Por lo que la elevada cantidad de sales en los canales no es adecuada para la irrigación. Debido

principalmente a que los poblados se asentaron alrededor de los ríos torrenciales, ríos permanentes y manantiales, abasteciendo sus necesidades hidrológicas como se menciona a continuación (Mazari y col, 1990):

- la demanda de evacuación del inodoro (40%),
- en segundo término la regadera (30%)
- y después el lavado de ropa (19%)
- Los utensilios y el agua para beber emplean respectivamente 6% y 5% (CNA, 1999).

Es a principios del siglo XIX cuando se inició el bombeo de agua de manantiales y pozos para abastecer a la ciudad de México, trayendo como consecuencia la descompensación del régimen hidrológico de la zona. A esto, se decidió enviar aguas negras tratadas para conservar el nivel del agua de la zona chinampera provocando la problemática mas grave para este sistema , como lo refiere el autor él menciona que las aguas negras que reciben los canales chinamperos de Xochimilco contienen sustancias eutroficantes en cantidades que superan la capacidad de auto depuración del medio es lenta y los desechos químicos persistentes tales como metales pesados, plaguicidas, detergentes y microorganismos de origen fecal principalmente, dañan al sistema chinampero, Bojórquez (1994).

3.12.2. Antecedentes de trabajo realizados en la zona de estudio

Se han realizado infinidad de trabajos, la mayoría se enfocan a tratar de preservar la vida de la flora y fauna endémica, relacionando aspectos culturales o con bacterias patógenas y algunos trabajos relacionados con la calidad del agua. Con base en estos estudios se ha establecido que existe una alta contaminación del lago de Xochimilco, con lo cual se recomienda la puesta en marcha de estudios más profundos para el rescate de la zona porque el agua de los canales no es apta para fines de irrigación, debido a que contiene gran cantidad de sales (Jiménez, 1995; Pedraza, 1995).

Rosas y col. (1975); reportaron en base a los resultados provenientes de análisis de físicos, químicos y bacteriológicos del agua, que los canales de Xochimilco denotan un deterioro debido a las elevadas concentraciones de iones y a los elevados niveles de coliformes fecales y otros microorganismos patógenos.

Arcos y col. (1995); realizaron estudios en el cual abarcaron diferentes parámetros, tanto físicos, químicos y procesos biológicos en diferentes estaciones del Lago de Xochimilco y reportan que el sistema es muy variante en cuanto a las épocas del año. El sistema presenta un comportamiento homogéneo, a lo largo de la columna de agua a través del tiempo. Parece haber una clara tendencia del sistema a diferenciarse en virtud de sí presentan o no descargas, como en las zonas de descargas de aguas residuales tratadas y domésticas de otros puntos de monitoreo. El comportamiento del sistema aparenta haber cambiado en algunos parámetros desde finales de 1991.

Ezcurra E. (1996). Estudió las transformaciones y el deterioro ambiental de la cuenca de México.

Ramos-Bello y col. (2001). El propósito de su trabajo consistió en medir las propiedades físicas y químicas de los suelos de

las chinampas, cuantificar los niveles de salinidad, de Na. y de metales pesados extractables en suelos.

Arcos y col. (2002). Concluyeron que el comportamiento heterogéneo de los parámetros químicos del agua, dependen del tipo de agua residual vertida tiene características específicas, especialmente en las zonas de descarga doméstica y de descarga de aguas tratadas. Por lo que recomiendan desde el punto de vista químico que el agua se debe evaluar constantemente. Consideraron las concentraciones promedio de los metales pesados analizados (Pb, Cd, Zn, Cr) dentro de los límites máximos permisibles dentro de la columna de agua establecidos por la NOM-001-ECOL-1996, por lo que la contaminación por metales pesados en el lago de Xochimilco, no es considerable.

Sandoval (2003), llevó a cabo un análisis de las variables físicas y químicas de los mismos sitios de muestreo que este trabajo, concluyendo que el lago está reducido a un sistema de canales conectados por un sistema léntico, lo cual hace entender que las causas que originan su contaminación se debe a las descargas de aguas residuales, al turismo, condiciones insalubres de la población.

Administración Pública del Distrito Federal y la Secretaria del Medio Ambiente (2004). Determinaron que por la intensa actividad del hombre, el sistema lacustre se encuentra reducido a canales que están interconectados y cuya profundidad varía considerablemente.

López (2004). Identificó los valores asociados al bien patrimonial, la percepción de problemas y alternativas de manejo de los canales de Xochimilco mediante un taller impartido a los chinamperos, habitantes y cuidadores del sitio.

Zambrano (2004). Determinó que las variables fisicoquímicas básicas están dentro de los rangos permitidos para la sobrevivencia y reproducción de los organismos. Los contaminantes orgánicos tienen niveles muy altos.

Gobierno del Distrito Federal. UNESCO. (2005). Concluyó que el agua contaminada provoca alteraciones en la productividad agrícola y es un serio riesgo para la salud. La importancia de la calidad del agua radica en que su uso local cubre todos los usos de riego, mantenimiento de la biota, navegación y recreación, siendo los dos primeros los más importantes.

En general, se observó que el agua tratada que alimenta a los canales de Xochimilco, promueve el crecimiento de las comunidades algales, evidenciando su alto contenido de materia orgánica y de nutrimentos inorgánicos disueltos, que les confieren el alto grado de eutrofización.

Vega y col. (2005). Analizaron la presencia y variación de coliformes fecales en nueve tipos distintos de hortalizas cultivadas en Xochimilco, las cuales son regadas con agua residual sin tratar y que son comercializadas en la explanada de la delegación.

Arcos y col. (2006). Evaluaron y compararon la concentración de cinco metales pesados (Cd, Cr, Pb, Zn) en tres diferentes estructuras de Lirio lechuga de agua y cerato (hoja, bulbo y raíz), en canales del lago de Xochimilco (Cuemanco, Apatlaco, Trancatitla y Asunción), los cuales se consideraron en virtud de sus vertidos de agua. Los parámetros físicos y químicos presentaron un comportamiento homogéneo a lo largo de la columna de agua tanto espacial como temporalmente con tendencia a diferenciarse en virtud de las descargas en las diferentes zonas.

Terrones (2006). Se refiere a la dificultad que enfrenta Xochimilco para conservar y mantener sus condiciones ancestrales e históricas, geográficas así como un ecosistema específico, modelo o arquetipo en la cuenca de México mediante la integración de dos planos: funcional y territorial.

González y Rosas (2006), reportan que las aguas provenientes de las plantas de tratamiento, de las zonas industriales y de la actividad agrícola representan una contaminación directa al

lago, que se percibe en el deterioro del sistema acuático. Además los parámetros físicos y químicos muestran la mala calidad del agua, rebasando los límites máximos permisibles para embalses naturales y artificiales de uso en riego agrícola.

Álvarez y Rangel (2007). Llevó a cabo un estudio de las poblaciones del acocil y su relación con parámetros físicos, como temperatura, oxígeno y pH.

Si bien es cierto que se ha determinado la calidad del agua de la zona lacustre del lago de Xochimilco, esto ha sido posible a estudios realizados a poblaciones acuáticas y su relación con parámetros físicos y químicos (como determinación de metales pesados).

3.13 Zona de Estudio

UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

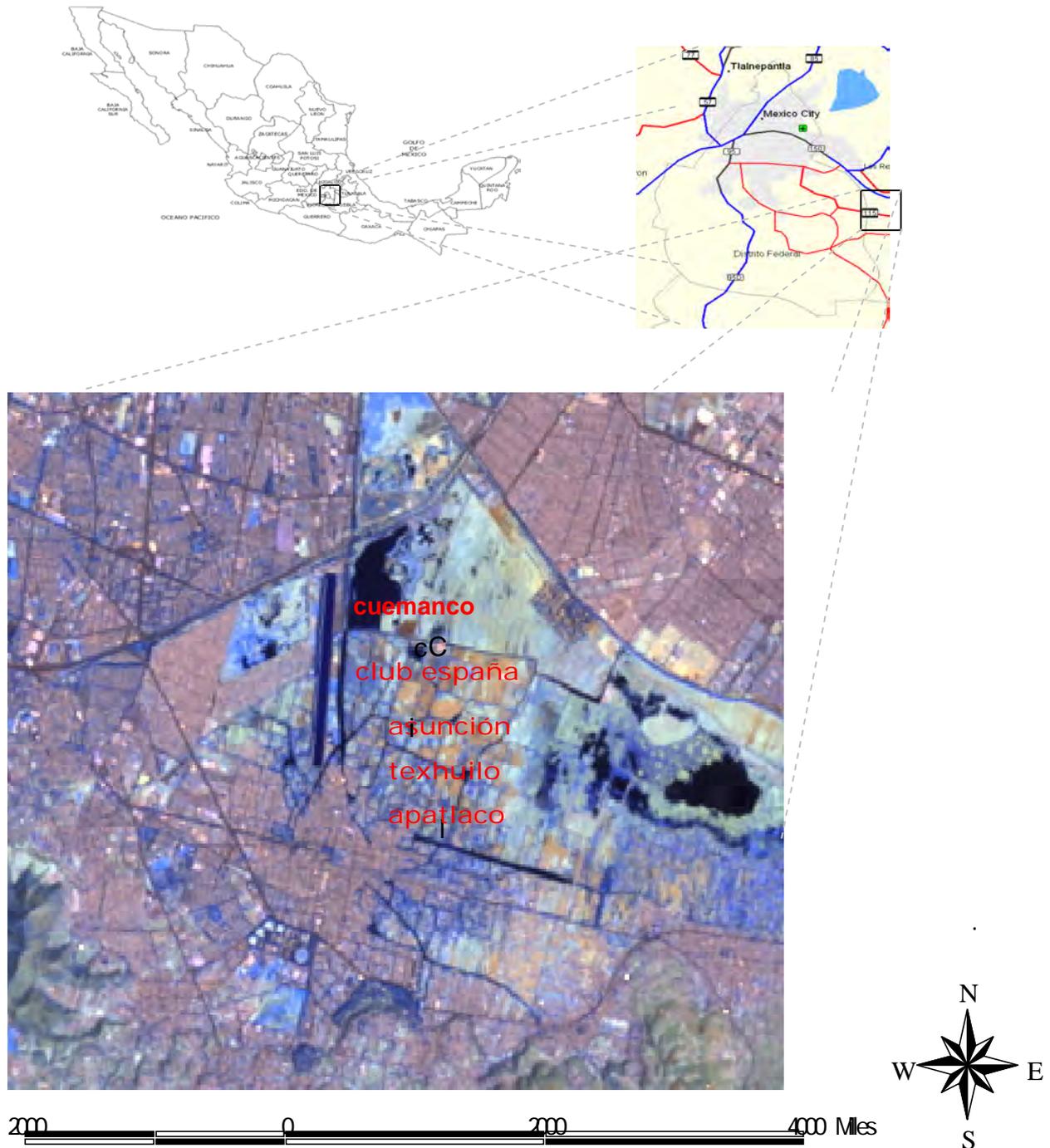


Figura 1. Zona de estudio y ubicación de puntos de muestreo (Foto satelital Landsat, 2000).

3.13.1 Ubicación del Lago de Xochimilco

La zona de estudio se encuentra situada geográficamente en la parte sureste del Distrito Federal, a los $19^{\circ}16'30''$ de latitud norte y a los $99^{\circ}06'20''$ de longitud oeste y a una altitud de 2,240 msnm. (INEGI, 2001). Colinda al Norte con las delegaciones Tlalpan, Coyoacán, Iztapalapa, al Este con el canal de Chalco, al Sur con el Canal del Bordo y al Oeste con el Canal de Cuemanco en la colonia Ciénaga Grande. Mapa 1. (Quiroz, 2008; INEGI, 2001).

3.13.2 Geología y Litología

El tipo de rocas y suelos de la mayor parte de la superficie de Xochimilco tuvo su origen en el era cuaternaria, durante los períodos Terciario y Cuaternario. El suelo del Distrito Federal tiene su origen en depósitos aluviales y lacustres de origen volcánico, así como en la degradación de las rocas ígneas (Domínguez, 1985).

Los suelos predominantes en Xochimilco son profundos de color café oscuro negro, texturas franco arcillosas, franco limoso; son ricos en materia orgánica y calcio, pobres en fósforo y potasio (Domínguez, 1985). Por su alto contenido de materia orgánica y humus han demostrado ser muy fértiles, aunque actualmente presentan elevadas concentraciones de sales, lo que representa una limitante muy severa para su uso y manejo (Aguirre y Estévez, 1992; Ensastegui y col, 1995).

La evolución de los suelos en el Distrito Federal está influenciada por el patrón de distribución de los asentamientos humanos, diferenciándose dos grandes zonas: lacustre y cerril. La primera comprende lechos de los antiguos vasos lacustres de los lagos de Xochimilco y Texcoco. Por lo que la modificación de estos materiales lacustres favorece la formación de capas de materiales arcilloso altamente comprensible depositado sobre capas areno-

limosas compactadas y endurecidas, definiéndose estos suelos como fluvisoles.

Además la alteración de estos suelos se ha acelerado debido a los procesos de urbanización crecientes como excavaciones, rellenos, pavimentaciones, edificaciones, disposiciones de escombros y materiales de construcción interrumpiendo su proceso natural de desarrollo. Y Xochimilco, se caracteriza por formar el pie de monte, lomeríos, cañadas y porciones montañosas.

3.13.3 Fisiografía.

El territorio de la delegación se divide en tres zonas fisiográficas según Vidrio y Ávila 2002:

- 1°-Es el cinturón Ajusco- Teuhtli, un área cuya deforestación ha provocado cierta aridez en las partes altas y con escurrimientos que humectan a las zonas bajas que son utilizadas para la producción agropecuaria.
- 2°- Es el cinturón central Topilejo- Milpa Alta en la parte sur y donde la baja calidad de los suelos, la falta de agua y el terreno pedregoso limitan el desarrollo de la actividad agrícola.
- 3°- Zona de canales ubicados en la parte central y norte de la delegación, con gran valor como zona de cultivo (Vidrio y Ávila 2002).

3.13.4 Hidrología

El lago de Xochimilco se encuentra al sur del valle de México. Tiene una superficie de aproximadamente 24 km². Aunque la delegación no tiene corrientes de agua relevantes, si presenta una importancia hidrológica, por las innumerables zanjas y algunos canales permanentes que limitan las chinampas y que sirven de

comunicación entre las mismas. En esta zona se encuentran los siguientes canales Cuemanco, Apatlaco, Tlicuilli, Nacional, Texhuilo, Apampilco, Japón, La Noria, Amelalco y Atlilic. Y las lagunas: El Toro, La Virgen, Tlilac, Tlicuilli, Caltongo y Xaltoncan (Ensastegui et al, 1995).

Los principales afluentes son: el Canal Nacional que acarrea las aguas residuales de la Ciudad de México, el agua que proviene de la planta tratadora de aguas del Cerro de la Estrella por el Canal de Garay, así como por la planta de tratamiento de San Luis Tlaxialtemalco y por ríos temporales que descienden de las montañas cercanas, además de aportes pluviales y por agua de drenaje urbano de la zona. Los manantiales de agua más importantes son: San Luis, Santa Cruz, Nativitas y la Noria (INEGI, 2001).

La aparición de asentamientos humanos, industrias y explotación forestal ha provocado una alteración en el medio natural. Está alteración limita la cantidad de agua que antes formaban los manantiales y alimentaba los canales. Junto con esto, los cambios climáticos han generado diversos problemas como la disminución de la precipitación pluvial en casi un 30% ocasionando una mayor temperatura y sequedad del ambiente (Vidrio y Ávila 2002).

3.13.5 Clima

El clima que predomina, según la clasificación de Köppen, modificada por García es templado subhúmedo con un régimen de lluvias en verano, con una precipitación pluvial media anual de 700 a 900 mm. y una temperatura media anual de 15.9° C, el mes más caluroso es mayo con 20°C y el más frío en enero con 10°C (Aguirre y Estévez, 1992; INEGI, 2001).

3.13.6 Flora

La flora es abundante y variada, se compone principalmente de ahuejotes árboles típicos de la región y sembrados a los márgenes de las chinampas. Pero también se pueden encontrar eucaliptos, pinos, cedros, alcanfor, lirio acuático, así como plantas de uso comercial y propedéutico. (Ramos Bello et al, 2001; Arcos, 2002; Zambrano, 2004; Terrones, 2006).

3.13.7 Fauna

La fauna en esta zona es muy variada debido a que existen diferentes y numerosos microhábitats. Por lo que se pueden encontrar desde especies como coyotes, tlacoyotes, comadrejas, zorrillos, armadillos, ardillas, tuzas, conejos, patos (Zambrano, 2004; Terrones, 2006), hasta ajolotes (*Ambystoma mexicanum*), carpa dorada (*Carassius auratus*), carpa común (*Cyprinus carpio*), carpa herbívora (*Ctenopharingodon idella*), rana (*Rana montezumae*), que son organismos señalados como depredadores de todo tipo de fauna acuática (Ávila, 2000).

4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El lago de Xochimilco hasta finales de los años cuarentas del siglo XIX mantuvo una buena calidad del agua, sin embargo debido al aumento de la población humana, la actividad pluvial, el vertido de aguas residuales provenientes de actividades industriales, agrícolas y la constante descarga de agua de las Plantas de Tratamiento Cerro de la Estrella y San Luis Tlaxialtemalco, se han desencadenado una serie de cambios físicos y químicos en el sistema acuícola. Estos cambios iniciaron con el drenado de los manantiales; posteriormente, se realizó la extracción de agua subterránea de la capa de material arcilloso y más tarde del acuífero. Los efectos negativos se han observado en la disminución de la carga hidráulica y, por lo tanto, en el aporte de agua subterránea a los canales, favoreciendo la consolidación del suelo y el hundimiento de la zona, así como de la desaparición de la flora y fauna endémicas (Moneada, 1989; Pedraza, 1995; Olabode, 2000; Ramos-Bello, 2001 y 2005).

El depósito de aguas residuales o desechos en cuerpos de agua natural contribuyen a aumentar las concentraciones de nutrientes de las mismas, la materia orgánica que demanda oxígeno para la oxidación aumenta la cantidad de sales solubles que en ella se encuentran disueltas. Así, el elevado contenido de sales degrada la calidad del agua de los sistemas receptores y resultan menos aptas para usos benéficos (Rosas, 1975; Rigola, 1999; Quiroz, 2008) y en ocasiones se producen efectos drásticos sobre los ecosistemas acuáticos especialmente sobre las especies de valor comercial que son los peces. Los cambios en las concentraciones de la salinidad por el vertimiento de aguas residuales, modifican los niveles de los parámetros físicos y químicos del agua (de oxígeno disuelto, de

temperatura, conductividad eléctrica, pH, dureza y alcalinidad en el medio acuático).

La temperatura ejerce efectos fundamentales sobre la estabilidad del lago, solubilidad de gases y metabolismo biótico por lo que la relación con el oxígeno disuelto se debe a la oxidación de la M.O. mediante procesos biológicos aerobios (Domínguez, 1985, Sánchez y col, 2005), al aumentar la temperatura también lo hace la conductividad eléctrica, aumentando la velocidad del movimiento de los iones. Por otra parte, el pH juega un papel importante en el sistema ya que si presenta una tendencia hacia la acidez, será más probable encontrar bióxido de carbono y ácido carbónico. En cambio si el agua tiende hacia la alcalinidad habrá presencia de bicarbonatos y carbonatos. Lo que no se debe confundir con la dureza que es la suma de los iones calcio y magnesio disueltos en el agua (Margalef, 1983) la diferencia de las aguas naturales y las residuales se debe principalmente a todos los desechos antropogénicos ya sea domésticos, industriales, agrícolas o ganaderos.

5. JUSTIFICACIÓN

El lago es una cuenca cerrada, resultado de procesos evolutivos, descargas pluviales y actividades antropogénicas la descarga de aguas residuales locales de las industrias aledañas, de la zona urbana, agricultura y turismo, así como de las plantas de tratamiento del Cerro de la Estrella, San Luis Tlaxialtemalco, que recorren toda la columna de agua. Esta zona es de gran importancia comercial para el Distrito Federal, ya que posee dos fuentes principales, la agricultura y el turismo. Sin embargo, la primera esta en mayor decadencia, y solo queda el auge turístico que se le ha atribuido por tradición. El contenido de sales disueltas en el agua, que confieren al sistema características salinas ha afectado de manera significativa las propiedades físicas del mismo y como consecuencia es dañina para la supervivencia de los organismos acuáticos así como de los cultivos, agua hacia las partes radicales de las plantas. Si bien es cierto que en la zona se han realizado diversos, ellos se han referido a la historia evolutiva del lago, a la evaluación de los parámetros biológicos, físicos y químicos y en la conservación de la flora y fauna endémicos, es por ello, que el propósito de este estudio consistió en cuantificar las propiedades físicas y químicas a dos diferentes niveles del cuerpo de agua, para determinar el tipo de salinidad del lago considerando la zona de influencia antropogénica que contamina más la cubeta de agua.

6. HIPOTESIS

El lago de Xochimilco durante décadas ha sufrido el impacto de la contaminación por diferentes fuentes (agua residual tratada, residuos domésticos y fertilizantes químicos). Al evaluar la salinidad mediante la concentración de aniones y cationes y tomando en consideración diferentes puntos de monitoreo será posible establecer la posible fuente que propicia en mayor medida los niveles totales de sólidos disueltos en el sistema acuático.

7. OBJETIVOS

7.1 Objetivo General

- ❖ Evaluar la concentración de aniones y cationes del lago de Xochimilco a dos diferentes niveles de la columna de agua (superficie y fondo) con la finalidad de establecer la salinidad del sistema acuático.

7.2 Objetivos Particulares

- Determinar la profundidad del sistema como parámetro morfométrico.
- Evaluar los parámetros físicos y químicos del sistema en superficie y fondo (temperatura, transparencia, pH, O₂ y conductividad eléctrica).
- Evaluar los siguientes aniones y cationes (CO₃⁻, HCO₃⁻, Cl⁻, SO₄⁻ y dureza total).
- Analizar las diferencias significativas entre los sitios de muestreo espacial y temporalmente mediante el análisis estadístico univariado de análisis de varianza y el análisis estadístico multivariado de componentes principales utilizando el paquete estadístico statgraphic plus versión 5.

8. MÉTODOS

Para poder llevar a cabo el análisis de las muestras de agua, es necesario realizar diversos procedimientos que al final ayuden a entender el comportamiento de los mismos, para lo cual, la metodología que se llevó a cabo en este proyecto consistió en las siguientes fases:

8.1 Selección de los Sitios de Muestreo.

Los cinco puntos de monitoreo se seleccionaron de acuerdo al tipo de descarga que reciben:

- Canal Nacional Cuemanco: sitio donde se recargan los canales de agua mediante descargas provenientes de las plantas de tratadoras de agua de Cerro de la Estrella y San Luis Tlaxialtemalco.
- Club España: lugar en el que se realizan actividades deportivas y turísticas.
- Texhuilo: zona agrícola.
- Apatlaco: en un extremo se realizan actividades agrícolas y por el otro existen asentamientos humanos bien establecidos.
- Asunción: en este sitio existen asentamientos humanos.

8.2 Método de Campo

Se realizaron ocho muestreos mensuales, abarcando las épocas del año, durante los meses de Marzo 2007 a Enero del 2008, estableciendo un total de cinco estaciones de monitoreo, tomando muestras tanto de superficie como de fondo de cada una de las

estaciones (ver fotografías 1, 2, 3, 4 y 5). Éstas se consideraron de acuerdo con el tipo de actividades que se realizan en cada zona, además se realizaron mediciones *"in situ"* de los parámetros físicos y químicos (profundidad, transparencia, temperatura, conductividad, pH y oxígeno disuelto).



Estación No. 1. Canal Nacional Cuemanco
Foto No. 1 (Agua residual tratada).



Estación No. 2. Club España. Foto No. 2 (Zona de transición entre el agua residual tratada y agua de origen urbano).



Estación No. 3. Laguna de Tezhuilo
Foto No. 3 (Zona agrícola).



Estación No. 4 Canal Apatlaco.
Foto No. 4 (Transición entre agua de origen agrícola y agua
originada por la urbanización).



Estación No. 5. Laguna de Asunción.
Foto No. 5 (Zona Urbana).

Las muestras de la superficie, se tomaron de manera manual, mientras que para el fondo se utilizó una botella Van Dorn horizontal de dos litros de capacidad y se almacenaron en botellas de polietileno de un litro, las cuales fueron transportadas en contenedores (hieleras), mantenidas a una temperatura de 4°C, para su posterior determinación en el laboratorio.

Después de la colecta de una muestra, ciertos componentes del agua cambian, es por ello que se realizaron pruebas en el lugar "*in situ*" (Tabla No. 4).

PARÁMETRO	TÉCNICA
Profundidad	Sondaleza (Sandoval, 2003).
Transparencia	Disco de secchi (APHA, 1992).
Temperatura	Termometro de mercurio +- 1°C (APHA, 1992).
pH	Método potenciométrico (APHA, 1992).
Conductividad eléctrica	Conductímetro digital CONDUCTRONIC CL8 (APHA, 1992).
Oxígeno disuelto.	Técnica de Winkler (APHA, 1992).

Tabla No. 4. Parámetros determinados "in situ" y técnicas empleadas en campo (APHA, 1992).

8.3 Método de Laboratorio

En cuanto al trabajo de laboratorio, se evaluaron los aniones y cationes: Carbonatos (CO_3^-), Bicarbonatos (HCO_3^-), Cloruros (Cl^-), Sulfatos (SO_4^-), así como la dureza total, el mismo día de la toma de muestras, con las técnicas de la Tabla No. 5.

PARÁMETRO	TÉCNICA
Carbonatos	Método titulométrico (APHA, 1992).
Bicarbonatos	Método titulométrico (APHA, 1992).
Cloruros	Método titulométrico (APHA 1992).
Sulfatos	Método turbidimétrico (APHA, 1992).
Dureza Total	Método complejométrico (APHA, 1992).

Tabla No. 5 Parámetros evaluados en laboratorio, técnicas empleadas (APHA, 1992).

8.4 Método de Gabinete

En esta última fase se realizó el manejo de los resultados mediante la elaboración del análisis de varianza (ANDEVA) para datos univariados y así determinar si existían diferencias significativas entre las estaciones de muestreo espacial y temporalmente. En el caso de los datos no paramétricos, se aplicó una prueba de Kruskal- Wallis. (Díaz, 2005; Gutiérrez, 2006). También se realizó un análisis estadístico multivariado de todas las variables, determinando así cual es la que más influye en la dinámica del sistema lacustre del lago de Xochimilco. Todas las pruebas se realizaron empleando el paquete estadístico Statgraphic Plus Versión 5.

9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de los parámetros físicos y químicos se analizaron mediante la prueba de ANDEVA, obteniendo gráficas de cajas y bigotes. Posteriormente, se comprobaron los supuestos de normalidad y homocedasticidad respectivamente (Marques, 1991; Cervantes y col. 2007), para los datos paramétricos se utilizó el criterio del valor de probabilidad 0.05 para observar las diferencias estadísticas significativas. Lo mismo se realizó con el análisis de Kruskal- Wallis para los datos no paramétricos.

9.1 Parámetros físicos y químicos

A continuación se presenta la tabla con los valores máximos, mínimos, promedio y desviación estándar de todos los parámetros en los diferentes puntos de monitoreo, tanto en superficie como en fondo.

Tabla No. 6 Valores de los parámetros físicos y químicos de las cinco zonas de estudio.

Estaciones	Cuemanco		Club España		Texhuilo		Apatlaco		Asunción	
	Sup	Fondo	Sup	Fondo	Sup	Fondo	Sup	Fondo	Sup	Fondo
Profundidad (m)										
Mínimo	1.30		1.15		1.08		1.20		1.73	
Máximo	1.60		1.65		1.35		1.45		2.30	
Promedio	1.44		1.5		1.14		1.29		1.99	
Desv. Estándar	0.10		0.15		0.10		0.07		0.21	
Transparencia (m)										
Mínimo	0.12		0.35		0.30		0.20		0.20	
Máximo	0.30		0.60		0.42		0.45		0.35	
Promedio	0.22		0.45		0.33		0.36		0.28	
Desv. Estándar	0.73		0.11		0.04		0.07		0.04	
Temperatura (°C)										
Mínimo	16.9	16.0	17.0	16.6	15.3	15.1	15.6	15.4	15.4	15.4
Máximo	23.0	22.0	22.1	21.7	22.5	21.1	22.5	20.5	21.5	20.7

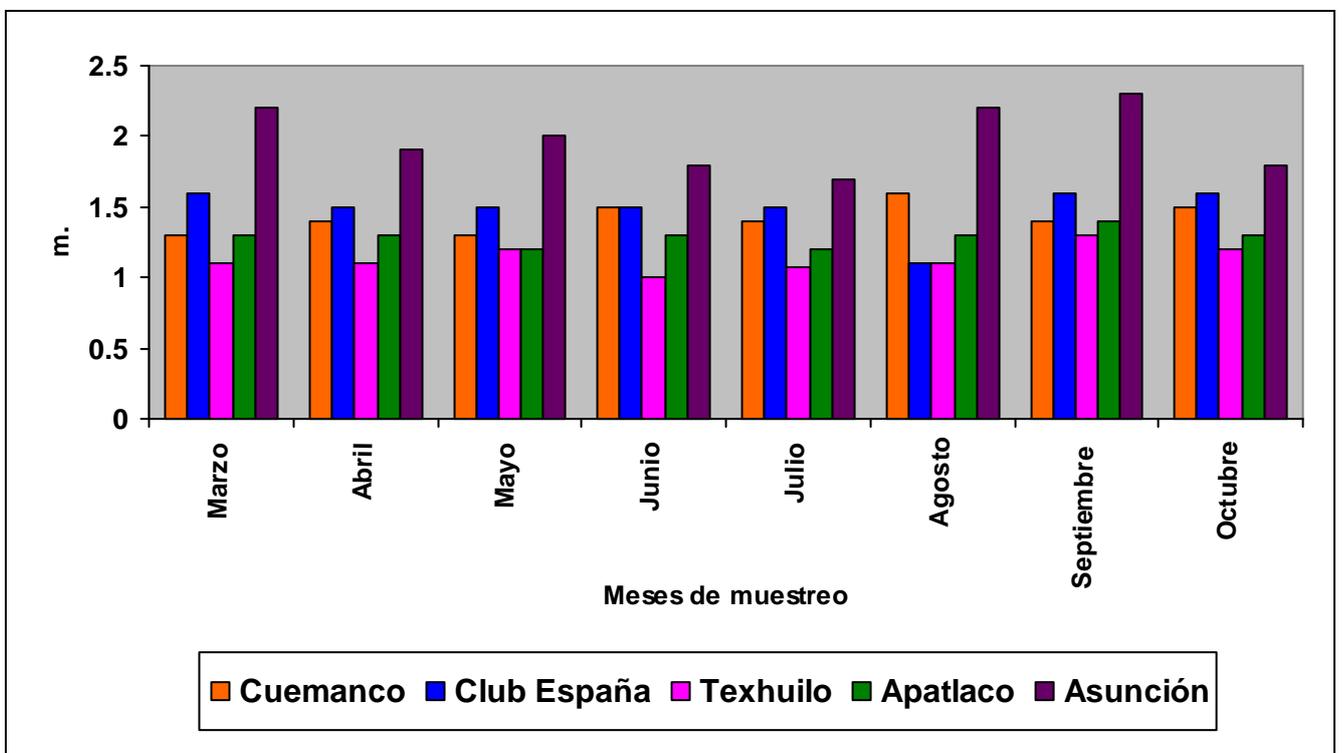
Promedio	21.8	19.3	20.0	19.4	19.3	18.5	19.0	18.3	18.8	18.4
Desv. Estándar	2.27	2.14	1.98	1.96	2.55	2.24	2.34	1.91	2.49	2.19
pH										
Mínimo	7.7	8.2	7.6	7.5	7.5	7.4	6.9	7.1	7.4	7.3
Máximo	10.8	11.0	9.6	9.5	9.8	9.6	9.5	9.3	9.0	8.9
Promedio	9.3	9.4	8.4	8.2	8.4	8.2	8.1	7.2	7.9	7.7
Desv. Estándar	0.96	0.79	0.64	0.65	0.85	0.79	0.83	0.73	0.60	0.58
Conductividad eléctrica (ms/cm)										
Mínimo	0.56	0.59	0.65	0.65	0.63	0.63	0.50	0.60	0.69	0.67
Máximo	0.80	0.83	0.89	0.93	1.12	1.15	1.13	1.21	1.0	1.0
Promedio	0.70	0.7	0.75	0.75	0.75	0.78	0.75	0.77	0.77	0.78
Desv. Estándar	0.08	0.07	0.09	0.10	0.17	0.17	0.22	0.21	0.10	0.10
Oxígeno disuelto (mg/L)										
Mínimo	6.0	2.4	4.9	3.2	4.3	5.0	4.5	2.4	1.2	0.3
Máximo	12.1	12.3	13.1	6.1	15.2	8.9	10.4	5.9	8.1	2.0
Promedio	7.9	6.2	7.5	4.4	10.8	6.3	6.0	3.8	3.5	1.0
Desv. Estándar	2.18	2.98	2.46	1.10	4.11	1.90	1.93	1.17	2.25	0.63

9.1.1 Profundidad

La profundidad es un parámetro morfométrico que influye en el comportamiento de otros parámetros como los físicos, químicos y biológicos. En el sistema acuático, en virtud de su variabilidad y la cantidad de agua proveniente de la Planta de Tratamiento Cerro de la Estrella (volumen 4000 L/s) y San Luis Tlaxialtemalco (1,500 L/s) (datos proporcionados por personal que labora en el lugar) se presentaron cambios en los niveles de agua, en la presencia de vegetación acuática en la columna de agua (Rodier, 1990; Roldán, 1992), variando con respecto a la época del año, ya que en temporada de lluvias el nivel del agua llegó a aumentar unos metros. Ver tabla No. 6.

Los valores más bajos corresponden a la época de primavera, ya que la evaporación es elevada y se ve reflejada en la profundidad del sistema. Con respecto a los puntos de monitoreo se encontraron diferencias estadísticas significativas (ANDEVA, $p < 0.05$). Ver gráfica No. 1; en promedio Texhuilo (1.08 mts.); Apatlaco, (1.20 mts.) zona agrícola, resultados que concuerdan con Ortiz y Ruvalcaba (2005)

donde en época de estiaje hay extracción de agua constante, y dadas sus actividades suburbanas y rurales (Olabode, 2000; Vidrio y Ávila, 2000) se hace suponer que la demanda de agua es considerable. Es importante señalar que la estación Asunción presentó la profundidad máxima (1.99 mts). como promedio, esto es debido al aporte de aguas residuales provenientes del zona urbana (Vidrio y Ávila, 2000; Sandoval, 2003; Ortíz y Ruvalcaba, 2005). Finalmente el Canal de Cuemanco, (1.44 mts.) y Club España (1.5 mts.), presentaron un comportamiento similar, debido a que son estaciones que cercanas.



Gráfica N. 1 Análisis temporal de la profundidad en los sitios de muestreo del lago de Xochimilco.

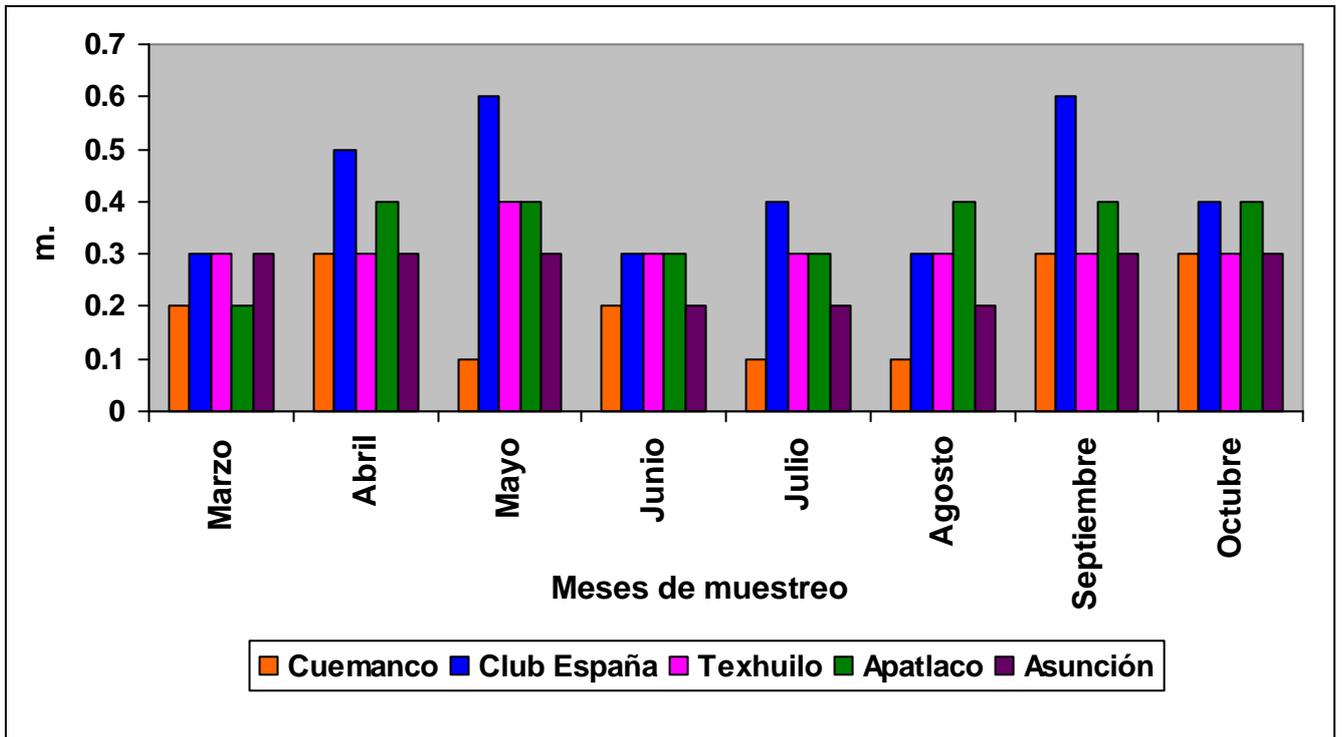
9.1.2 Transparencia (visibilidad al disco de Secchi).

Los valores de transparencia oscilaron a lo largo del período de muestreo, presentando cambios constantes de acuerdo a un ciclo anual. La transparencia observada coincide con (Olvera, 2004 Ortiz y Ruvalcaba, 2005); quienes obtuvieron valores de 0.25 mts de este parámetro. De acuerdo al análisis estadístico de la transparencia se detectaron diferencias significativas (ANDEVA $p < 0.05$) gráfica 2, entre 0.22 mts. y 0.45 mts. Siendo la estación Club España la que presentó los valores más elevados de este parámetro.

El descenso de la transparencia estuvo determinada por la presencia de partículas en suspensión, de origen orgánico e inorgánico creando interfases entre los medios líquidos y sólidos en los cuales la materia orgánica acumulada en el agua es convertida en formas asimilables por microorganismos (Harvey, 1957; Moliner y Camacho, 2002), lo que ocasiona que la luz solar no llegue a aguas profundas (Figuerelo y Marino, 2001) y el hecho de que el sistema de Xochimilco es cerrado, rico en materia orgánica, originando presencia de comunidades algales como las cianobacterias y en virtud de los valores obtenidos en cada uno de los puntos de monitoreo, la NOM-001-ECOL-1996 considera que este parámetro no es adecuado para el desarrollo de comunidades bióticas para embalses naturales y artificiales.

La estación Club España presentó los resultados más elevados de profundidad con un promedio de 0.45 mts. y un valor máximo de 0.60 mts. (el mayor registrado en todo el estudio) esto se debió a que sólo existe poca presencia antropogénica, seguido de Apatlaco (0.36 mts.) y posteriormente Texhuilo (0.33 mts.); Asunción (0.28 mts.), por las descargas de aguas negras en forma directa proveniente de la zona urbana (Vidrio y Ávila, 2000; Camacho, 2002), y Cuemanco (0.22), donde el paso de las lanchas es constante, por la materia orgánica en suspensión las cuales absorben la

radiación solar provocando valores bajos de este parámetro (Gray, 1996; Wetzel, 2001).



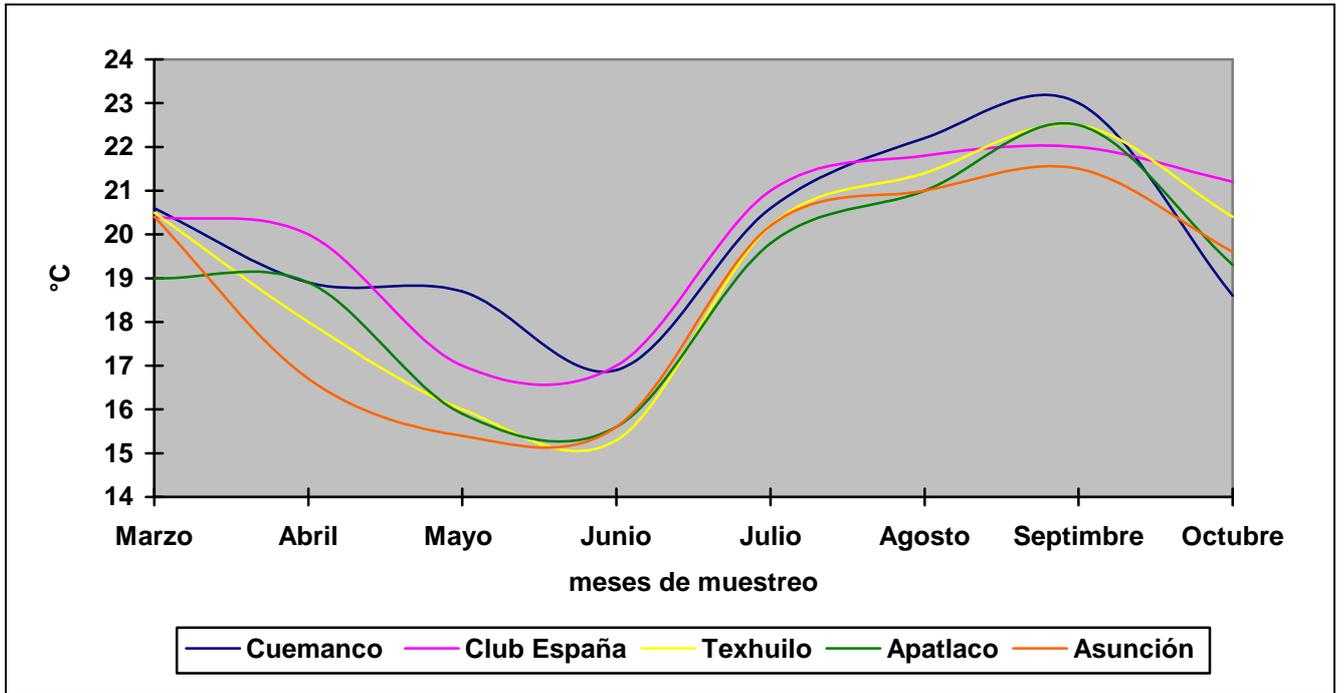
Gráfica N. 2 Análisis temporal de la transparencia en los sitios de muestreo del lago de Xochimilco.

9.1.3 Temperatura

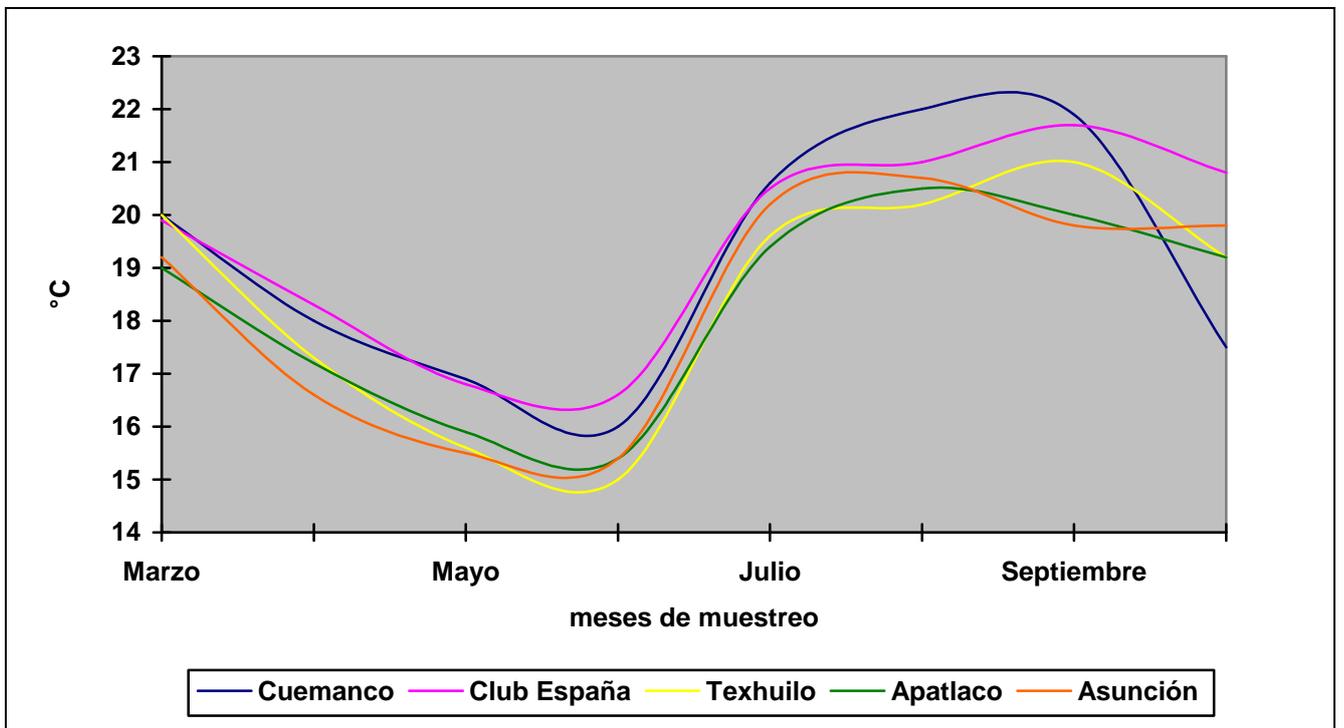
La determinación de la temperatura es importante porque influye en los procesos de distribución de los gases, organismos y nutrientes del sistema acuático (Romero, 1999), acelerando las reacciones químicas y/o disminuyendo el metabolismo de microorganismos presentes en el sistema (Margalef, 1983). El comportamiento espacial de la temperatura del agua como era de esperarse, no fue homogéneo mostrando diferencias significativas ($p < 0.05$) resultado esperado, ya que en el lago existe mucha materia flotante orgánica e inorgánica, así como una proliferación acentuada de fitoplancton (sobre todo en Cuemanco), lo que no permite el buen paso de la luz hacia el fondo, dejando en claro que la temperatura

es más elevada en la superficie que en la profundidad, el intervalo de variación durante todo el muestreo oscilo entre 1 a 5 °C, estos resultados no coinciden con Arcos y col. 1995, 2006; Ortíz y Ruvalcaba 2005, quienes reportaron una temperatura en promedio de 1-3°C. Espacial (Gráfica 3 y 4) y temporalmente el sistema presento un comportamiento homogéneo (Gráfica 5 y 6). Es claro que existió un aumento de la misma.

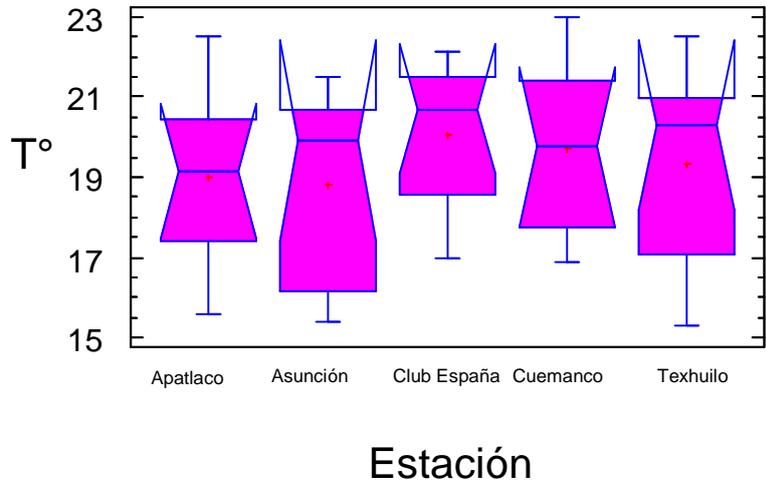
De acuerdo con la NOM-001-ECOL-1996, la temperatura no rebaso los LMP de 40°C, los valores más bajos se presentaron en la época de calor debido a la interfase aire-agua y al presentarse mayor evaporación a nivel superficie (ver Tabla N. 6). Al realizar el análisis ANDEVA (análisis temporal) se corroboró que NO existen diferencias significativas. Se comprobó la homogeneidad de varianzas con el valor de probabilidad que fue de 0.97 a nivel de superficie y de 0.99 para el fondo, cumpliéndose el supuesto de homogeneidad. Por último se realizó una comparación de las medias con la prueba Tukey, encontrándose que no hay diferencias significativas en ninguno de los puntos monitoreados coincidiendo con el análisis de varianza, datos que se muestran en la gráfica No. 5 y No. 6.



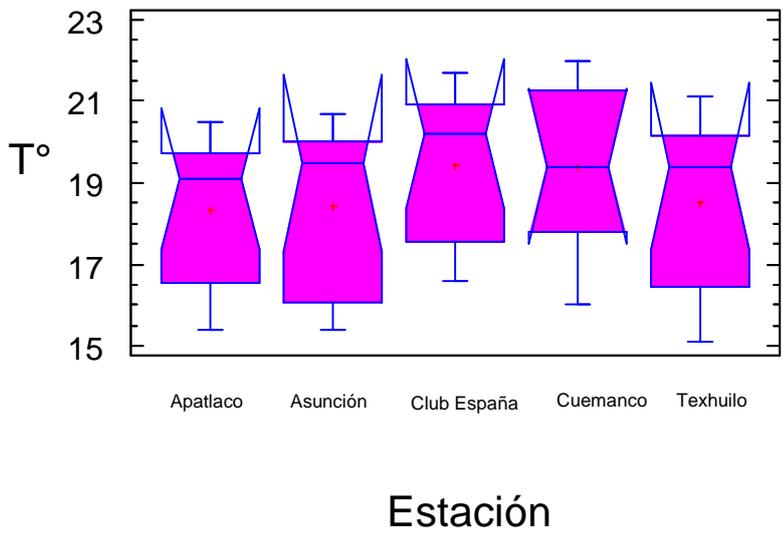
Gráfica No. 3 Comportamiento temporal de la temperatura en los sitios de muestreo del lago de Xochimilco en el nivel "superficie".



Gráfica No. 4 Comportamiento temporal de la temperatura en los sitios de muestreo del lago de Xochimilco en el nivel "fondo".



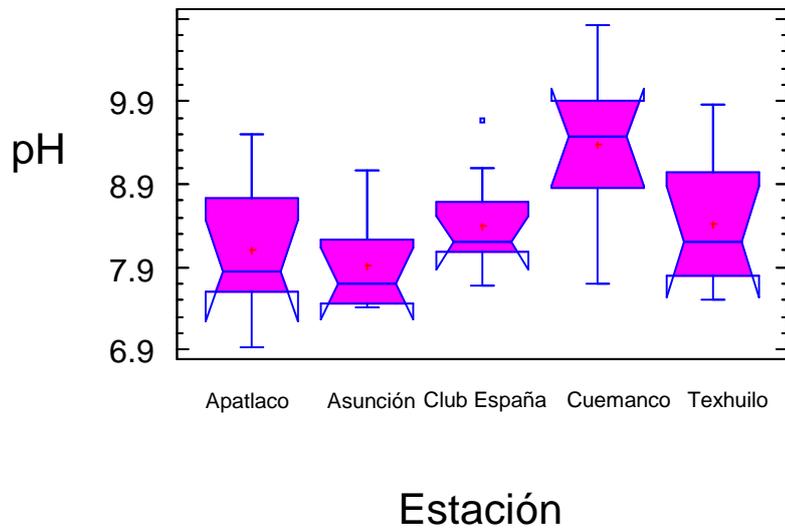
Gráfica No. 5 - Análisis de cajas múltiples con muescas para temperatura por estaciones de muestreo en el nivel "superficie".



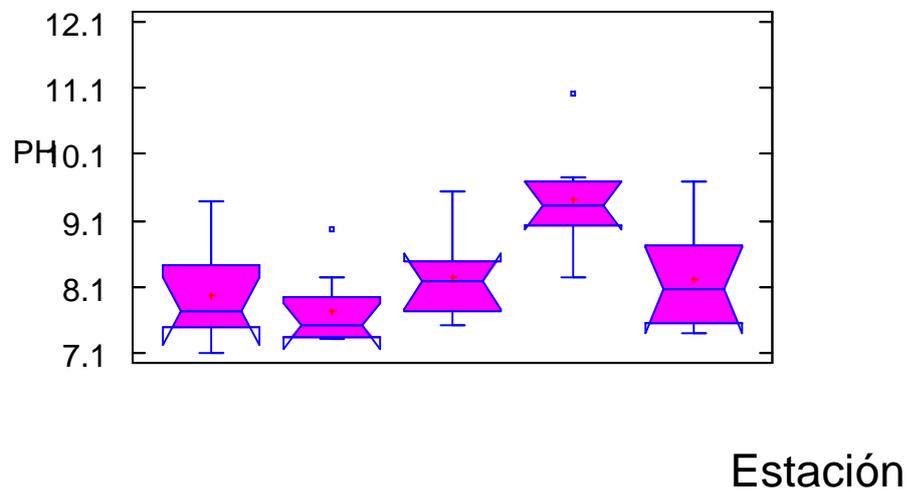
Gráfica No. 6 - Análisis de cajas múltiples con muescas para temperatura por estaciones de muestreo en el nivel "fondo".

9.1.4 pH

Los valores de pH que se obtuvieron en las estaciones muestreadas superficie y fondo, fue homogéneo espacialmente y temporalmente (ver gráficas 9 y 10). Al realizar la ANDEVA, se obtuvo un valor de probabilidad <0.05 , lo cual indica que no existen diferencias significativas entre las estaciones. Para la homogeneidad de varianzas el valor de Probabilidad fue de 0.7 a nivel superficie y de 0.9 en fondo. Cumpliéndose el supuesto de homogeneidad. Y por último al realizarse la comparación de las medias con la prueba Tukey, se encontraron semejanzas. Los valores de pH rebasaron los LMP para aguas residuales de acuerdo con la NOM-001-ECOL-1996 (5.5-10), en la estación Cuemanco los valores oscilaron entre 7.7-10.81, los más elevados durante el estudio. En general, los valores variaron de 6.94-9.85, esto indica una disminución de la concentración de iones H^+ , y por lo tanto la alcalinización del medio. Por el contrario, el pH bajo indica la acidificación del medio, situación que no ocurrió en ningún sitio monitoreado. Estas variaciones repercutieron en la biocenosis del sistema (Goldman, 1983; Leslie, 1999; Sandoval, 2003). Ello, probablemente se debió a que se trata de una cuenca cerrada con comunicación de todos los sitios analizados, y los datos más grandes fueron por ser el lugar donde son vertidas las aguas provenientes de las Plantas de Tratamiento Cerro de la Estrella y San Luis Tlaxialtemalco.



Gráfica No. 9- Análisis de cajas múltiples con muescas para pH por estaciones de muestreo en el nivel "superficie".



Gráfica No. 10- Análisis de cajas múltiples con muescas para pH por estaciones de muestreo en el nivel "fondo"

9.1.5 Conductividad Eléctrica

La conductividad eléctrica se analizó mediante la prueba ANDEVA ($p < 0.05$) (Marques, 1991; Salgado-Ugarte 1992), para después comprobar la homocedasticidad y normalidad correspondientes. El valor de probabilidad fue de 0.9 en superficie y en fondo 0.8, no existiendo diferencias entre los sitios estudiados. Cumpliéndose así el supuesto de homogeneidad y se realizó una comparación de las medias con una prueba Tukey, encontrando las semejanzas que se muestran en las gráficas 13, 14. La conductividad eléctrica tuvo un comportamiento espacial homogéneo (gráficas 11, 12), salvo en Cuemanco que presentó diferencias significativas.

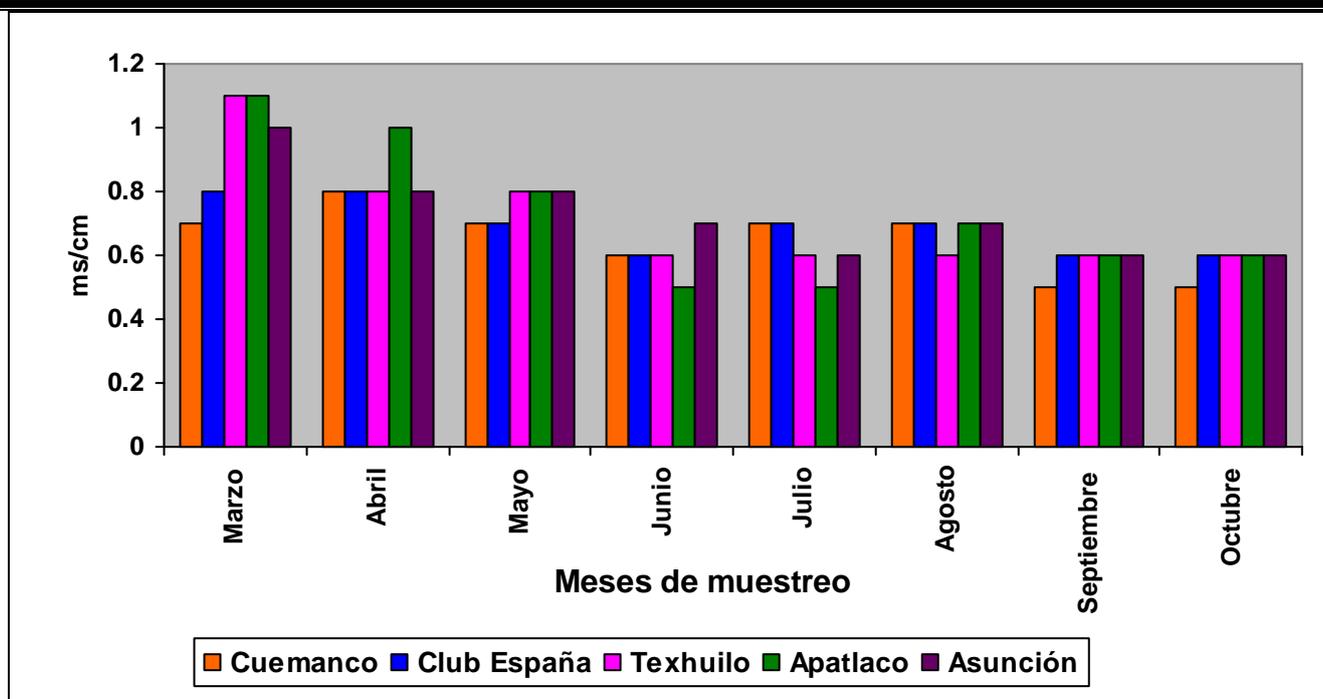
Por otra parte, los resultados más elevados se registraron en Texhuilo y Apatlaco, tal vez debido al tipo de uso de suelo, ya que por un lado se emplean fertilizantes en los cultivos (Ramos-Bello, 2001) y por las descargas domésticas, con lo que se produce gran cantidad de partículas suspendidas formando compuestos iónicos a lo largo de la columna de agua (Snoeyink y Jenkis, 1987).

La conductividad en la estación Apatlaco en nivel superficie durante los meses de Marzo y abril los valores fueron los más altos, mientras que en junio y Julio fueron los más bajos (ver gráfica 11-14). Los valores que se observaron homogéneos en las estaciones Cuemanco y Club España, probablemente se debe a que son lugares que difieren de tan sólo unos metros de distancia, al paso de las trajineras, además del hecho de que el sistema es cerrado y los canales están interconectados, los resultados concuerdan con Díaz y Domínguez, quienes registraron los mismos en su estudio en 2002.

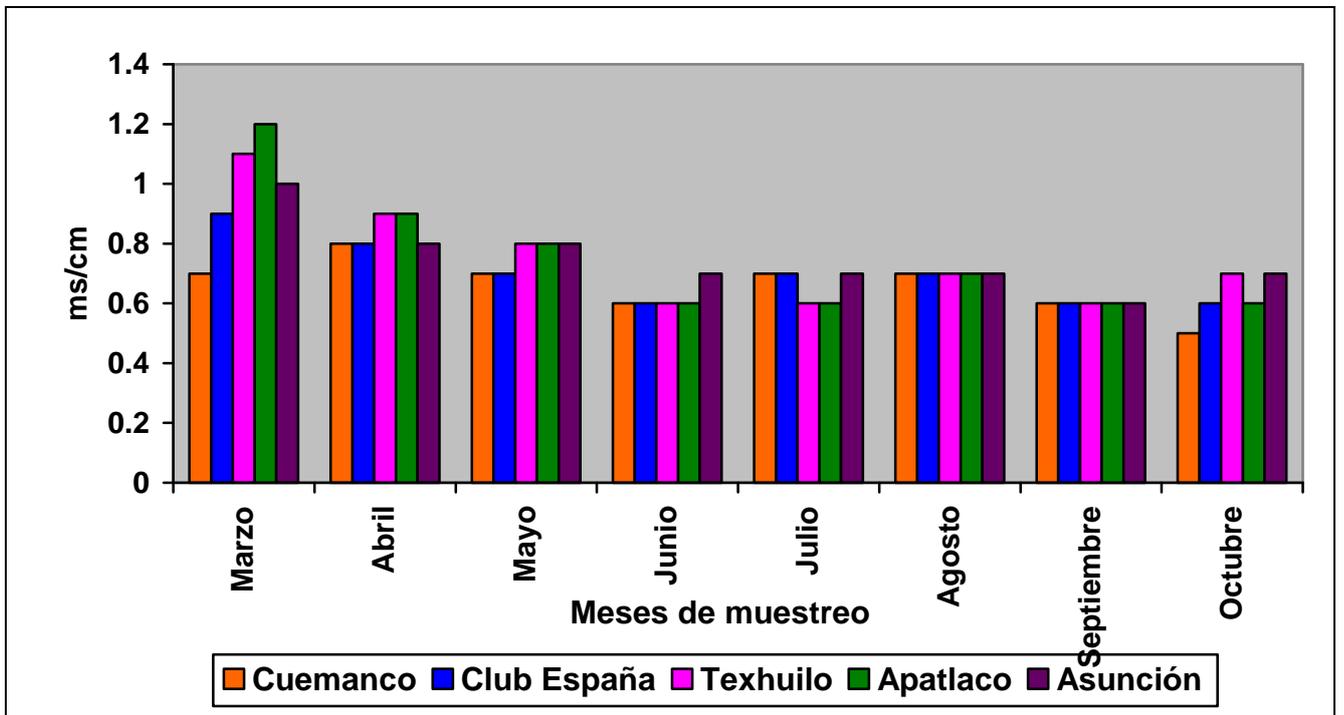
Se llevo a cabo la determinación de los TSD con datos obtenidos de conductividad eléctrica, los resultados que se muestran en la tabla 7 indican valores representativos de cuencas cerradas, y la constante renovación de los canales de agua.

Tabla No. 7. Concentraciones promedio de sólidos disueltos totales (TSD en g/L) de las estaciones de muestreo en el lago de Xochimilco.

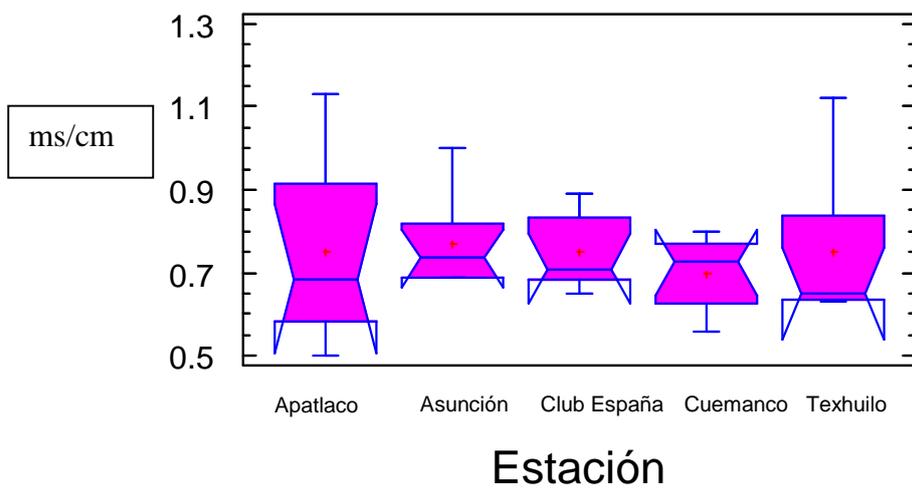
Salida Estación	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Octubre
Cuemanco	0.49	0.52	0.48	0.43	0.46	0.47	0.38	0.37
Club España	0.58	0.57	0.50	0.44	0.45	0.46	0.42	0.44
Texhuilo	0.73	0.57	0.52	0.43	0.42	0.43	0.40	0.43
Apatlaco	0.75	0.63	0.52	0.35	0.38	0.49	0.39	0.40
Asunción	0.65	0.54	0.52	0.47	0.45	0.48	0.43	0.44



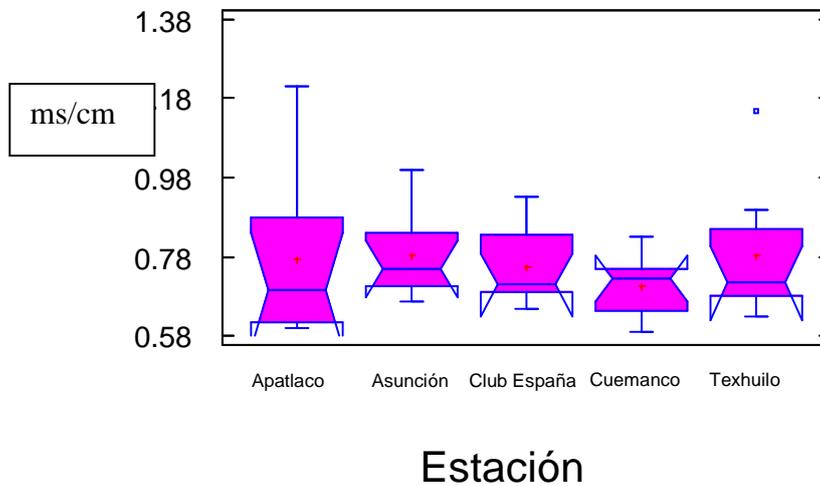
Gráfica No. 11- Análisis temporal de la conductividad eléctrica en los sitios de muestreo en el lago de Xochimilco en el nivel "superficie".



Gráfica No. 12- Análisis temporal de la conductividad eléctrica en los sitios de muestreo en el lago de Xochimilco en el nivel "fondo".



Gráfica No. 13 – Análisis de cajas múltiples con muescas para conductividad eléctrica por estaciones en el nivel "superficie".



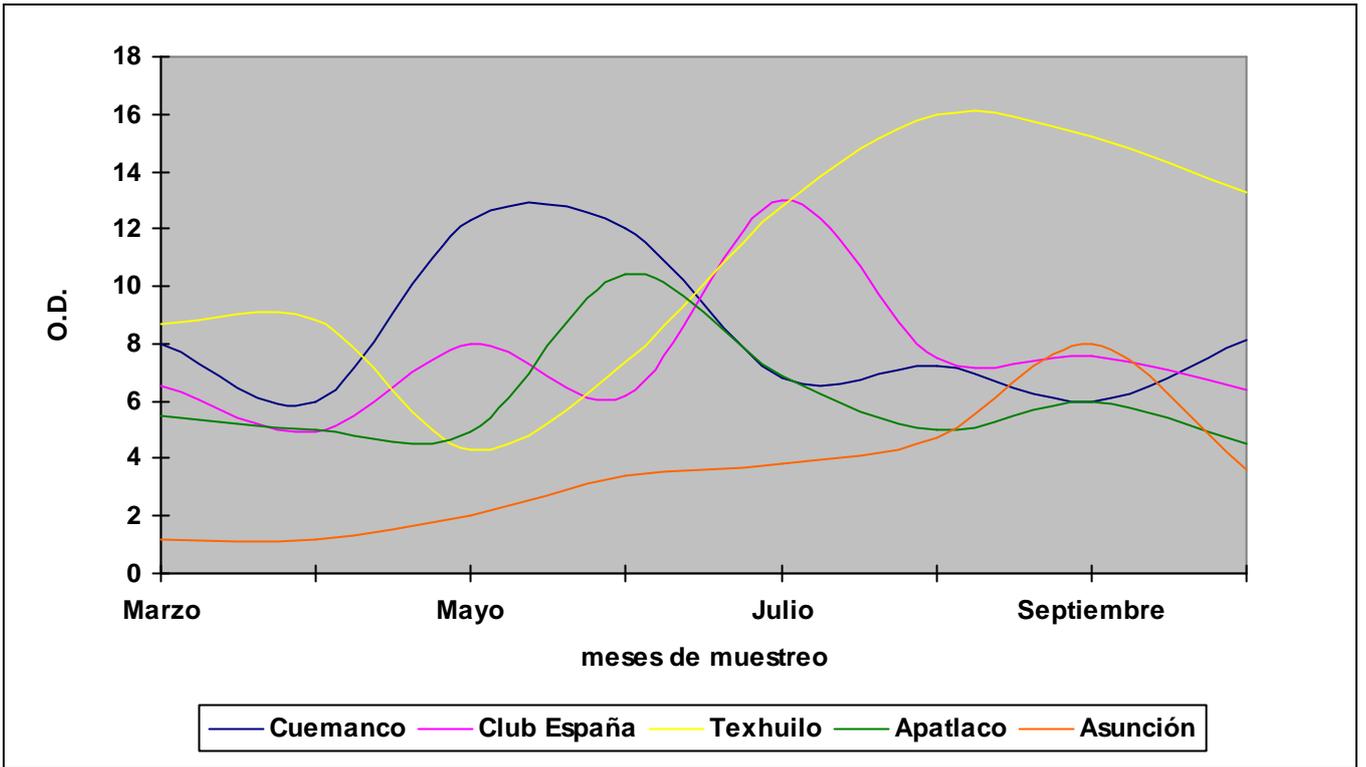
Gráfica No. 14– Análisis de cajas múltiples con muescas para conductividad eléctrica por estaciones en el nivel “fondo”.

9.1.6 Oxígeno Disuelto

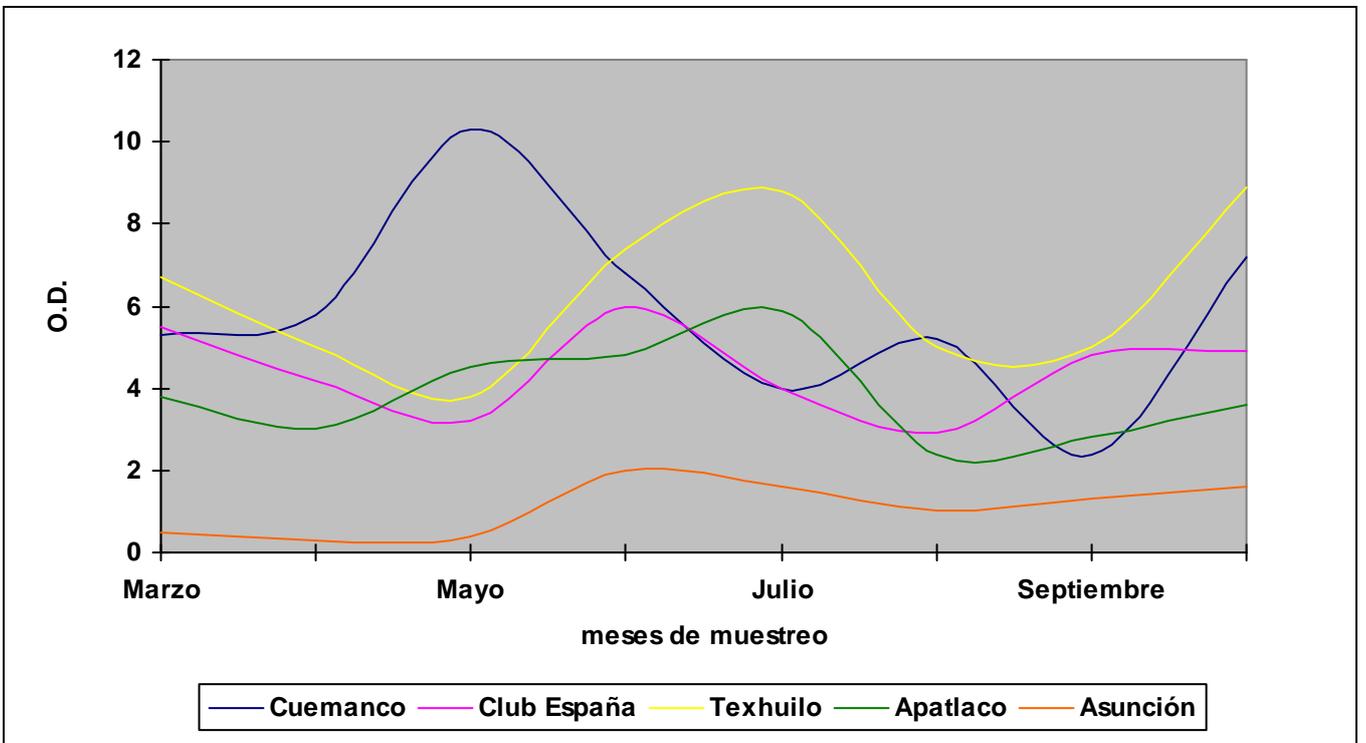
El comportamiento de O_2 en relación a los diferentes puntos de monitoreo fue relativamente heterogéneo (gráficas 15, 16), de acuerdo a ANDEVA $p < 0.05$), observándose los mayores resultados en la estación de Texhuilo debido probablemente a la influencia de la productividad del gas en virtud de la elevada concentración de los procesos fotosintéticos que están restringidos relativamente a una pequeña zona, la cual esta limitada por el rango vertical de transmisión de luz efectiva (Reid y Wood, 1976); 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 (Garbagnati y col, 2005; García y López, 2006; Morábito, 2007), y por procesos de descomposición trófica de M.O. que agotan

el O₂ debido a reacciones oxidativas, sobretodo en la interfase agua-sedimento, en donde la actividad microbiana es más intensa (Wetzel, 1981). La diferencia entre superficie y el fondo osciló de 1 mg l⁻¹ a 9 mg l⁻¹, resultados también reportados por Olvera (2004).

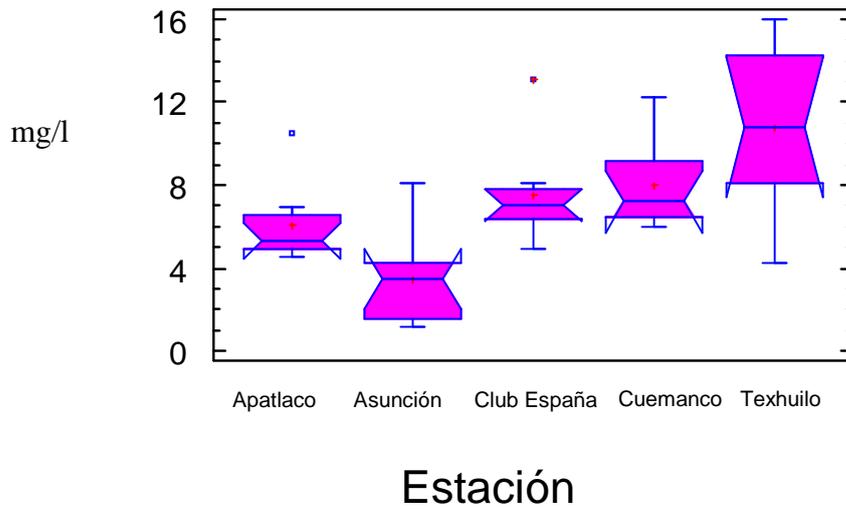
La estación con menos variabilidad temporal (gráfica 17,18) fue Asunción en promedio el oxígeno obtenido fue de 1-3 mg/l⁻¹, esto principalmente se debió a que se registro la profundidad más baja, particularmente en primavera y verano, cuando el agua a nivel superficie se calienta por la absorción de la luz solar y a nivel fondo la penetración de luz disminuye, haciendo el agua fría, con poca trasferencias entre ellas (Baird,2001), y provocando el florecimiento de las algas , es decir, de la actividad bacteriana, reduciendo el abasto de oxígeno (Reid y Wood, 1976) con lo que hay una disminución de este gas y se afecta la distribución de las formas de vida en el sistema (Turk, 2001). Por otra parte en otoño e invierno la capa superior de agua se enfría por el aire característico de la época, ocasionando que ésta se torne mas densa que la inferior y la gravedad provoque la mezcla de ambas homogenizándolas (Figuerelo y Marino, 2001).



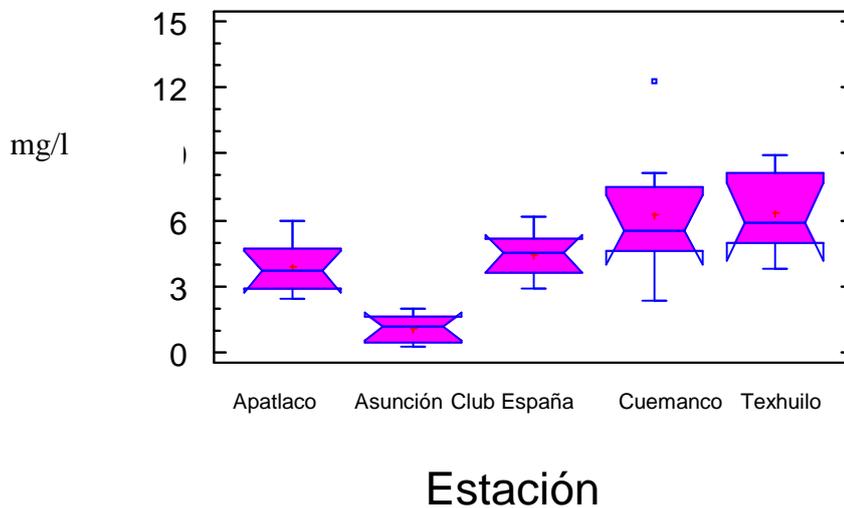
Gráfica 15. Variación temporal del O.D. en los sitios de muestreo del lago de Xochimilco en el nivel "superficie".



Gráfica 16. Variación temporal del O.D. en los sitios de muestreo del lago de Xochimilco en el nivel "fondo".



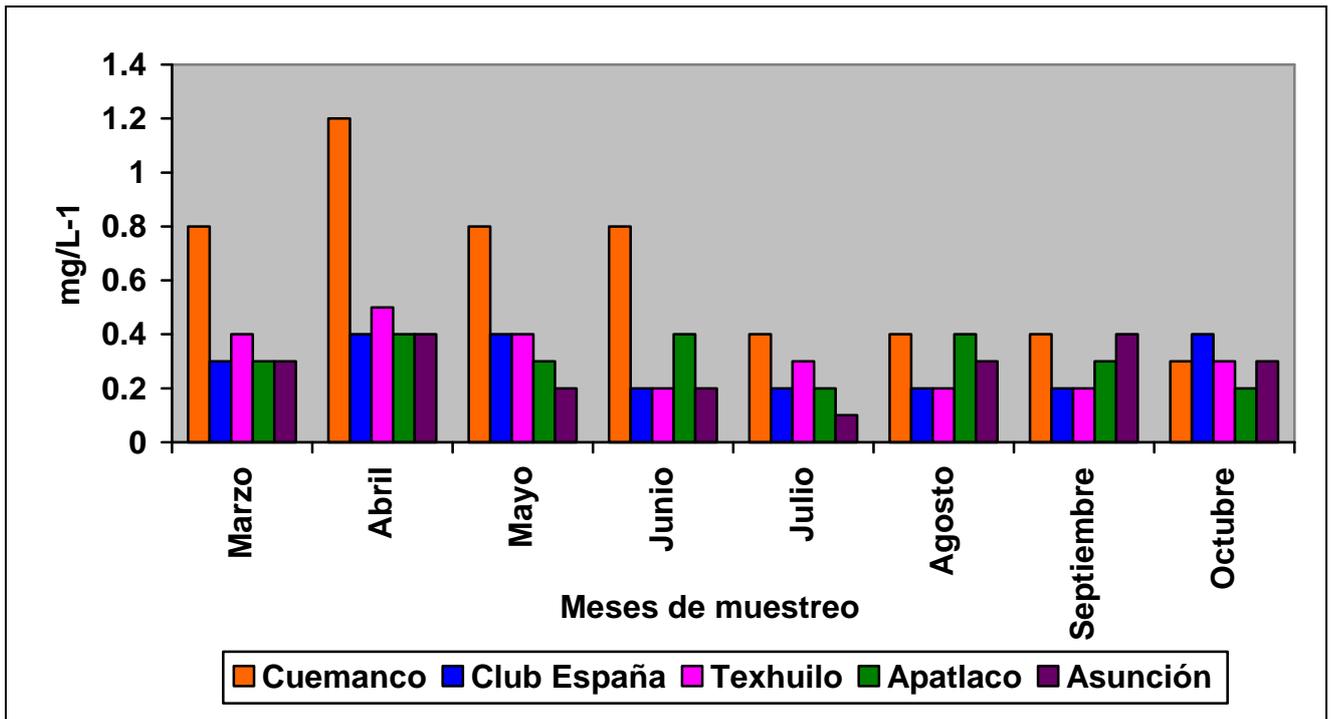
Gráfica No. 17– Análisis de cajas múltiples con muescas para Oxígeno Disuelto (O.D.) por Estaciones en el nivel "superficie".



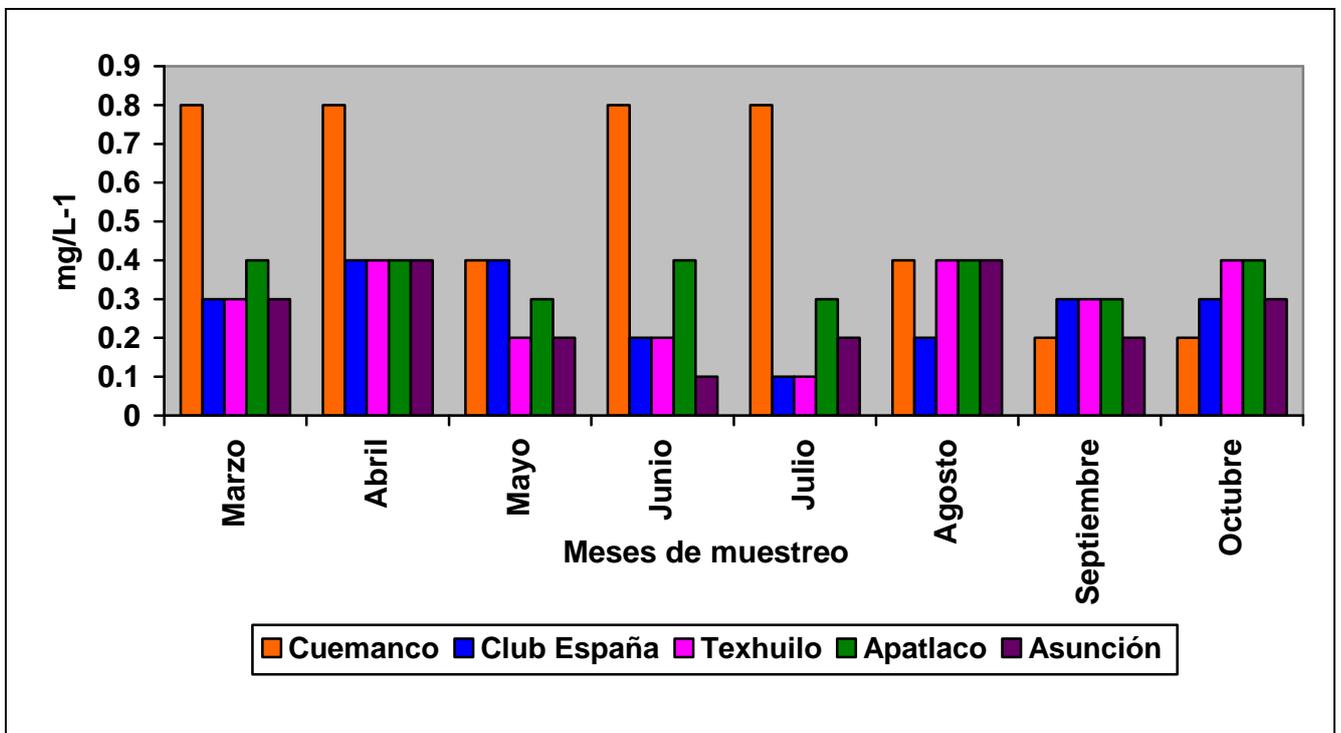
Gráfica No. 18 – Análisis de cajas múltiples con muescas para Oxígeno Disuelto (O.D.) por Estaciones en el nivel "fondo".

9.1.7 Carbonatos (CO_3) y 9.1.8 Bicarbonatos (HCO_3)

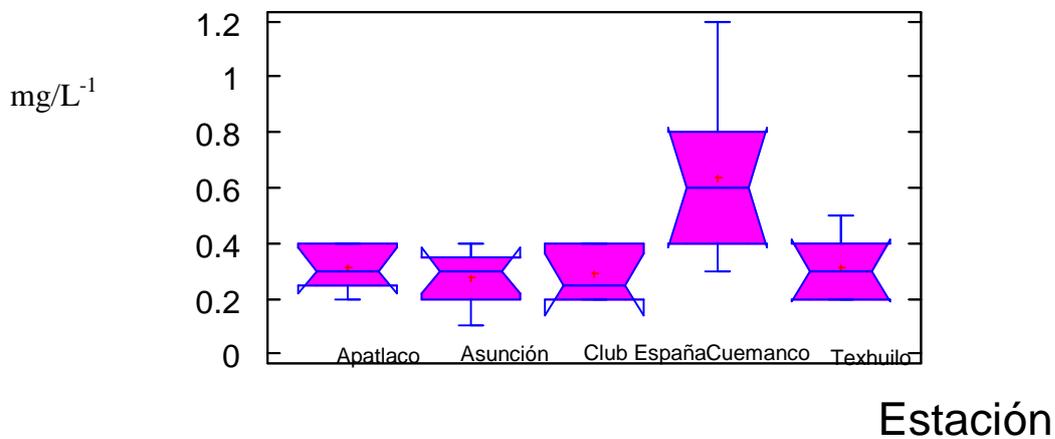
El valor de la probabilidad de ANDEVA <0.05 indicó que existen diferencias entre las zonas estudiadas para los carbonatos como para los bicarbonatos, cumpliéndose el supuesto de homogeneidad y se corroboraron los datos con las medias obtenidas con los gráficos de cajas y bigotes. En la estación Cuemanco los resultados más altos fueron de 1.2mg/L^{-1} en superficie y 0.8 mg/L^{-1} en fondo, mientras que en Asunción a nivel superficie y fondo los valores fueron los mismos 0.1mg/L^{-1} , al igual que en las demás estaciones. En lo que se refiere a los bicarbonatos, es en Asunción donde se determinaron los valores más altos 1.7 mg/L^{-1} en superficie y 4.16 mg/L^{-1} en fondo, los más bajos se presentaron en Cuemanco, de 0.2 mg/L^{-1} , tales valores deben estar siendo determinados por a la evaporación del agua y del arrastre de las sales disueltas en el suelo hacia el sistema (Borbolla y col, 2006), ver gráficas 19-26. Probablemente estos resultados son porque las sales del suelo son arrastradas hacia el interior del embalse produciendo un cambio de pH en superficie y fondo. De acuerdo con Wetzel, 1975, a niveles mayores de 9.5 el carbonato comienza a adquirir preponderancia en la alcalinidad en el cuerpo de agua (Zuazúa y col, 1996).



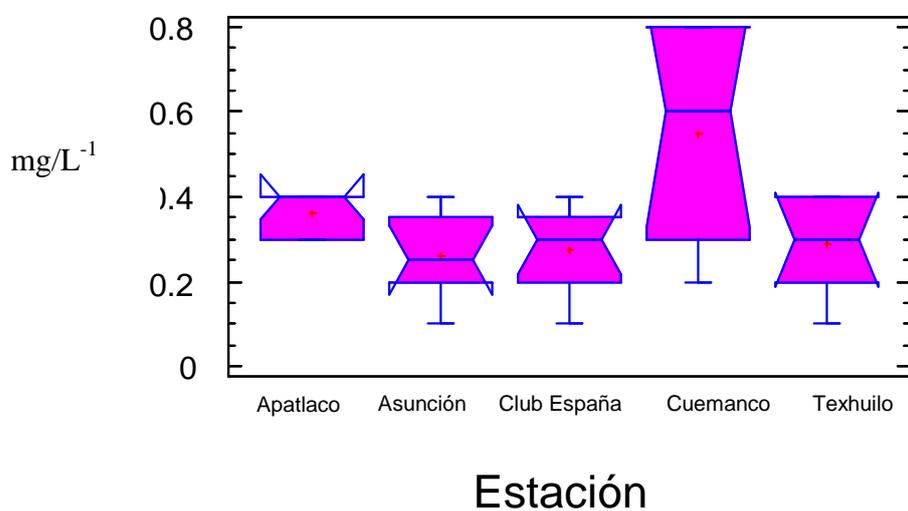
Gráfica No. 19- Análisis temporal de los Carbonatos (CO₃) en los sitios de muestreo en el lago de Xochimilco en el nivel "superficie".



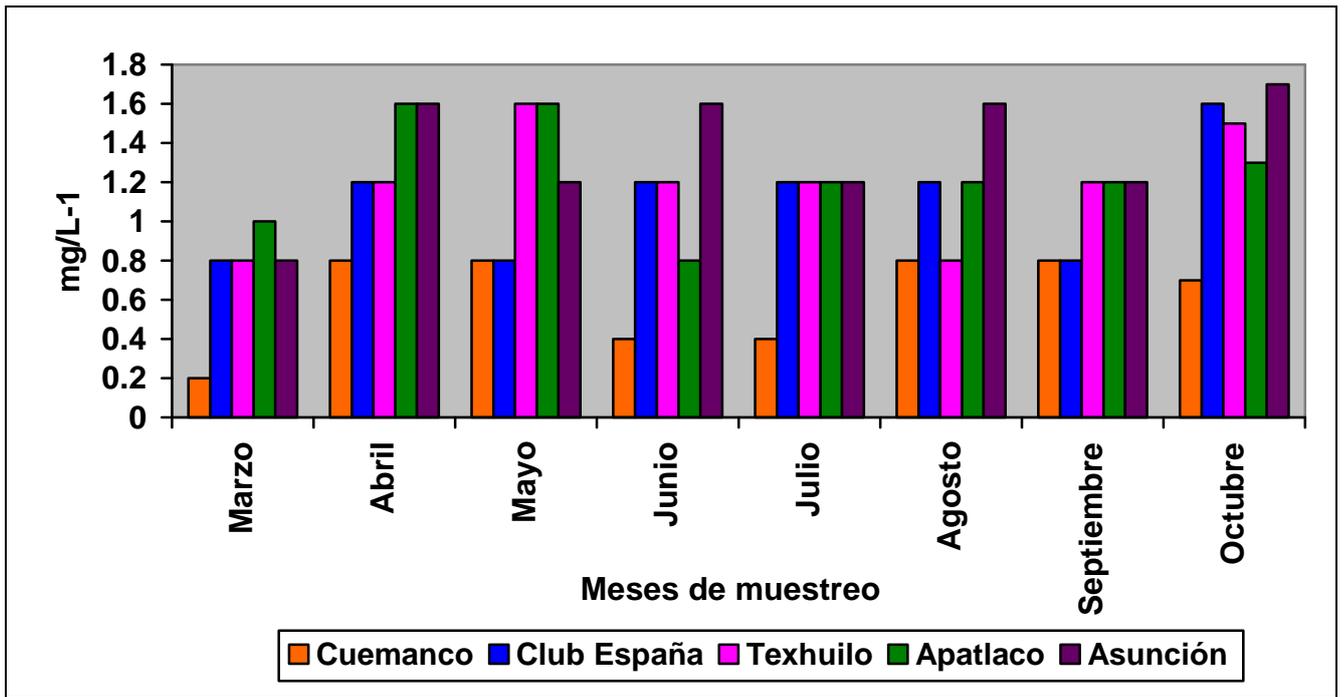
Gráfica No. 20- Análisis temporal de los Carbonatos (CO₃) en los sitios de muestreo en el lago de Xochimilco en el nivel "fondo".



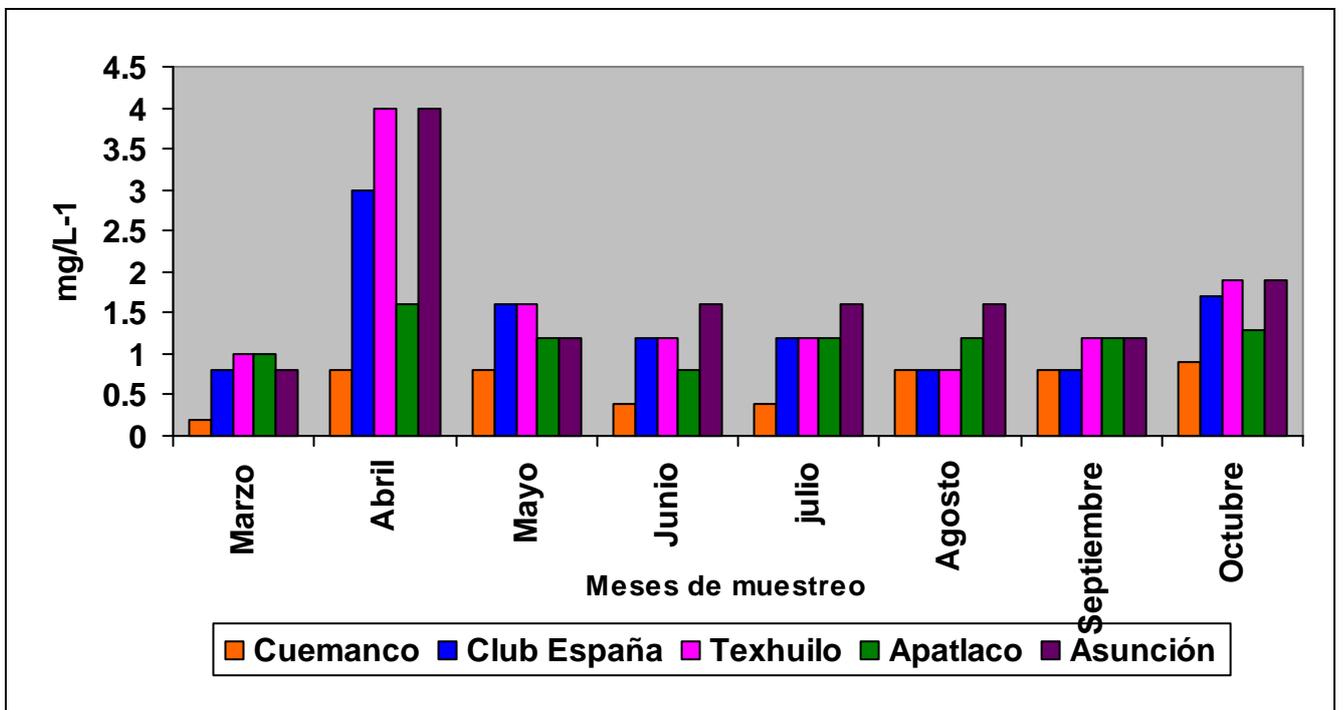
Gráfica No. 21- Análisis de cajas múltiples con muescas para carbonatos (CO₃) por estaciones en el nivel "superficie".



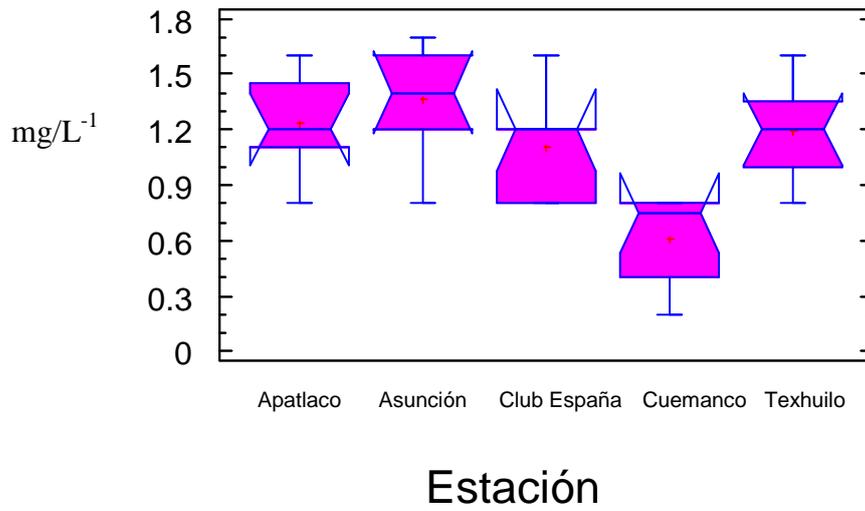
Gráfica No. 22- Análisis de cajas múltiples con muescas para carbonatos (CO₃) por estaciones en el nivel "fondo".



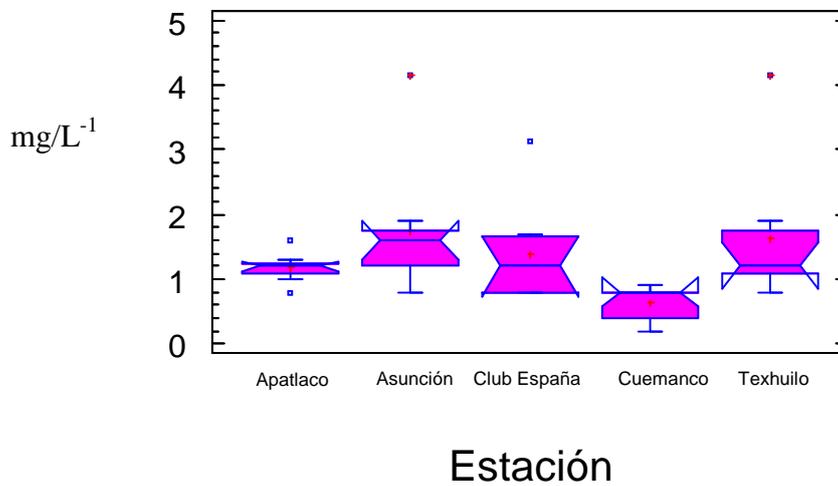
Gráfica No. 23 – Análisis temporal de los bicarbonatos (HCO_3^-) en los sitios de muestreo en el lago de Xochimilco en el nivel "superficie".



Gráfica No. 24– Análisis temporal de los bicarbonatos (HCO_3^-) en los sitios de muestreo en el lago de Xochimilco en el nivel "fondo".



Gráfica No. 25– Análisis de cajas múltiples con muescas para bicarbonatos (HCO_3^-) por estaciones en el nivel "superficie".



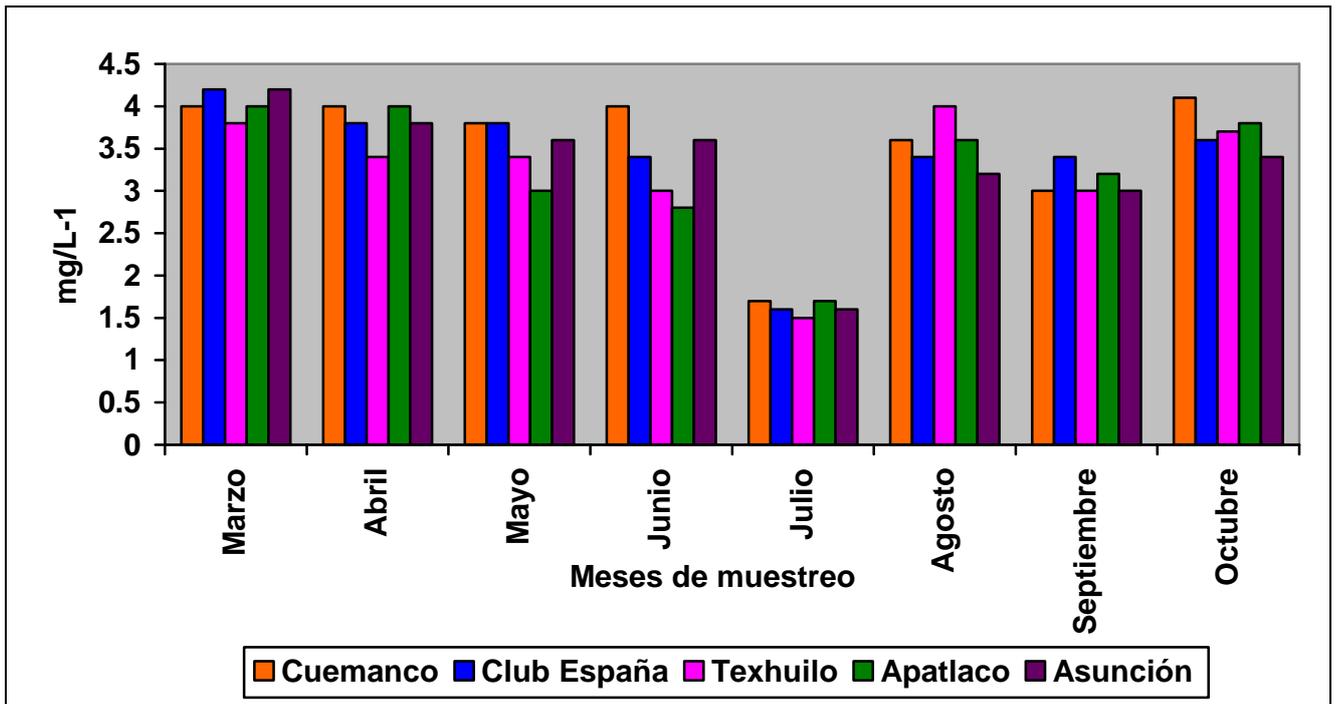
Gráfica No. 26- Análisis de cajas múltiples con muescas para bicarbonatos (HCO_3^-) por estaciones en el nivel "fondo".

9.1.9 Cloruros (Cl⁻)

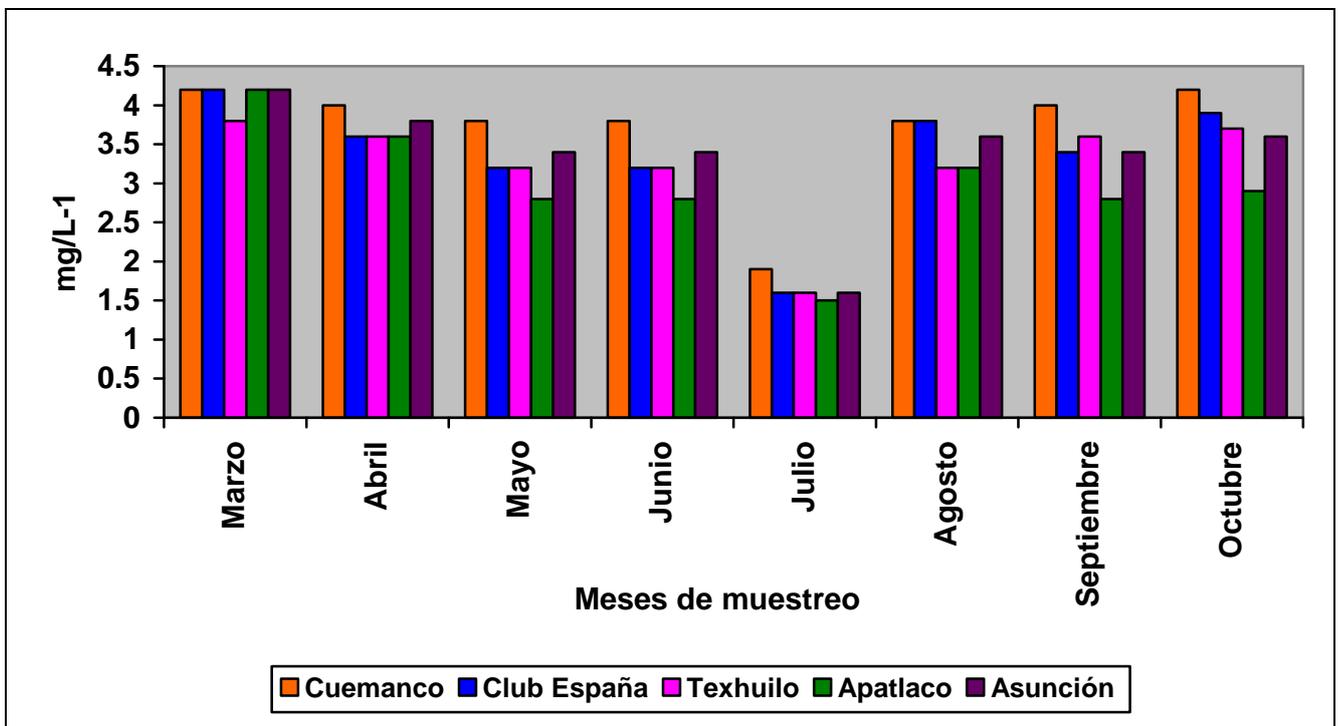
El comportamiento de los cloruros en relación a los diferentes puntos de monitoreo fue homogéneo espacial y temporalmente, los resultados que se obtuvieron oscilaron entre 3.8-4.2 mg/L⁻¹ en todas las estaciones debido probablemente a la influencia de la presencia humana (gráfica 27, 28). Los cloruros afectan el balance osmótico general de la salinidad y al intercambio iónico, su utilización metabólica no provoca variaciones significativas en la distribución espacial y estacional del lago (Wetzel, 1981; Romero, 1999; Garbagnati, 2005). De acuerdo a García, 2003; Gática, 2003, se consideran a esta aguas como cloruradas normales.

El contenido máximo de cloruros en las aguas fue de 4.2 mg/l tanto a nivel superficie como en fondo, esto debido a la presencia de excretas humanas en toda las estaciones estudiadas particularmente y por la orina, que contiene cloruros en proporción aproximada a la consumida en la alimentación de 12 a 15 grs. diarios (Martínez, 2003).

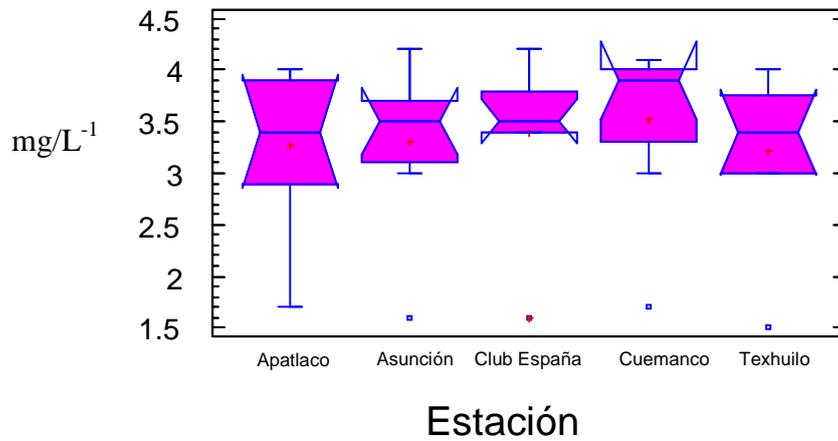
Se determinó la prueba estadística ANDEVA con los datos de cada una de las estaciones de monitoreo, en superficie y en fondo, obteniéndose un valor de probabilidad de 0.11 en superficie y de 0.42 a nivel fondo, lo cual indica que no existen diferencias entre los sitios estudiados. Después se comprobó la homogeneidad de varianzas con el valor de probabilidad que fue de 0.01 para superficie y de 0.99 para fondo. Cumpliéndose el supuesto de homogeneidad. Y por último se realizó una comparación de las medias con una prueba Tukey, encontrando las semejanzas que se muestran en la gráfica No.29 y 30.



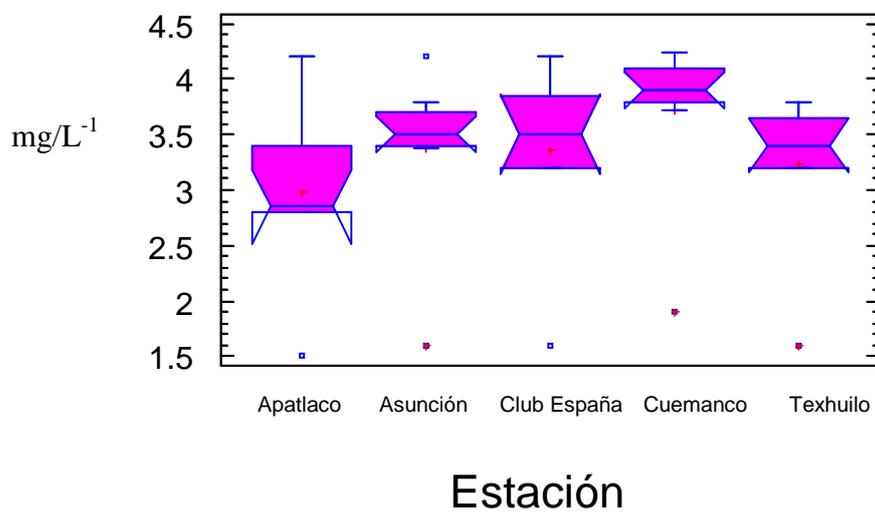
Gráfica No. 27- Análisis temporal de los cloruros (Cl⁻) en los sitios de muestreo del lago de Xochimilco en el nivel "superficie".



Gráfica No. 28- Análisis temporal de los cloruros (Cl⁻) en los sitios de muestreo del lago de Xochimilco en el nivel "fondo".



Gráfica No. 29- Análisis de cajas múltiples con muescas para cloruros (Cl⁻) por estaciones en el nivel "superficie".

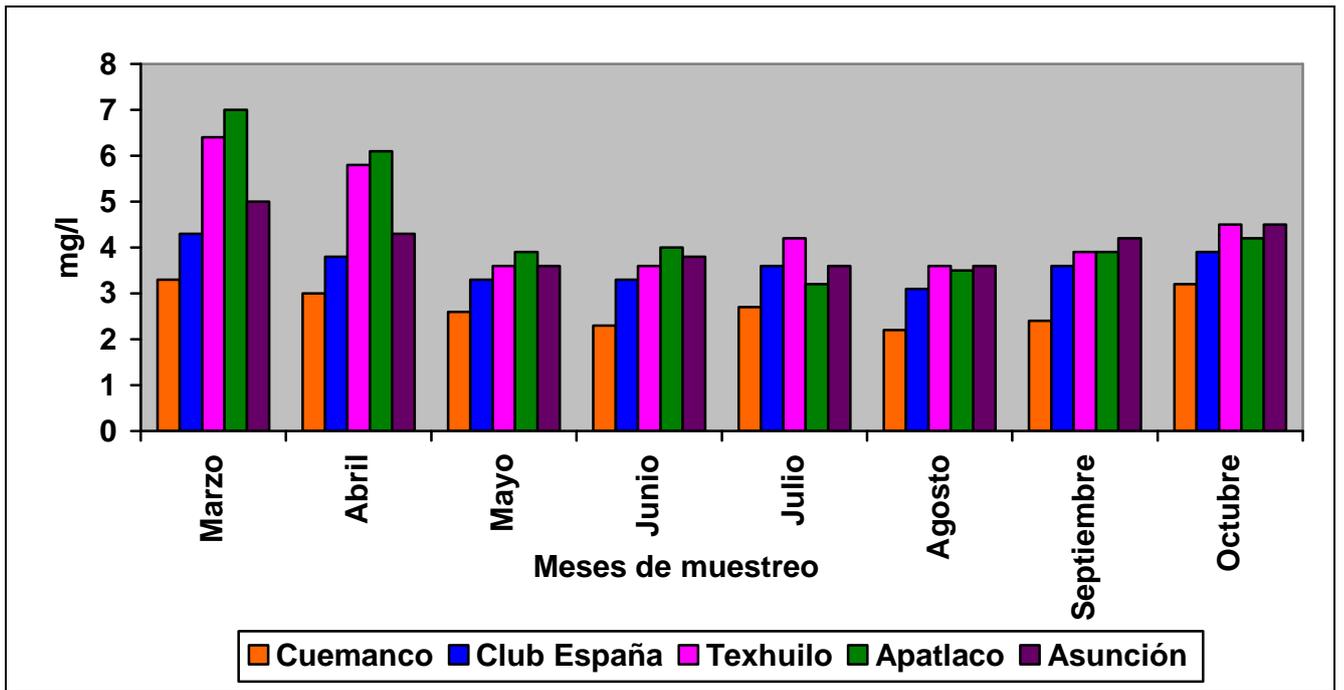


Gráfica No. 30 - Análisis de cajas múltiples con muescas para cloruros (Cl⁻) por estaciones en el nivel "fondo".

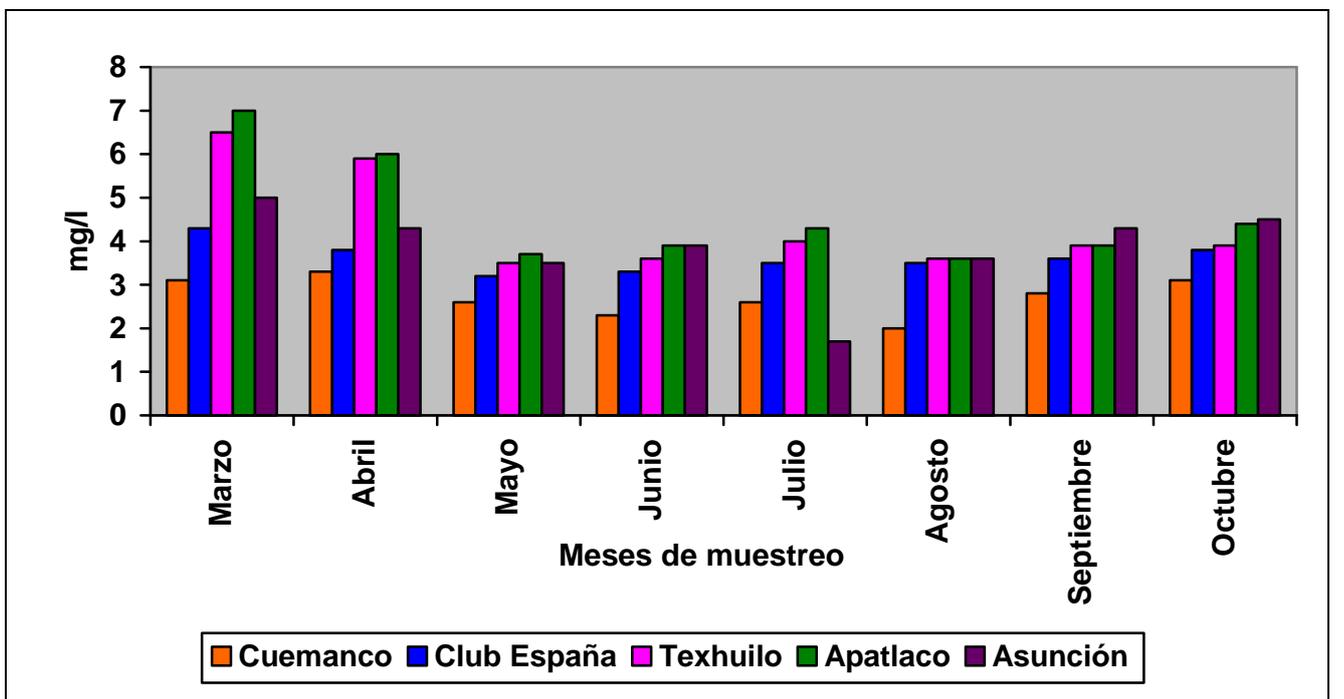
9.1.10 Dureza

Respecto al parámetro de la dureza; espacialmente presento un comportamiento homogéneo durante todo el muestreo (gráficas 31, 32). Con la prueba estadística ANDEVA se obtuvo un valor de probabilidad > 0.05 en superficie y de 0.0006 en fondo, observándose diferencias entre los sitios estudiados temporalmente. Se comprobó la homogeneidad de varianzas con el valor de probabilidad de 0.038 para superficie y de 0.001 en fondo. Cumpliéndose el supuesto de homogeneidad. Y por último se realizó una comparación de las medias con una prueba Tukey, encontrando las semejanzas que se muestran en la gráfica (ver gráficas 33, 34). Este parámetro se relaciona al uso de agua doméstica para reaccionar con jabón (Zuazúa, 2006).

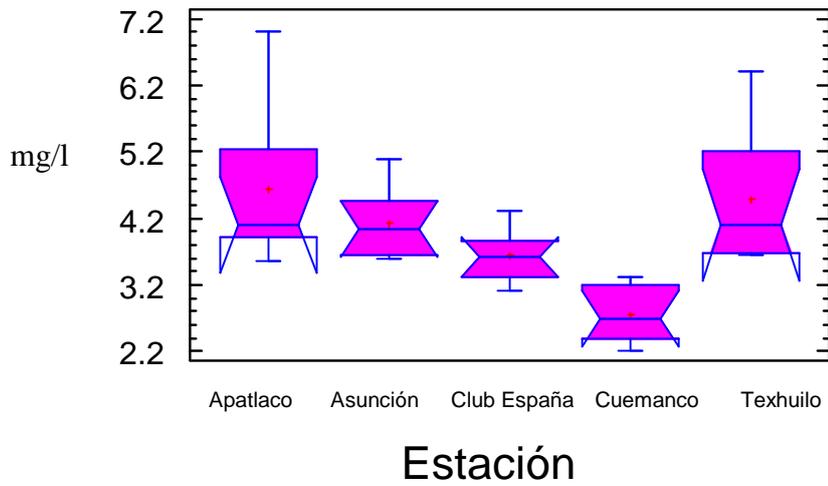
En la estación Apatlaco se registraron valores de 7.0mg/l de CaCO_3 a nivel superficie y fondo, los resultados obtenidos indican una relación homogénea en la columna de agua. Además de que el agua al pasar por las formaciones rocosas y las capas de suelo adquiere condiciones ácidas, donde la acción de las bacterias generan CO_2 , existiendo interacción entre el ácido carbónico, la zona agrícola y el vertimiento de aguas residuales domésticas, es por ello el agua presentó más sales de calcio y magnesio que en otras áreas estudiadas (Chang, 1993; Chávez y col, 2006). En general, la dureza del agua subterránea es relativamente estable y no cambia a cierto tiempo (Hill 2006), como en el caso de las demás estaciones donde se registraron valores de 1.70mg/l .



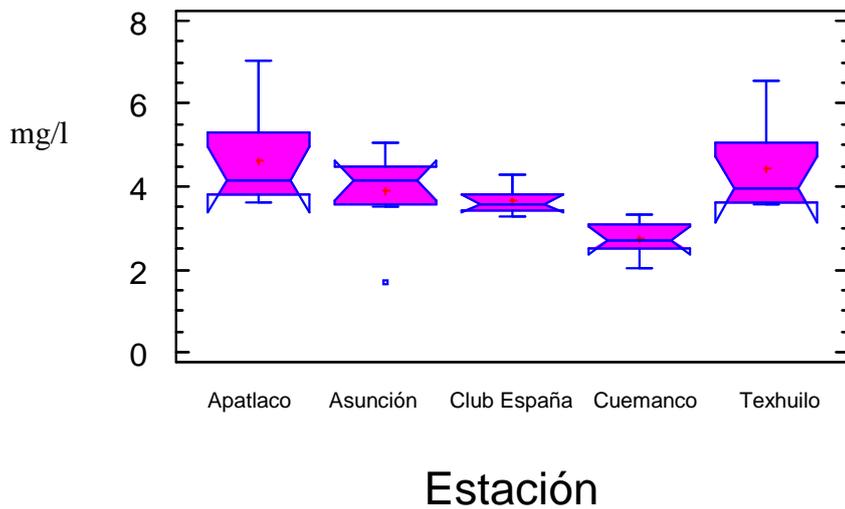
Gráfica No. 31- Análisis temporal de la dureza en los sitios de muestreo del lago de Xochimilco en el nivel "superficie".



Gráfica No. 32- Análisis temporal de la dureza en los sitios de muestreo del lago de Xochimilco en el nivel "fondo".



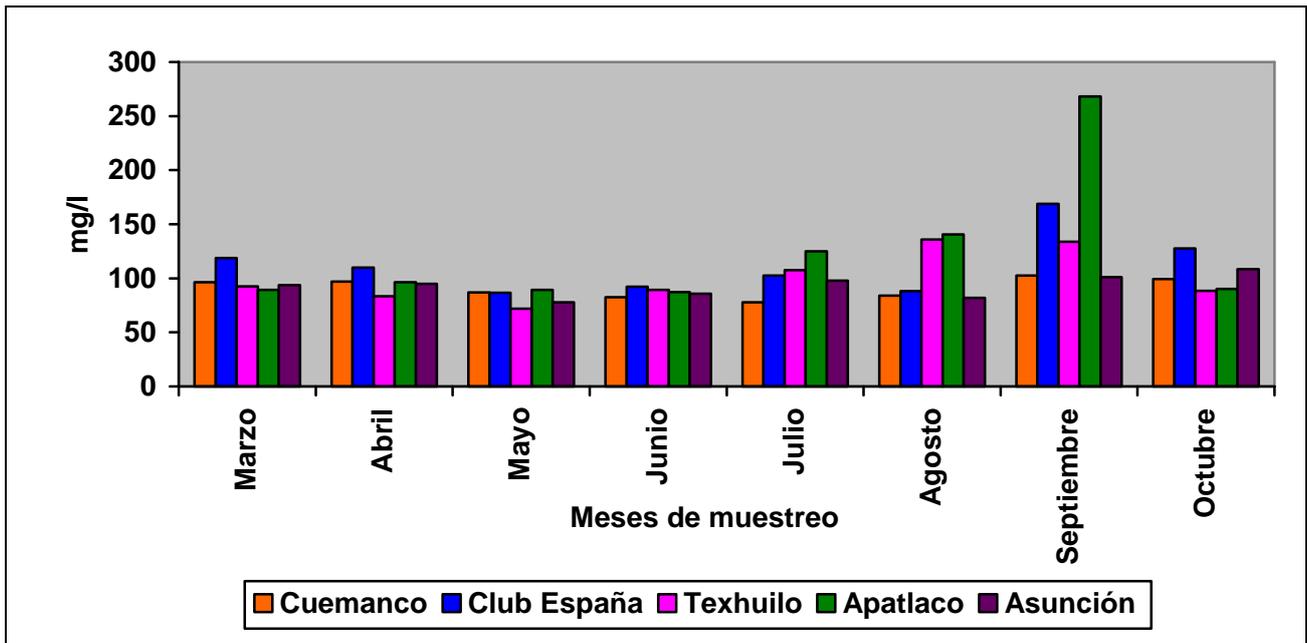
Gráfica No. 33 - Análisis de cajas múltiples con muescas para dureza por estaciones en el nivel "superficie".



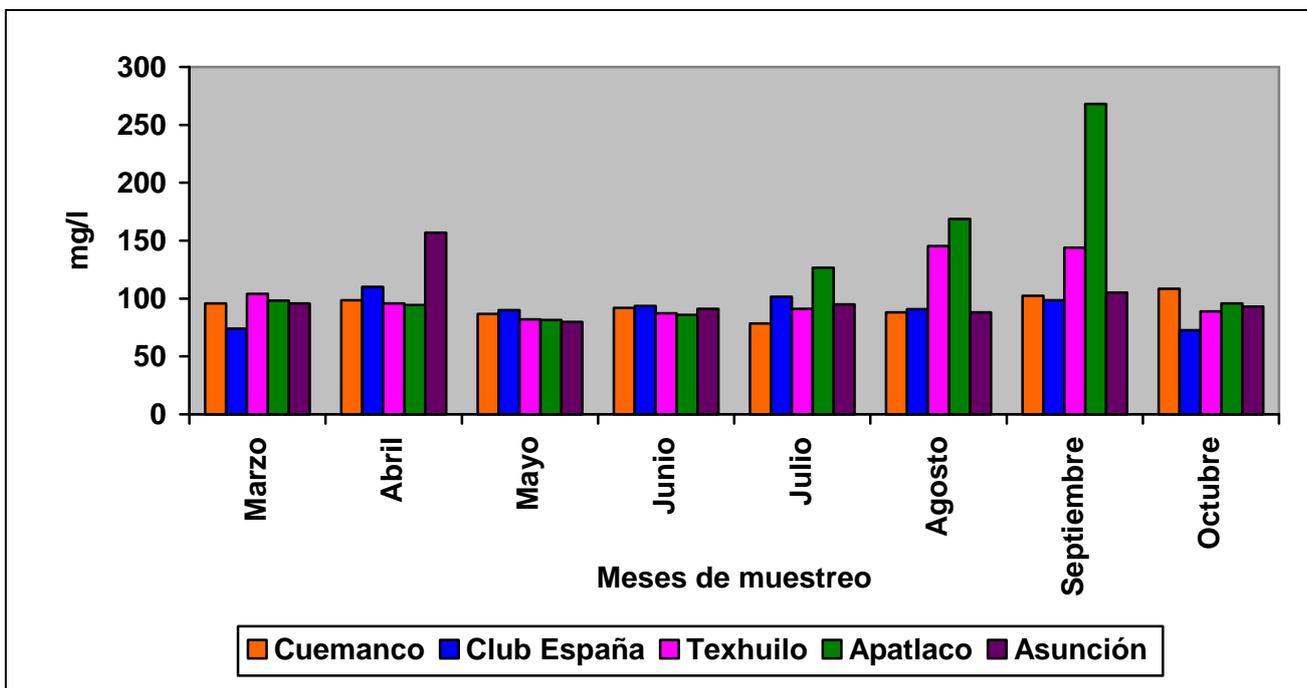
Gráfica No. 34- Análisis de cajas múltiples con muescas para dureza por estaciones en el nivel "fondo."

9.1.11 Sulfatos (SO_4)

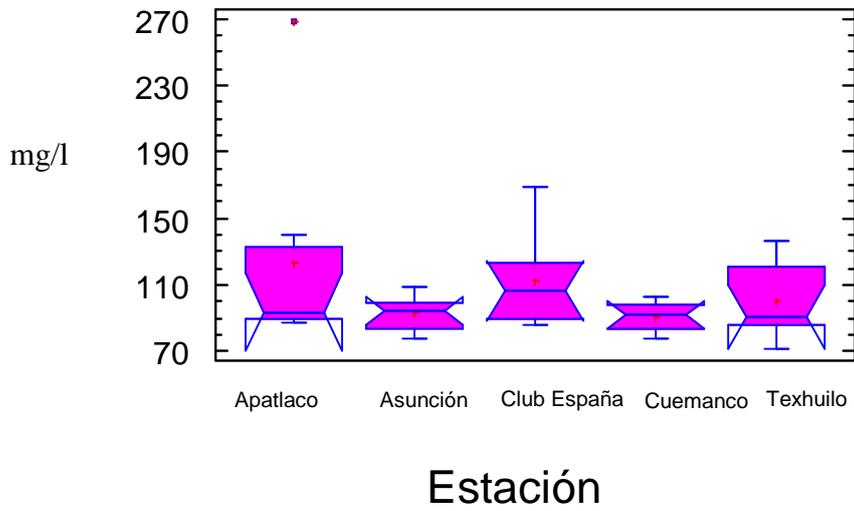
Los sulfatos pueden proceder de la oxidación de los sulfuros que derivan de la descomposición de materia orgánica. Sin embargo, aguas ricas en sulfatos disponen de una reserva suplementaria de oxígeno que puede mitigar la eutrofización de las cubetas de agua (Margalef, 1983). Durante los meses de primavera y verano, el sistema presentó un comportamiento homogéneo con valores de los 71.9mg/l a los 77.9 mg/l para aumentar significativamente durante la época de otoño, de 102.5mg/l a 268.2mg/l en todas las estaciones en superficie y en fondo (gráficas 35, 36). Este comportamiento probablemente sea por la época de disminución de lluvias y de la capacidad de retención de agua del sistema. Tal es el caso de Apatlaco, con valores altos en los dos diferentes niveles (268.2mg/l) durante todo el estudio, seguido de Texhuilo; con 71.9mg/l a nivel superficie y 78.5 en la estación Cuemanco en fondo. En las demás estaciones los valores oscilaron para superficie entre 77.9mg/l 87.1mg/l y para fondo entre 81.5mg/l 258.3mg/l. Ello, hace suponer que en las estaciones donde se registraron los valores más altos se debió porque en el suelo se encuentran sulfatos y considerando que las zonas de mayor concentración fueron Texhuilo y Apatlaco (intensa actividad agrícola), es así como los aportes de éstas actividades influyeron en el aumento de ión, como son los abonos sulfatados (ver gráficas 38 y 39).



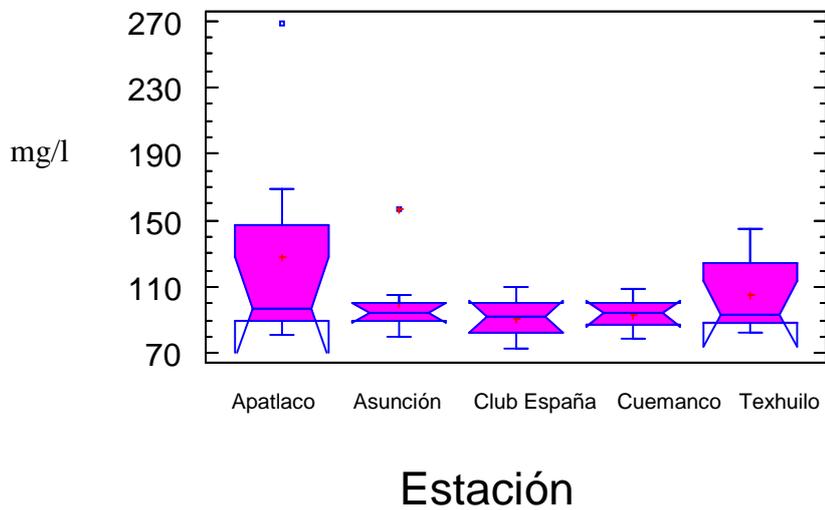
Gráfica No. 35- Análisis temporal de los Sulfatos (SO_4) en los sitios de muestreo del lago de Xochimilco en el nivel "superficie".



Gráfica No. 36- Análisis temporal de los Sulfatos (SO_4) en los sitios de muestreo del lago de Xochimilco en el nivel "fondo".



Gráfica No. 37- Análisis de cajas múltiples con muescas para sulfatos (SO₄) por estaciones en el nivel "superficie"



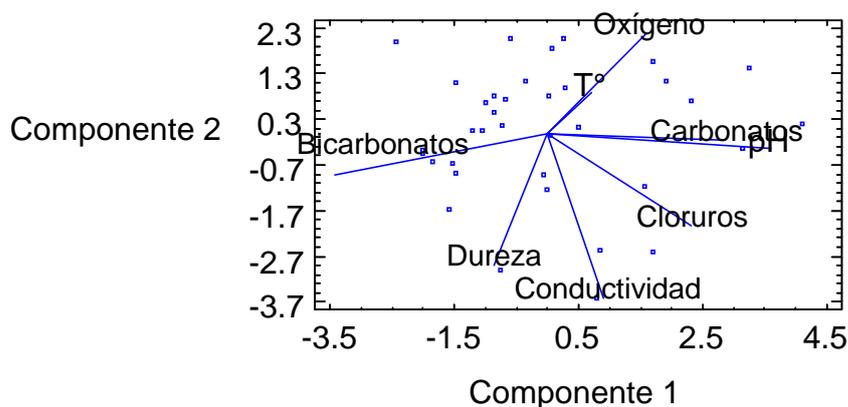
Gráfica No. 38- Análisis de cajas múltiples con muescas para sulfatos (SO₄) por estaciones en el nivel "fondo"

10. ANÁLISIS MULTIVARIADO

El análisis multivariado ayudo a observar y determinar cuales son las variables que tuvieron más peso dentro del sistema acuático, estas son: pH, la conductividad eléctrica y temperatura, en nivel superficie y en fondo. Ver tabla No.8.

Parámetro	Componente 1	Componente 2	Componente 3
pH	0.5506	-0.0628503	0.109454
Conductividad	0.139004	-0.640579	0.114512
Oxígeno	0.244475	0.382331	0.358538
Carbonatos	0.435045	-0.0253989	-0.392123
Bicarbonatos	-0.523762	-0.160415	-0.0326621
Cloruros	0.353394	-0.359251	-0.0910869
Dureza	-0.131884	-0.5099	0.421857
T°	0.108991	0.155222	0.710824

Tabla No. 8- Valores de los parámetros con mayor peso dentro del sistema a nivel superficie.



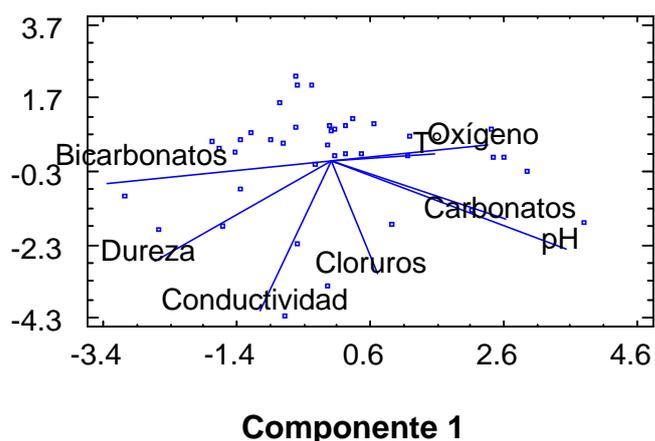
Gráfica No. 39. Relación de los dos parámetros con mayor peso dentro del sistema acuático con los demás parámetros físicos y químicos evaluados a nivel : superficie.

En la gráfica No. 40 se forman diferentes grupos de acuerdo a la relación que estos tienen con los parámetros pH, conductividad eléctrica y pH. Uno es el de pH- carbonatos, en gran medida, se debe a los valores de pH mayor a 10 hacen que el sistema tienda hacia la alcalinidad dominando los carbonatos sobre los bicarbonatos, datos que se registraron en la estación Cuemanco. El segundo grupo es conductividad eléctrica-dureza-cloruros, esto por la presencia de sustancias disueltas formadas en las capas profundas del lago y por el arrastre de las sustancias al agua por acción del viento que determinan la conductividad eléctrica, a su vez estos determinan si un agua presenta dureza y cloruros porque estos dependen de la composición química del agua (Sierra, 2007). Un tercer grupo es el conformado por temperatura-oxígeno disuelto al aumentar la temperatura, aumentan las reacciones enzimáticas y tasas de reproducción (Margalef, 1983). Los bicarbonatos se no forman ningún grupo por que como se menciona anteriormente, el medio presento tendencia hacia la alcalinidad, por lo que estos no reflejan importancia dentro del sistema. En la siguiente tabla (9), se muestra que al igual que en superficie, los componentes con mayor

peso dentro del sistema acuático son: pH, conductividad eléctrica y temperatura.

Parámetro	Componente 1	Componente 2	Componente 3
pH	0.515637	-0.371406	-0.0196948
Conductividad	-0.154091	-0.62445	0.00373158
Oxígeno	0.344007	0.0676659	-0.465833
Carbonatos	0.383046	-0.243857	-0.210349
Bicarbonatos	-0.487084	-0.094402	-0.230557
Cloruros	0.102019	-0.470833	0.0350406
Dureza	-0.382902	-0.420287	0.127747
T°	0.225913	0.0289624	0.817097

Tabla No. 9. Valores de los parámetros con mayor peso dentro del sistema a nivel fondo.



Gráfica No. 40. Relación de los dos parámetros con mayor peso dentro del sistema acuático con los demás parámetros físicos y químicos evaluados a nivel : fondo.

En nivel fondo sucedió lo mismo que en superficie, los tres componentes principales de mayor peso dentro del sistema son pH, conductividad eléctrica y temperatura, bicarbonatos, estos últimos aunque quedan fuera de los grupos mencionados tienen gran relación con los carbonatos. Estos tres grupos se deben probablemente a que la temperatura y el oxígeno se relacionan por el metabolismo de los organismos, conforme a mayor temperatura las sales disueltas están con más movimiento y por lo tanto aumenta la conductividad eléctrica, disminuyendo la concentración de oxígeno disuelto (ver gráfica 41). También porque los iones determinan el pH, por consiguiente la alcalinidad del medio (Rigola, 1999).

11. CONCLUSIONES

En relación con los parámetros físicos y químicos del sistema se puede concluir lo siguiente:

- El sistema es poco somero con no más de 2.5 m de profundidad máxima.
- La transparencia promedio fue de 0.6 m. en Club España debido a una alta productividad primaria y de 0.1 m. en la estación Cuemanco donde predominaron altas cargas de materia orgánica.
- La temperatura presentó diferencias temporales entre superficie y fondo de $\pm 5^{\circ}\text{C}$, con comportamiento homogéneo espacialmente.
- El pH promedio fue de 7.2-9.4, con una tendencia del sistema de amortiguamiento hacia los bicarbonatos, esto se presentó tanto espacial como temporalmente, aunque en Cuemanco presentó un pH mayor a 10, con tendencia hacia las formas carbonatadas.
- El O.D. presentó concentraciones inadecuadas para el desarrollo de las comunidades bióticas; niveles de subsaturación de 0.3mg/L en la estación Asunción en el nivel fondo y niveles de saturación de 15.2mg/L en la estación Texhuilo en el nivel superficie.

El sistema es de tipo 2 de acuerdo con la conductividad eléctrica (típico de cuencas endorreicas) con valores de salinidad menores a 1g/L, por lo que todavía se considera al lago de Xochimilco como un sistema acuático dulce.

En relación con los análisis estadísticos se concluye que:

- A) Los siguientes parámetros que presentaron un comportamiento espacial hacia la homogeneidad, fueron: temperatura, pH, conductividad eléctrica, Cl^- , SO_4^- .

- B) Mientras que los parámetros que no presentaron un comportamiento temporal homogéneo: profundidad, transparencia, O_2 , CO_3^- , HCO_3^- y dureza.

Con respecto al análisis multivariado se concluye que:

- A) Los parámetros con mayor peso dentro del sistema fueron en el nivel superficie y fondo fueron: pH, conductividad eléctrica y temperatura.

12. RECOMENDACIONES

* El trabajo de investigación que se llevó a cabo en Xochimilco, se enfocó en evaluar algunos de los aniones y cationes que influyen en la salinidad del sistema, por lo que considera necesario continuar con estas evaluaciones abarcando el mayor número de canales en el sistema.

* Medir la salinidad de un sistema epicontinental es costoso, motivo por el cual no se realizaron todas las pruebas que se requieren para determinarla, sin embargo para tener una evaluación completa deben considerarse la mayor cantidad de aniones y cationes.

* Se recomienda continuar con las evaluaciones físicas, químicas y biológicas del sistema ya que en virtud de la influencia antropogénica, el mismo puede presentar variaciones importantes de un año a otro.

13. BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, M.L. y Estévez. J. 1992. "Estudio Edafológico del Parque Natural de Xochimilco. Departamento de Suelos y Aguas del Parque Ecológico de Xochimilco" UAM Xochimilco. México. pp. 2-7.
- Alcocer, J. y Williams. 1996. "Historical and recent changes in Lake Texcoco, a saline lake in Mexico". W. International Journal of Salt Lake Research. No. 5. Vol. 1.
- American Society for Testing and Materials. 1991. "Manual de Aguas". 3a reimpresión. Ed. Limusa. E.U.pp. 15-18.
- APHA, AWWA, WPCF. 1992. "Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales". Ed. Días de Santos, S.A. 17ª edición. Madrid. pp. 1023.
- Arratia G. 2004. "Monitoreo de la biota y calidad de agua En el río Bío-Bío, tributarios y embalse Pangue (1993 - 2003)" No. 3. Vol. 2.
- Arcos R. E y col. 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. pp.76-82.
- Arcos, R.R., Díaz, R. G., Domínguez, R. A. 2002. "Macrófitas Acuáticas: ¿Contaminantes o Soluciones de la contaminación por metales pesados". Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. México. pp. 1-8.
- Arredondo. 1992. "Características Limnológicas de Pequeños Embalses Epicontinentales, su uso y manejo en la Acuicultura". Hidrobiológica. No. 4. Vol. 3.
- 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. pp. 2-7.
- Bojórquez, C.L. 1994. "Calidad del Agua de los Canales de Xochimilco en Relación con el PREX (Informe Técnico)". Anexo I. UAM Xochimilco. México. pp. 397-404.
 - Borbolla S.M. y col. 2003. "Calidad del Agua en Tabasco". Salud en Tabasco. No. 1 Vol. 9
 - Canabal, C. 1991. "Rescate de Xochimilco, México, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco", Departamento del Distrito Federal 25. pp.6-10.
 - Cervantes S. A, Marques D. S. M. J, Rivera G. P. 2007. "Análisis Estadístico un Enfoque Practico con Statgraphics". Editor UNAM-FES Z, México D. F. pp. 1213.
 - CNA 1999. "Disponibilidad, Consumo de Agua y Tratamiento de Aguas Residuales en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México". pp. 61-81.
 - CHANG, R. 1993. "Química". McGraw-Hill. 4° ed. México, pp. 2-11
 - Chávez C. J. A., Rodríguez C. J. A., Ruiz C .R., García A .R, Serrano M .M. 2006. "La importancia de la dureza del agua". Facultad de Ingeniería Civil. DES Ingenierías Arquitectura, UMSNH. Michoacán, México. pp. 1-3
 - Chávez C. J. A., Rodríguez C. J. A., Ruiz C .R., García A .R, Serrano M.M. 2006. "Determinación de Sulfatos en aguas y su importancia en la Ingeniería ambiental". Facultad de Ingeniería Civil. DES Ingenierías Arquitectura, UMSNH. Michoacán, México. pp. 1-3
 - De La Lanza, E, G.; D. J. Alcocer; R. J. Moreno; P.S. Hernández. "Análisis químico-biológico para determinar el estatus trófico de la Laguna de Tres Palos, Guerrero, México". Hidrobiológica. N. 1.Vol. 18.

- Díaz V.M. y Dominguez. 2002. "Caracterización de Algunos Parámetros Físico Químicos del Agua y Sedimento del Lago Zempoala, Morelos, México". Acta Universitaria. N. 2. Vol. 5.
- Dickson, T. R. 1997. "Química con enfoque ecológico". Ed. Limusa. 2° ed. México. pp.406.
- Domínguez R. A., Díaz R. G. 2004. "Evaluación de la concentración de metales pesados (Cd, Cr, Pb y Zn) tanto en la columna de agua como en tres especies de macrofitas acuáticas: lirio (*Elchhornia crassipes*), lentejilla (*Lemna gibba*) y elodea (*Egeria densa*) en el lago de Xochimilco". Facultad de Estudios Superiores Zaragoza UNAM.pp. 15-23.
- Ensastigue, L.J.; G.C. Alvizo y J. L. Aguirre. 1995. "La Calidad del Agua del Parque Ecológico de Xochimilco, un estudio de la variación estacional". Memorias del Segundo Seminario Internacional de Investigadores de Xochimilco. PPEX AC. México. D.F. p.p. 281 .
- Dorador, C. et al. 2003. "Variaciones temporales de parámetros físicos, químicos y biológicos de un lago de altura: el caso del lago Chungará". Rev. Chilena de Historia Natural. N. 76. Vol. 15.
- Ezcurra E. 1996. "De Las Chinampas A La Megalópolis. El Medio Ambiente En La Cuenca De México". Ed. La Ciencia para Todos. 4ª reimpression. México. pp. 5-7, 33,42, 45, 52.
- Galindo J.A y col. 2005. "Contaminación del Río Cazones, Veracruz, México durante el periodo octubre 2004 - junio 2005". Revista Científica UDO Agrícola Núm. 1Vol. 5.
- Garbagnati M.A., González P. S., Antón R.I. Y Mallea M.A. 2004. "Características Físico-Químicas, Capacidad Buffer y Establecimiento de la línea Base Ambiental del Río Grande, San Luis, Argentina". Asociación Argentina de Ecología. Vol. 15. No. 59.
- Garbagnati A. M y col.2005 "Características físico-químicas,

capacidad buffer y establecimiento de la línea base ambiental del Río Grande, San Luis, Argentina" *Ecología Austral* n.1. v.15

- García O. L. 2003. "Indicadores Técnicos y Evaluación de la Influencia del Uso de la Tierra del Agua, Subcuenca del Río Tascalapa Yoro Honduras". Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Programa de Enseñanza para el Desarrollo y la Conservación. Costa Rica. pp. 6-13, 20, 68, 73,93
- García Estrada Fco. Javier. Y López García Hugo Antonio. 2006. "Manejo del agua potable y aguas grises en el barrio el rodeo Managua". Universidad Nacional Agraria. Facultad de recursos naturales y del ambiente. Managua. pp. 5-7
- Gatica G. J. 2006. "Análisis de la calidad del agua en el área urbana del puerto de San José. Escuintla". Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos. Guatemala. pp. 10-15, 29,30.
- Gil García Beatriz, Gonzáles Pacilio Magdalena. 2004. "Evaluación de materiales reactivos en la eliminación de sulfatos de aguas ácidas de minas". Escuela Técnica superior de ingeniería Industrial de Barcelona. España. pp.2
- Goldman C. y Home A. 1983. "Limnology". Ed. McGraw-Hill. Inc. 3° ed. New York. pp.464
- Gray N. F 1996. "Calidad del agua potable, problemas y soluciones". Ed. Acriba. 1°ed.España. pp.357
- Hernández, M. A. 1992. "Depuración de aguas residuales". Colección Seinor. 2ª edición. España. pp. 33-42.
- Hill, 2006. "Calidad del agua de los pozos en San Miguel de Allende" *Ecosystem Sciences Foundation*". N. 280. Vol 8.
- INEGI. 2001. "Los Análisis Físicos y Químicos en la Cartografía Hidrológica del INEGI", Guía Normativo Metodológica. pp. 1-27.

- Jenkis David, Snoeyink V.L., Ferguson J.F. 1983. "Química del agua". Manual de Laboratorio.. Ed. Limusa. 1ª edición. México. pp. 25-33.
- 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 S. I. R. Ortiz R. Arcos y E. Cabrera. 1995. "Evaluación Química Preliminar en los Suelos Chinamperos de Xochimilco y su Posible Repercusión en la Contaminación de las Hortalizas de la Zona". Memorias, II Seminario Internacional de Investigación de Investigadores de Xochimilco. pp. 176-185.
- Jiménez C. Blanca E. 2001. "La Contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada". Ed. Limusa. 2º ed. México. pp.926 .
- Johnson, D. E. 2000. "Métodos multivariados aplicados al análisis de datos". Thompson Editores. 3º ed. México. 556 pp.
- Lampert, W. y U. Sommer. 1997. "Limnoecology: The ecology of lakes and streams". Oxford University Press. Nueva York. E.U.A. p.382
- Leslie G., Glen T., Henry C. 1999. "Biological wastewater treatment".. Ed. Marcel Decker. 2ª. ed. USA. pp.1076.
- Margalef, R. et al. 1976. "Limnología de los embalses españoles". Vol. 1 y 2. Departamento de Ecología. Universidad de Barcelona. Ministerio de Obras Públicas. España. pp. 422.
- Margalef, R. 1983. "Limnología". Ed. Omega. 3º ed. España. pp. 1010.
- Marques M. J, 2004. "Probabilidad y Estadística para Ciencias Biológicas". Editorial Ideograma. 2ª ed. España. pp. 626.

- Martínez C. M. A., Sala B. E., Torres R. M. A. 2003. "Recuperación de metales pesados de aguas residuales por biomasa". Tesis. Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa. México. pp.7-9.
- Martínez P. C. 2003. "Comisión Municipal De Agua Potable y Alcantarillado de la Zona Conurbada de la Desembocadura del Río Panuco en el Estado de Tamaulipas". Tamaulipas. pp. 1,2.
- Metcalf, E. 1981. "Tratamiento y depuración de las aguas residuales".. Ed. Labor S. A. 2ª ed. España. pp. 239, 240, 246, 257, 266, 273.
- Moneada, H. 1989. "Recuperación ecológica de Xochimilco". Revista Mexicana Ecológica. No. 4. Vol. 5.
- Morábito J y col. 2007. "Calidad del agua en el área regadía del río Mendoza: temperatura, pH, iones solubles y sólidos"Rev. FCA UNCuyo. Tomo XXXIX. N° 1. Vol 1.
- Mercado M. L. 2000. "Variables Físicas Y Químicas De Un Arroyo Impactado Por La Actividad Antrópica". Argentina. pp. 4-6.
- Neira O. F. 2001. "Población, producción y medio ambiente en una zona de transición agrícola: el caso del agrosistema chinampero en Xochimilco". México D.F. pp. 15-20
- Norma oficial mexicana NOM-001-ECOL-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas residuales en aguas y bienes nacionales. Diario Oficial de la Federación. 1997. México. pp. 2-25.
- Odum, E. P. 1972. "Ecología, Nueva Editorial Interamericana", Edit. McGraw-Hill. 3ª ed., México. pp. 639
- Olvera, B. Y. 2004. "Aspectos Poblaciones de *Chirostoma jordani* (Woolman) (PISCES: Atherinidae) en el Sistema Lacustre de Xochimilco", México, D.F. Tesis de Maestría en Ciencias; Facultad de Ciencias, UNAM, México, D.F. p.p. 115.
- 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. pp. 53.

- 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. pp.105
- Pedraza, M.G. 1990. "Evaluación de la productividad primaria a partir de clorofila a en la Presa Valle de Bravo, Méx". Tesis Licenciatura (Biología). UNAM. México. pp.75.
- 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.
- Pujante, A. Martínez L.F.,I Tapia, G. 1995. "Microinvertebrados y calidad de las aguas de los ríos próximos a la central térmica de Andorra (Rerruel, España). Dpto. de Biología Animal. Universidad de Valencia. Limnética. Vol. 11. N. 2. España. pp. 1-8
- Ponce, P.J. y Arredondo, F.J.L. 1986. "Aporte al conocimiento limnológico de un embalse temporal tropical, por medio de la aplicación de modelos multivariados". An. Inst. Ciencias del Mar y Limnología. UNAM. No. 2. Vol. 13.
- Quiróz, F. A; A. M. Miranda; H. A. Lot. 2008 "Estudio Comparativo de algunas variables fisicoquímicas del agua en canales secundarios de Xochimilco con y sin Eichhornia Crassipes (martius) Solmslaubach. Polibotánica. N. 25. Vol. 14.
- Ramos, B. R; J. L. Cajuste; R. D. Flores; C. N. García. 2005. "Metales pesados, sales y sodio en suelos de chinampa en México". Agrociencia. N. 4. Vol. 35.
- Ramos-Bello, R.; L. J. Cajuste; D. Flores-Román y N. E. García-Calderón. 2001. "Metales pesados, sales y sodio en suelos de chinampa en México". Agrociencia. No. 3. Vol. 5

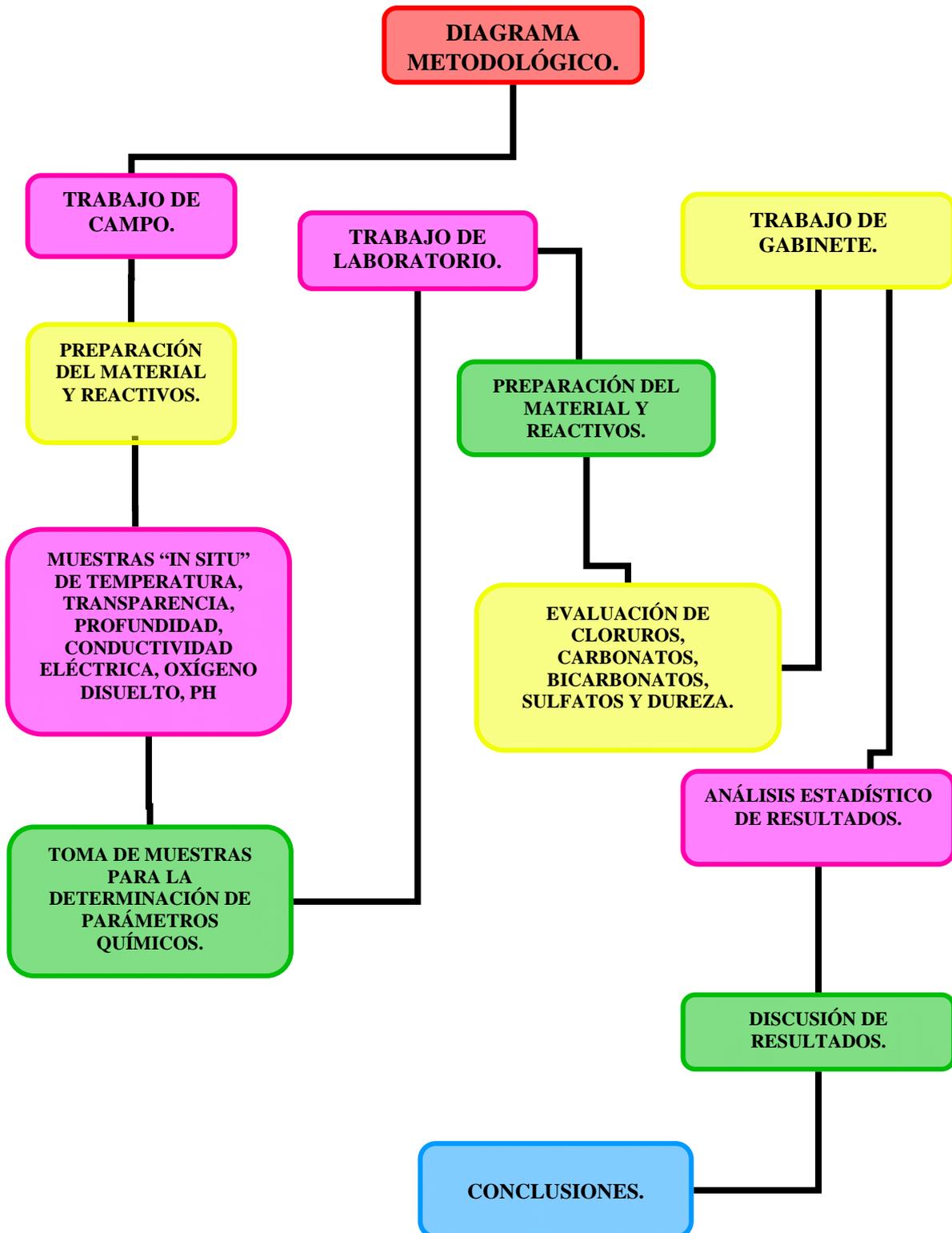
- Reid, G. K. y Wood R.D. 1976. "Ecology of Inland Waters and Estuaries". D. Van Nostrand Company. Second edition. Nueva York, EUA. pp.485
- Rivera, N., A. Muñoz-Pedreros y F. Encina. 2002. "La calidad fisicoquímica de las aguas en la reserva nacional Malleco". IX Región. Chile. Información Tecnológica. No. 13. Vol. 6
- Rodier, J. 1990. "Análisis de las aguas. Aguas naturales, aguas residuales, aguas de mar". Ed. Omega. 2° ed. Barcelona, España. pp. 1059.
- Rodriguez C. 2001. "Calidad de agua de una laguna recreacional del Centro-Oeste de la provincia de Córdoba, Argentina". Aquatic. No. 12. Vol. 1.
- Rodríguez D, Cantor F, Bustos A. 2005. "Lo que los biólogos deberían conocer para analizar sus datos experimentales". Lección 1. Selección de I Software Estadístico. pp. 189-209.
- Roldán, P. G.; R.J. Ramirez. 1992. "Fundamentos de Limnología". Ed. Univ. de Antiquia. 2ª edición. pp. 7,15,23,30,49,68,226.
- Rojas, R. T. 1990. "Las Chinampas del Valle de México. En: Presente, Pasado y Futuro de las Chinampas", Rojas Rabiela, T. Coord. Centro de Investigación y Estudios Superiores en Antropología Social, México DF. pp. 53-70.
- Rosas, Y. et al. 1975. "Efectos de la Contaminación del Agua del Lago de Xochimilco sobre la Fauna Bentónica". Primer Congreso Iberoamericano del Medio Ambiente. Madrid, España. 1071-1085.
- Rigola, L. 1999. "Tratamiento de aguas industriales, aguas de proceso y residuales". Ed. Alfa Omega. 3° ed. España. pp. 22,23, 29-34,157.
- Romero, R. J. 1999. "Calidad del agua". Alfaomega Grupo Editor. 2ª edición. México. pp. 66, 69,70-110.

- Sandoval, C. J. 2003. "Calidad fisicoquímica del agua de los canales de Xochimilco". Facultad de Ciencias. UNAM. pp. 7-18.
- Sánchez M y col. 2005. "Uso Y Reuso del Agua en la Ciudad de México una Solución al Abasto.". Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco. México. pp. 16-19.
- S. E. P. 1994. "Monografía Estatal del Distrito Federal". México, DF. pp.288
- Shira Wrightman. 2008. "Calidad Química y Microbiológica del Agua y acceso al Recurso Agua en la Comunidad de Solong, Bocas del Toro". University of Washington. E.U. pp. 21-22.
- Stumm, W. y P. Baccini 1983. "Man-made chemical perturbations of lakes". En A. Lerman (ed.): Lakes, chemistry, geology, physics. Springer Verlag, New York p. 91-126.
- Sierra A.I., Morante Z.S., Pérez Q.D. 2008. "Experimentación en Química Analítica". Volumen 20. Edit. Dykinson. España. pp. 22,23, 91-94.
- Terbbutt, T.H. 1993 "Fundamentos de control de calidad del agua". Ed. Limusa. 1ª reimpression. México. pp.
- Torres, H. A. Acevedo, H. E. 2007. "El problema de la salinidad en los recursos suelo y agua que afectan el riego y cultivos en los valles de Lluta y Azapa en el norte de Chile". No. 3. Vol. 6.
- Vallentyne, J. R. 1978. "introducción a la Limnología. Los lagos y el hombre". Edit. Omega. 2ª edición. España. p.p. 14-16.
- Vega, M; Jiménez, M; Pineda, G. 2005. "Determinación de bacterias de origen fecal en hortalizas cultivadas en Xochimilco de octubre de 2003 a marzo de 2004". Investigación Universitaria Multidisciplinaria. N. 4. Vol.4.
- 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. pp. 637-643.

- Wetzel, R. G. 1981. "Limnología".. Edit. W. B. Saunders Company.. Ediciones Omega. Barcelona pp. 112-168
- Wetzel G. R. 1982. "Limnología".., Editorial Omega S.A. España pp.279
- Wetzel, R.G. 2001. "Limnology". Lake and River Ecosystems. Academic Press. 3^a ed. California. pp. 1006
- Zambrano G. L. 2004. "Abundancia y estructura poblacional del axolotl (*Ambystoma mexicanum*) en los sistemas dulceacuícolas de Xochimilco y Chalco". Instituto de biología. UNAM. pp. 1- 35.
- Zuazúa M.T. y col. 1996. "Aplicaciones de técnicas multivariantes a datos físico-químicos del agua en un ciclo estacional. Cabecera del río ESLA. León". Limnética. No. 2. Vol 6.

14. ANEXOS

14.1 Diagrama De Trabajo



“DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS QUÍMICOS”

14.2 Determinación de Oxígeno Disuelto por el Método de Winkler

Reactivos

1. Sulfato manganoso: aforar 480 grs. de $MnSO_4$ tetrahidratado a un litro de agua.
2. ioduro alcalino: disolver 500 grs. de monóxido de sodio en 500 ml. de agua y 300 grs. de ioduro de potasio en 450 ml. de agua. Mezclar ambas soluciones: disolver 10grs. de ácido de sodio (NaN_3) en 40ml. de agua y agregarlo a la solución y agregarlo a la solución anterior.
3. tiosulfato: disolver disolver 2.9grs. de tiosulfato de sodio y 0.1grs. de carbonato de sodio en 1 litro de agua. Agregar 1 gota de bisulfuro de carbono como conservador.
4. solución indicadora de almidón: agregar 2g de almidón soluble en 300-400ml. de agua. Añadir una solución de NaOH al 20% agitando vigorosamente hasta que la solución se aclare. Dejar reposar 1-2hrs. Agregar HCL hasta que la solución se acidifique y por último añadir 2ml. de ácido acético y aforar la solución a 1 litro de agua.

Procedimiento

- Agregar 1 ml. de sulfato manganoso a la muestra obtenida.
- Añadir 1 ml. de ioduro alcalino y agitar perfectamente.
- Dejar asentar el precipitado por lo menos una tercera parte.
- Agregar 1 ml. de ácido sulfúrico concentrado y mezclar hasta que desaparezca el precipitado.
- Tomar una alícuota de 100 ml. y vaciarla a un matraz erlenmeyer.

- Agregar 1 ml. de solución indicadora de almidón. Se obtiene una coloración azul.
- Titular con solución de tiosulfato hasta que la muestra se torne transparente. (APHA, 1992).

14.3 Determinación de Dureza por el Método Titulométrico.

Reactivos

1. solución tampón: disolver 16.9 grs. de cloruro de amonio (NH_4Cl) en 143 ml. De hidróxido de amonio (NH_4OH) concentrado. Añadir 1.25 grs. de sal de magnesio de EDTA y disolver hasta 250 ml. de agua destilada.
2. EDTA: pesar 3.72 grs. de EDTA disódico trihidrato y disolver en agua destilada hasta llegar a 1000 ml. y conservarlo en frascos de vidrio borosilicato.
3. solución de Ca estándar: pesar 1000 grs. de polvo de CaCO_3 anhídrido estándar principal bajo en metales, álcalis y magnesio en un erlenmeyer de 500 ml. colocar un embudo y añadir poco a poco 1+1 HCl hasta la disolución total del CaCO_3 . Añadir 200 ml. de agua destilada y hervir pocos minutos para expeler el CO_2 . Enfriar, añadir unas gotas de indicador rojo de metilo y ajustar al color naranja intermedio por adición de NH_4OH 3N. Trasvásese cuantitativamente y dilúyase hasta 1000 ml. con agua destilada.
4. NaOH 0.1 N.

Procedimiento

- Tomar una muestra que requiera menos de 12 ml. de EDTA.
- Diluir 25 ml. de la muestra hasta 50 ml. de agua destilada.
- Añadir entre 1 y 2 ml. de solución tampón hasta obtener un pH 10-10.1.
- Añadir 1 o 2 gotas de solución indicadora.

- Añadir poco a poco solución estándar EDTA moviendo constantemente hasta que desaparezcan los matices rojos. Añadir las últimas gotas con intervalos de 3-5 seg. El punto final es obtener un color azul. Utilizar luz de día para observar los cambios sucedidos. (APHA, 1992).

14.4 Determinación de Carbonatos y Bicarbonatos por el Método Titulométrico.

Reactivos

1. Indicador fenolftaleína al 0.25%
2. Ácido clorhídrico (HCl) 0.01 N.
3. Indicador azul de bromofenol

Procedimiento con pH mayor a 8.3

- Tomar 5 ml. de una muestra de agua.
- Agregar 3 gotas de indicador de fenolftaleína, dando la muestra una coloración rosa, si el pH es mayor que 8.3 hay presencia de carbonatos.
- Titular con HCl 0.01N hasta que vire el rosa al incoloro (hasta este momento se han titulado la mitad de los carbonatos).
- Agregar 3 gotas de indicador azul de bromofenol. Hay un cambio de color del incoloro al azul.
- Titular con HCl hasta obtener un color verde.
Por lo tanto se han titulado la otra mitad de los carbonatos y los *bicarbonatos*.

Procedimiento con pH menor a 8.3

- Tomar una muestra de 5 ml.
- Agregar 3 gotas de indicador fenolftaleina, la muestra da una coloración rosa. Se toma el pH, si éste es menor a 8.3 se sigue con el siguiente paso.
- Agregar indicador azul de bromofenol para que la muestra se torne azul.
- Titular con HCl hasta obtener un viraje de l color azul al verde. Por lo tanto se titulan los bicarbonatos. (APHA, 1992).

14.5 Determinación de Cloruros por el Método Titulométrico.

Reactivos

1. Nitrato de plata (AgNO_3) AL 0.1 N.
2. Cromato de Potasio (K_2CrO_4) al 5%.
3. indicador fenolftaleina al 0.25%.
4. ácido sulfúrico (H_2SO_4) al 0.1N.

Procedimiento

- Tomar 5 ml. de la muestra a determinar.
- Ajustar el pH con 2 gotas de Na_2CO_3 0.1N
- Agregar 2 gotas de indicador fenolftaleina 0.25% con lo que se obtiene un color rosa.
- Agregar gotas de H_2SO_4 0.1N hasta virar el color y obtener uno incoloro.
- Agregar 3 gotas de k_2CrO_4 al 5%.
- Titular con AgNO_3 0.01N hasta virar el color a rojo ladrillo.

(APHA, 1992).

ÍNDICE DE FOTOS DE LAS ZONAS DE MUESTREO.



Foto No. 6. Estación Cuemanco.



Foto No. 7 Estación Cuemanco (zona donde se conecta agua residual industrial y del lago).



Foto No. 8 Estación Club España.

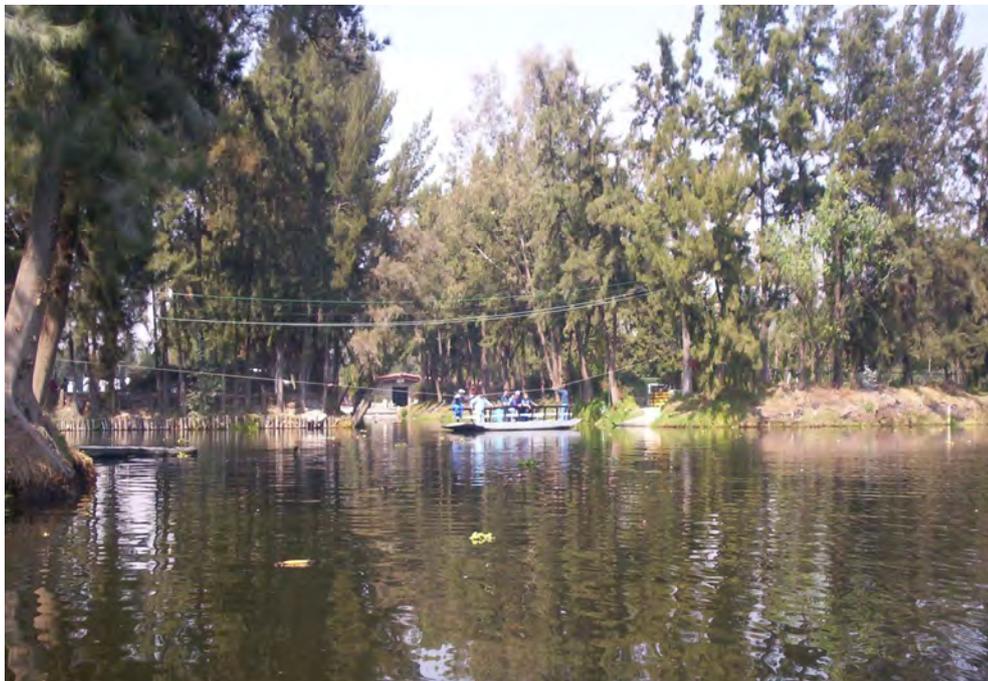


Foto No. 9. Estación Club España (zona de recreación).



Foto No. 10. Estación Texhuiloc.



Foto No. 11. Estación Texhuiloc.



Foto No. 12 Estación Apatlaco.



Foto No. 13 Estación Apatlaco.



Foto No. 14 Estación Asunción (Zona Urbana).



Foto No. 15 Estación Asunción (Área urbana).



Fotografía No. 16. Estación Asunción. Se puede observar la contaminación del lago por basura.

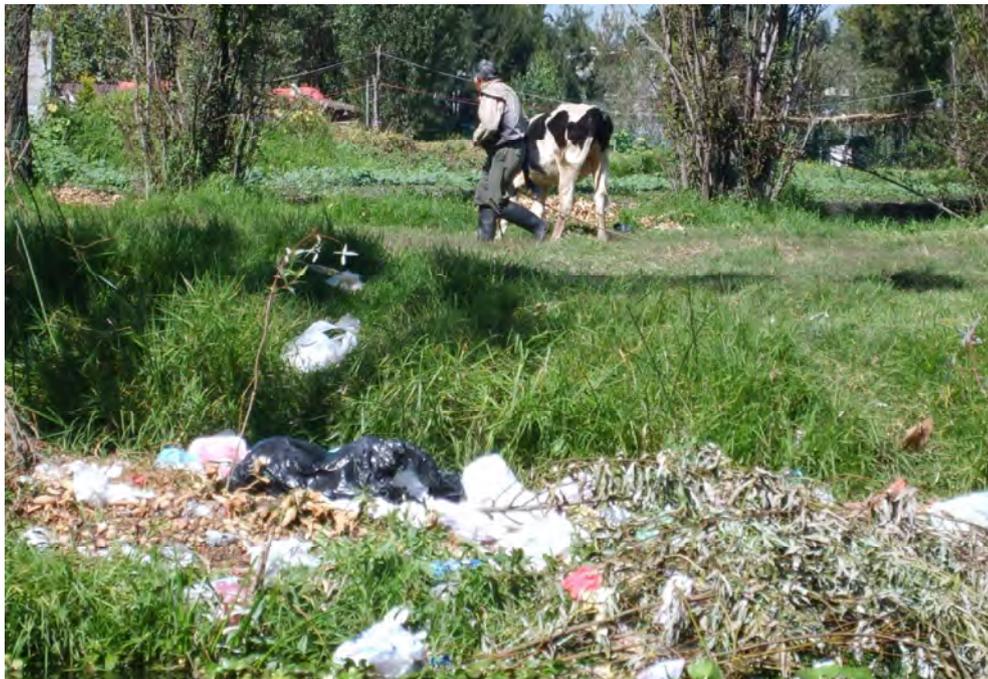


Foto No. 17 Estación Asunción
En la fotografía se observa la basura que arroja la población hacia los canales.



Foto No. 18 Fauna endémica del lago de Xochimilco.

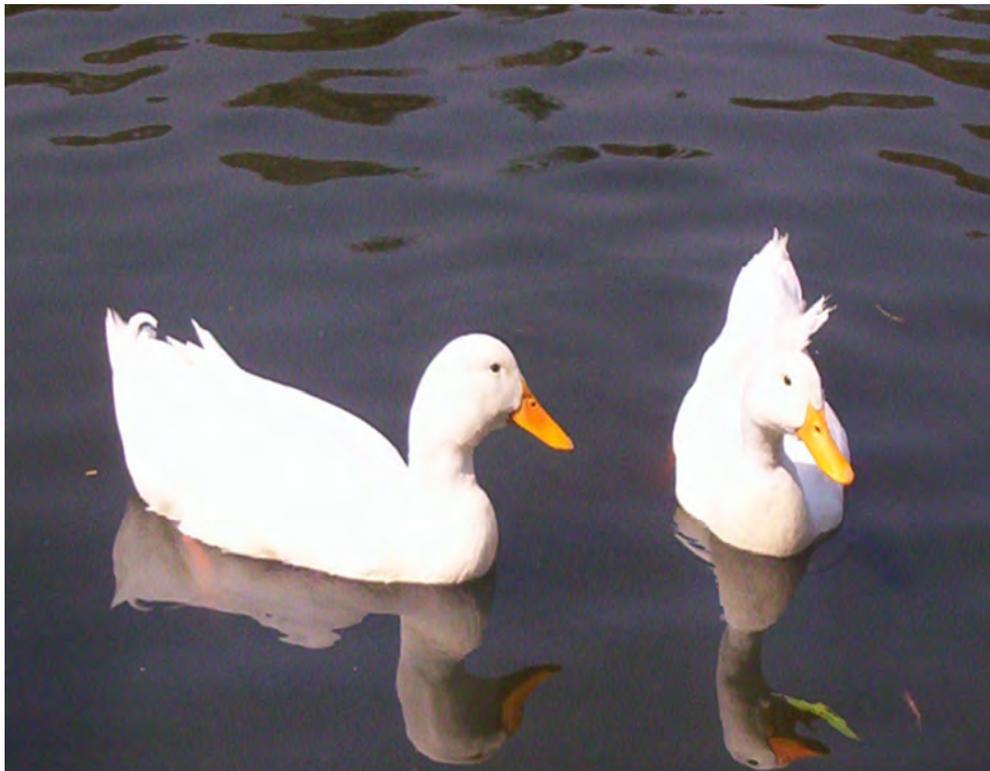


Foto No. 19. Fauna que se encuentra en la zona chinampera del lago de Xochimilco.



Foto No. 20. Ahuejotes y lirio acuático típicos de la zona Lacustre del lago de Xochimilco

DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS EN CAMPO



Foto No. 21. Determinación de profundidad y transparencia



Foto No. 22. Determinación de conductividad eléctrica, pH.

DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS QUÍMICOS EN LABORATORIO



Foto No. 23. Análisis de carbonatos, bicarbonatos



Foto No. 24. Determinación de cloruros