

RESUMEN / ABSTRACT

El Lago de Chapala ha estado expuesto a diversas fuentes y niveles de contaminación, como descargas municipales de diferentes comunidades, aguas de retorno agrícola y aguas residuales provenientes del río Lerma, vertidas por industrias. Por ello, es importante determinar las variaciones que presentan a través del tiempo los organismos fitoplanctónicos en este sistema acuático durante todo el año, y analizar las variaciones de la calidad del agua y sus relaciones en tres zonas del lago. Este estudio, se realizó en el período comprendido entre mayo de 1992 y febrero de 1993, monitoreando 21 estaciones en el Lago de Chapala cada tres meses, tanto en la superficie como a un metro de profundidad, posteriormente se realizó el análisis cualitativo y cuantitativo de los organismos fitoplanctónicos. La calidad del agua se evaluó considerando 23 parámetros con datos proporcionados por el Centro de Estudios Limnológicos (CEL) de Guadalajara, Jal. La mayor abundancia fitoplanctónica fue de 16 048 cel/mL en superficie y a un metro de profundidad de 8 309 cel/mL. Se presentaron procesos alógenos relacionados con las diferentes condiciones que presentó la estructura del fitoplancton, la turbiedad fue causada en menor escala por la abundancia algal y afectó directamente la abundancia de los organismos, el pH fue básico y los nutrientes como el fósforo total, ortofosfatos y nitrógeno orgánico fueron abundantes por lo que no se consideraron limitantes. Los resultados indican que a través del tiempo el Lago de Chapala ha mostrado valores continuos de calidad del agua con fluctuaciones en algunos registros pero se mantiene la fase de eutrofia como resultado del aporte indiscriminado de contaminantes de diversos tipos.

\* Laboratorio de Hidrobiología del Centro de Investigaciones Biológicas de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Av. Universidad # 1001, Col. Chamilpa, Cuernavaca, Morelos, México. C.P. 62210. Correo electrónico: quiroz@cib.uaem.mx

# Variación de los Organismos Fitoplanctónicos y la Calidad del Agua en el Lago de Chapala, Jalisco, México.

Héctor Quiroz Castelán\*, Lorena Miriam Mora Zúñiga\*, Isela Molina Astudillo\*, y Judith García Rodríguez\*.

## INTRODUCCIÓN

En los países en vía de desarrollo, existe un crecimiento sin control ni planeación tanto de industrias como de asentamientos humanos, originando entre otros el problema de la alteración de la calidad del agua en los ecosistemas acuáticos, ya que se utilizan como un sistema de eliminación muy cómodo, en donde los ríos tienen un papel fundamental, dada su naturaleza lítica. En el caso del lago de Chapala, el río Lerma constituye la principal fuente de contaminación debido a que todos los desechos que son vertidos en él desembocan en el lago (Limón *et al.*, 1986).

Mestre (1995), al respecto, indica que es preocupante que al correr del tiempo, a la par con el crecimiento económico y social vertiginoso de la cuenca Lerma-Chapala, han surgido, multiplicado y agravado los problemas derivados de la contaminación, por causas múltiples y complejas. La inmensa mayoría de los usuarios no tratan el agua una vez que la utilizan, y más bien la aprovechan como vehículo para eliminar desechos. Ejemplo de ello ha sido la escasa infraestructura de saneamiento para tratar las descargas de las industrias más importantes de la cuenca, el incumplimiento de reglamentos y condiciones de descarga, las bajas tarifas por uso de agua, así como el incremento en el volumen de los efluentes urbanos y de los retornos agrícolas de zonas de riego. Un tramo altamente contaminado se localiza en la parte media de la cuenca, debido principalmente a las descargas de las ciudades e industrias de Querétaro, Celaya, Salamanca e Irapuato, así como las de granjas porcícolas e industrias procesadoras de carne de La Piedad y Santa Ana Pacueco. El impacto de esta última zona ha tenido una influencia directa sobre la masa de contaminantes que recibe el Lago de Chapala. Los estados de Guanajuato y Michoacán, han aportado el 72% de la contaminación recibida por el lago; mien-

**PALABRAS CLAVE:** Fitoplancton; Calidad del agua; Contaminación; Distribución; Lago de Chapala.

**KEYWORDS:** Phytoplankton; Water quality; Pollution; Distribution; Chapala lake.

The Chapala lake has been exposed to several sources and levels of contamination, like municipal discharges of different communities, waters of agricultural return and residual waters poured by industries, coming from the Lerma river. Therefore, it is important to characterize both, the conditions through time and the phytoplanktonic organisms in this aquatic system in every phase, as well as to analyze the variations of the water quality and their relationships in three areas of the lake. These activities were carried out every three months from May, 1992 to February, 1993, sampling the surface and to one meter deep in 21 stations in the Chapala lake. Later, a qualitative and quantitative analysis was carried of the phytoplanktonic organisms. The water quality was evaluated considering 23 parameters with data provided by the Centro de Estudios Limnológicos de Guadalajara, Jal. The highest phytoplanktonic abundance was of 16 048 cel/mL at the surface and to one meter deep of 8 309 cel/mL. Alogenics processes related to the different conditions presented by the phytoplankton structure were presented; turbidity was caused in a smaller scale by the algal quantity and affected directly the abundance of the organisms, the pH was basic and the nutrients like phosphorus a total match, ortophosphates and organic nitrogen were abundant, therefore no restrictive constraints were considered. Through the time the Chapala Lake has shown continuous values of quality of the water with fluctuations in some registrations but the eutrophic phase stays as a result of the indiscriminate contribution of pollutants of diverse types.

tras que Jalisco ha aportado el 28 % restante, principalmente por sus poblaciones ribereñas.

La abundancia, composición y distribución del fitoplancton en lagos, están influidas por las condiciones tróficas, por lo que el fitoplancton es considerado un importante indicador de la calidad del agua, por su corto ciclo de vida y su rápida respuesta a los cambios del medio ambiente, ya que algunas especies son muy sensibles a los desechos químicos.

El Instituto de Ingeniería de la UNAM (1972, 1973 y 1974) y la SARH (1975) han efectuado diversas investigaciones sobre la caracterización de la calidad del agua del Lago de Chapala. Por otra parte el Centro de Estudios Limnológicos de Guadalajara (1980), ha realizado estudios de evaluación y caracterización del agua así como una identificación plena de las fuentes de contaminación que llegan al lago y que afectan las condiciones del mismo.

Ortíz, *et al.*, (1982), Ledesma (1985), Dávalos, *et al.*, (1989), Lind, *et al.*, (1992) y Becerra-Muñoz, *et al.*, (1998) realizaron estudios sobre el plancton y las características del agua en el lago de Chapala con diferentes objetivos. Asencio & Aboal (2000), Bledsoe & Phlips (2000) y Rakowska (2000) compararon aspectos de diversidad, abundancia y distribución de organismos fitoplanctónicos con ambientes acuáticos perturbados.

La utilización de cuerpos de agua como sistemas de eliminación, presenta problemas serios y actualmente se han utilizado diversos tipos de organismos acuáticos para estimar las condiciones de salud de un cuerpo de agua, especialmente de los sistemas lóticos. Sommer (1993), Chorus & Schlag (1993), Díaz-Pardo *et al.*, (1998), Gomes (2000) y Naselli-Flores & Barone (2000), justifican la necesidad de considerar las posibilidades de que las variaciones espacio temporales de las poblaciones fitoplanctónicas y las de la riqueza de especies en el Lago de Chapala, estén relacionadas con las condiciones de calidad de agua presentes. Por lo tanto en este trabajo se analizó la variación del fitoplancton y la calidad del agua en tres zonas de este lago en dos diferentes niveles de profundidad durante el período de mayo 1992 a febrero 1993.

Recibido: 8 de Noviembre de 2002

Aceptado: 27 de Junio de 2003

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Área de Estudio:** Este trabajo se realizó en el Lago de Chapala, que se localiza en la Mesa Central de México a una altitud de 1 524 m.s.n.m. entre los 102° 40' 45" O. y los 20° 21' 30" N. Es el lago más grande de la República Mexicana y el tercero en Hispanoamérica. El clima circundante es del grupo templado, subgrupo semicálido subhúmedo (A) c(Wo) (w) (Köppen). Este clima es el menos húmedo de los semicálidos; presenta la época de

lluvia en verano y un porcentaje de lluvia invernal menor a cinco (García, 1989). El viento es una de las variantes ambientales más importantes que afectan las condiciones ecológicas del Lago de Chapala. Por su tamaño y poca profundidad, el viento mueve constantemente la columna de agua (Banks y Herrera, 1977; Simons, 1984).

El lago, tiene 77 km de longitud máxima y 15 km de ancho aproximadamente, con una profundidad media de 7,2 m y la máxima de 10,5 m. Sin embargo durante la estación seca, la profundidad desciende hasta 1.2 m (Limón & Lind, 1990). El volumen en 1992 fue equivalente al 35% del que tenía antes de 1977 (Owen, *et al.*, 1992).

Los muestreos de calidad del agua y fitoplancton, se realizaron en 21 estaciones de las 28 que el Centro de Estudios Limnológicos (CEL) ha utilizado para monitorear la calidad del agua desde 1972 cada tres meses (Lind, *et al.*, 1992) en tres zonas del lago: Jocotepec

(estaciones 1-8), Chapala (estaciones 9-15) y Ocotlán (estaciones 16-21) mostrados en la figura 1. Estas localidades fueron seleccionadas porque los muestreos se realizaron de forma simultánea con los investigadores del CEL, y ellos tienen definidas las estaciones de acuerdo a los monitoreos periódicos que realizan desde años atrás.

### Calidad del agua

Para determinar la calidad del agua en el lago de Chapala fueron considerados 23 parámetros, con datos proporcionados por el Centro de Estudios Limnológicos (CEL) de Guadalajara, el cual empleó las técnicas propuestas por los métodos estándar para análisis de aguas (APHA, 1992): temperatura (termómetro), transparencia (disco de secchi), turbiedad (turbidímetro), conductividad (conductímetro), oxígeno disuelto, OD (Winkler), demanda bioquímica de oxígeno, DBO (Winkler), demanda química del oxígeno, DQO (dicromato de potasio), grasas y aceites (Soxhlet), pH (potenciómetro), alcali-

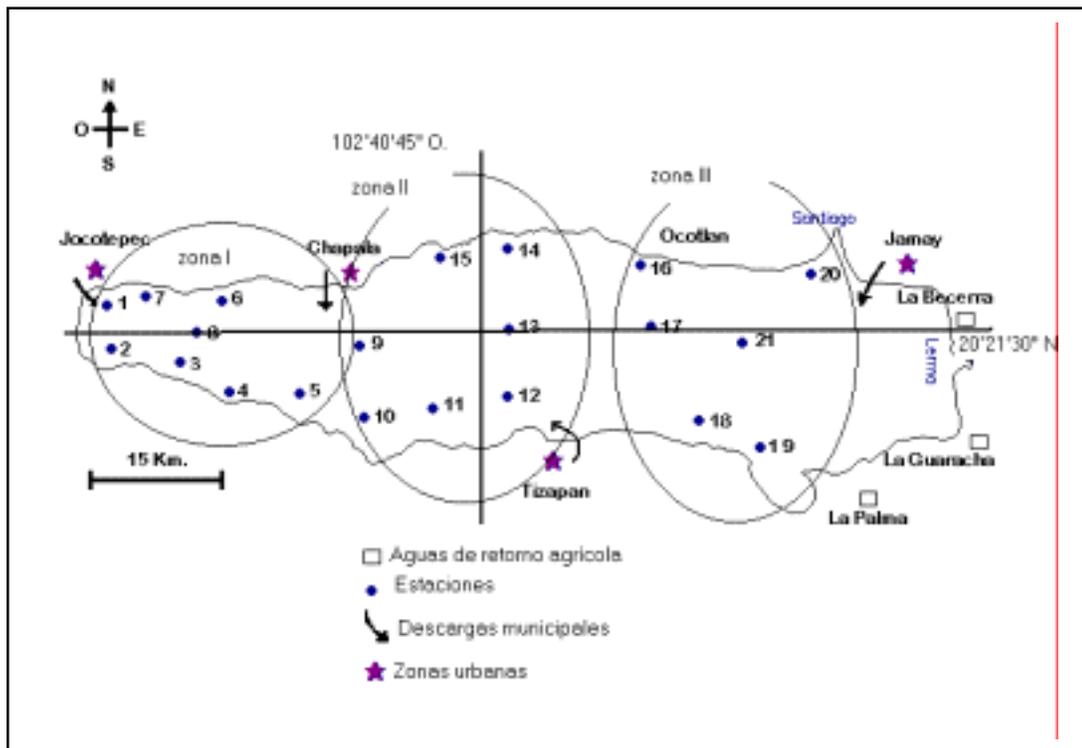


Figura 1. Ubicación de las zonas y estaciones de muestreo en el Lago de Chapala.

nidad (método de titulación), dureza total (volumétrico por titulación EDTA), sulfatos (turbidimétrico), nitrógeno orgánico (Kjeldahl), nitrato (sulfato de brucina), fósforo total, ortofosfatos (cloruro estanoso), cloruros (método potenciométrico), sólidos totales suspendidos y disueltos (gravimétrico), coliformes fecales y totales (técnica del número más probable de fermentación en tubo múltiple).

### Análisis fitoplanctónico

En cada estación se recolectaron dos muestras, una superficial y otra a un metro de profundidad con una botella Van-Dorn de 3 litros. Las muestras se fijaron con solución lugol. Cada muestra se homogeneizó, se tomó una alícuota de 10 mL que se colocó en cámaras de sedimentación del mismo volumen por 24 horas (Wetzel and Likens, 1979), una vez transcurrido el tiempo, se contaron los organismos con un microscopio invertido Wild M-40. Los resultados de abundancia se expresaron en número de células por unidad de volumen (mL), estimándola por nivel de muestreo en superficie y a un metro de profundidad, por estaciones y por meses. Para la identificación de los organismos se utilizaron criterios y claves taxonómicas propuestos en trabajos especializados: Edmonson (1959), Bourrely (1970), Prescott (1970), Palmer (1975). Los organismos se ordenaron por división, géneros y especies.

### Análisis de datos

Los datos de calidad de agua y abundancia de fitoplancton fueron agrupados y se les aplicó un análisis de varianza de una vía completamente aleatorio para cada variable estudiada por meses, estaciones y zonas así como para cada división fitoplanctónica por meses y nivel de profundidad de recolecta. Se calcularon correlaciones de Persons para la relación de la calidad del agua con el fitoplancton (Steel & Torrie, 1988). El análisis de las diferencias de los organismos identificados en las tres zonas del lago: Jocotepec, Chapala y Ocotlán se realizó, aplicando el Índice Secuencial de Comparación de Cairns y

Dickson (Saldaña, *et al.*, 2001), además de un índice de riqueza específica (Margalef, 1956).

## RESULTADOS

### Parámetros de calidad del agua

Los promedios por muestreo de los parámetros de calidad del agua del Lago de Chapala indican que la temperatura durante los dos últimos muestreos fue mínima en febrero (18,8 °C) y máxima en mayo (23,7 °C); de manera contraria la transparencia fue menor en los dos muestreos iniciales, la turbiedad no mostró un patrón definido y la conductividad registró valores que indicaron una etapa de concentración durante los últimos muestreos. Los valores oxígeno disuelto, la demanda bioquímica de oxígeno D.B.O y la demanda química de oxígeno D.Q.O. estuvieron debajo de lo indicado en la NOM-001-ECOL-1996 (SEMARNAP, 1996). Dichos valores se muestran en la tabla 1.

Los niveles de grasas y aceites que se registraron en los cuatro muestreos están por arriba de lo indicado en las normas antes mencionadas, sobre todo, en noviembre. El pH fue semejante todos los meses. La alcalinidad registró niveles menores durante febrero, de manera similar a la dureza, mientras los sulfatos fueron bajos en noviembre, y los niveles de nitrógeno orgánico fueron más altos en mayo, los contenidos de amonio fueron similares en agosto y febrero, con menores concentraciones de nitratos en noviembre. Las concentraciones más bajas de fósforo total y ortofosfatos se registraron en mayo, coincidiendo con las más altas de cloruros, en ese mismo mes las concentraciones de sólidos fueron las más altas, mayores que las indicadas por la NOM-001-ECOL-1996 (SEMARNAP, 1996) en mayo y noviembre. Por último los coliformes totales y fecales fueron mayores en agosto, pero por abajo del máximo permisible por las normas mencionadas.

En la zona de Ocotlán, la D.B.O. en todos los meses fue baja. En la zona de Chapala se

**Tabla 1.** Parámetros de calidad del agua en el Lago de Chapala, por mes, desviación estandar y promedio anual.

Parámetros	Mayo 1992	Agosto 1992	Noviembre 1992	Febrero 1993	Promedio anual
Temperatura °C	23.7±0.6	23.5±0.5	21.3±0.98	18.8±0.75	21.8
Transparencia cm	22.9±5.09	24.6±5.1	26.7±8.8	26.4±2.3	24.9
Turbiedad U.T.N.	40.5±9.4	57±13.8	47.8±8.3	51.3±6.1	49.15
Conductividad $\mu$ mhos/cm	681.5±27.7	617.5±60.2	722.3±21.8	827.8±20.9	712.27
O.D. mg/l.	7.4±0.55	6.7±0.31	6.6±0.79	7.2±0.25	6.9
D.B.O. mg/l	2.7±1.68	1.08±0.62	1.6±0.39	1.26±0.45	1.66
D.Q.O. mg/l	27±6.9	44.1±8.06	45.5±11.1	44.8±12	40.35
Grasas y aceites mg/l.	29.7±14.2	47.5±13.2	89.3±22.7	19.2±8.2	46.4
pH	7.8±0.12	8.29±0.07	8.3±0.061	8.1±0.04	8.12
Alcalinidad total mg/l	274.9±15	258.3±10.16	293.2±27.4	247.6±22.23	268.5
Dureza total mg/l	219.9±11.1	216.4±23.3	243.1±38.8	168.8±30.2	212.05
Sulfatos mg/l	58±8.4	70.8±26.3	41±4.4	61±19.3	57.7
Nitrógeno orgánico mg/l	1.15±0.25	0.37±0.11	0.41±0.9	0.52±0.4	0.61
Amonio mg/l	0.28±0.06	0.16±0.06	0.23±0.08	0.16±0.08	0.20
Nitrato mg/l	0.23±0.031	0.24±0.20	0.15±0.028	0.26±0.04	0.22
Fósforo total mg/l	0.33±0.042	0.45±0.056	0.52±0.06	0.46±0.05	0.44
Ortofosfatos mg/l	0.24±0.032	0.32±0.44	0.39±0.38	0.38±0.06	0.33
Cloruros mg/l	50.9±3.7	42.3±3.9	45.3±9.5	38.8±4.2	44.32
Sólidos tot. Suspendidos mg/l	49.7±17.5	36.9±13.8	41±18.7	38.1±14.3	41.4
Sólidos tot. Disueltos mg/l	637.4±31.1	595±46.5	483±60.6	533.6±27.3	562.2
Coliformes totales nmp/100ml	54±56.6	149±129	61±25	51±24	78.75
Coliformes fecales nmp/100ml	24±20.4	74±75	40±49	24±10	40.5

presentaron las más altas concentraciones de D.Q.O. en noviembre. Los niveles más altos de grasas y aceites fueron en agosto y noviembre principalmente en las zonas de Jocotepec y Ocotlán, con durezas mayores en todo el periodo de estudio y en consecuencia, el pH fue ligeramente básico.

Las concentraciones máximas de fósforo total, se obtuvieron en zonas cercanas a descargas municipales y zonas de riego, principalmente en el mes de noviembre en las zonas de Chapala y Ocotlán. En mayo, el contenido de nitrógeno orgánico fue mayor a 1 mg/L en estas mismas zonas. La concentración máxima de amonio, se detectó también en la zona de Ocotlán.

Los coliformes totales tuvieron una gran variabilidad, con 149 nmp/100 mL en agosto y 51 nmp/100 mL en febrero. En la zona de Ocotlán se determinaron niveles de contaminación bacteriana en todos los meses principalmente en agosto con 213 nmp/100 mL. El mayor valor de coliformes fecales fue de 74 nmp/100 mL en agosto, con un promedio de 105 nmp/100 mL en la zona de Ocotlán, estando por debajo de la norma que menciona que para determinar la contaminación por patógenos se tomará como indicador a los coliformes fecales. El límite máximo permisible para las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales, así como las descargas vertidas a suelo (uso en riego agrícola) es de 1 000 y 2 000 nmp

de coliformes fecales por cada 100 mL para el promedio mensual y diario, respectivamente.

### Fitoplancton

Los organismos registrados son de seis divisiones fitoplanctónicas: Chlorophyta, Cyanophyta, Heterokontophyta, Euglenophyta, Pyrrophyta y Xantophyta. En ambos estratos y en todos los meses la división dominante fue Chlorophyta. Una gran variabilidad poblacional se presentó en cada estación en Chlorophyta, Cyanophyta, Heterokontophyta y Euglenophyta, en tanto que las poblaciones de Pyrrophytas y Xantophytas tuvieron una menor variación. Los géneros y especies más representativos en cuanto a abundancia y relación con los parámetros de la calidad del agua fueron: *Anabaena sp.*, *Chlamydomonas sp.*, *Closterium sp.*, *Chroococcus turgidus*, *Mallomonas sp.*, y *Diatomella hustedii*.

Las abundancias registradas en las 21 estaciones tanto en superficie como a un metro de profundidad no presentaron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ). Las mayores abundancias totales se registraron en la superficie del lago y las más altas en los cuatro muestreos, correspondieron a mayo de 1992 con 17,318 cel/ml en superficie y 11,052 cel/ml a un metro de pro-

fundidad, como se muestra en la tabla 2. Se determinaron diferencias significativas en superficie y a un metro de profundidad entre estas cifras y las registradas en agosto, noviembre y febrero ( $P < 0.05$ ).

## DISCUSIÓN

### Cambios en la Calidad del Agua

En cuanto al cambio de los valores de los parámetros de calidad de agua, de acuerdo a lo registrado en la tabla 3, se observa que la temperatura se ha encontrado en un intervalo entre 21,14 °C y 21,9 °C, excepto en lo mencionado para 1972, por lo que a través de 16 años no ha mostrado un cambio significativo. La transparencia con el disco de sechii muestra una disminución notoria de 1972 a 1996-1998, ya que se presenta una diferencia de entre 20 a 30 cm; lo que puede indicar un incremento en los niveles de sólidos en suspensión; sin embargo la turbiedad indica diversas fluctuaciones a través de todo el período registrado históricamente. Los dos registros de conductividad el de este trabajo y referido por Guzmán y Orbe (2002) en 1996-1998, muestran que la mineralización del agua ha aumentado significativamente en un período de 4 a 6 años. Los sólidos suspendidos presentan valores que muestran datos mayores a 35 mg/L durante 1992 y 1996-1998; y los sólidos disueltos se incrementan de 1992 a 1996-1998 de 562 a 650 de acuerdo a lo registrado con la transparencia y la turbiedad.

Los niveles de oxígeno disuelto muestran una variación entre 6 mg/L y 7 mg/L de 1984 a lo reportado por de Anda, *et al.*, (2001), el único dato más alto se registró en 1972 de acuerdo a Guzmán (1995). En el Lago de Chapala la concentración media de oxígeno en la columna de agua es alta porque se presenta una extensiva inducción de mezclas por el viento. Estas mezclas pueden saturar la columna de agua con

Tabla 2. Registro de las abundancias y composición fitoplanctónica en el Lago de Chapala.

Abundancias Fitoplancton	Mayo 1992	Agosto 1992	Noviembre 1992	Febrero 1993	Totales
Fitoplancton total					
Superficie cel/ml	17318	3373	4021	7213	31885
1 m profundidad cel/ml	11053	2460	3428	6639	23579
CHLOROPHYTA					
Superficie cel/ml	8726	1320	2299	3663	16008
1 m profundidad cel/ml	3728	707	958	2916	8309
CYANOPHYTA					
Superficie cel/ml	3525	1231	639	657	6052
1 m profundidad cel/ml	2281	809	612	441	4143
HETEROKONTOPHYTA					
Superficie cel/ml	2682	297	509	1753	5241
1 m profundidad cel/ml	2315	317	584	1625	4841
EUGLENOPHYTA					
Superficie cel/ml	2237	447	543	1113	4340
1 m profundidad cel/ml	2583	599	1264	1649	6095
PYRROPHYTA					
Superficie cel/ml	63	33	14	5	115
1 m profundidad cel/ml	38	16	8	2	64
XANTOPHYTA					
Superficie cel/ml	85	5	17	22	129
1 m profundidad cel/ml	107	12	2	6	127

**Tabla 3.** Registro de promedios de los parámetros de calidad del agua en el Lago de Chapala en varios años hasta el 2000.

Parámetros	1972 (Guzmán, 1995)	1984 (Guzmán, 1995)	1989 (Guzmán 1995)	1992 (Este trabajo)	1996-1998 (Guzmán y Orbe, 2002)	1934-1998 (de Anda, et al., 2001)
Temperatura °C	18.30	21.80	21.14	21.8	21.75	21.9
Transparencia cm	55	50	35	24.9	30.9	
Turbiedad U.T.N.	42	31		49.15	34.8	
Conductividad µmhos/cm				712.27	780.5	
O.D. mg/l.	7.86	6.00	7.06	6.9	6.25	7.0
D.B.O. mg/l	8.99	1.57	1r	1.66		1.8
D.Q.O. mg/l				40.35	37.28	27
Grasas y aceites mg/l.	60.20	0.59		46.4		
.pH	8.80	8.70	8.94	8.12	8.70	8.59
Alcalinidad total mg/l	196.00	283.00	394.34	268.5	337.6	248
Dureza total mg/l	128.00	221.00	204.85	212.05	226.4	189
Sulfatos mg/l	28.50	69.00		57.7	77.95	
Nitrógeno orgánico mg/l				0.61		1.17
Amonio mg/l	0.19	0.09		0.20		0.26
Nitrato mg/l				0.22		0.34
Fósforo total mg/l				0.44	0.486	0.54
Ortofosfatos mg/l				0.33	0.338	0.31
Cloruros mg/l	20.90	36.00		44.32	53.31	
Sólidos tot. suspendidos mg/l	15.00	590.00		41.4	35.63	
Sólidos tot. disueltos mg/l				562.2	650	
Coliformes totales nmp/100ml	3500	1820.00		78.75		
Coliformes fecales nmp/100ml	3200	2400.00		40.5		

oxígeno e impedir que los sedimentos sean anaeróbicos (de Anda, *et al.*, 2001).

En cuanto a la demanda bioquímica de oxígeno (D.B.O.), estos registros muestran que excepto a lo indicado para 1972, durante el período de 1994 al 2000 se presentan datos de 1 mg/L a 1,8 mg/L mostrando este valor más alto al finalizar el siglo XX. Sólo se presentan 3 registros de demanda química de oxígeno, presentándose una disminución de 1992 al 98 de 40,35 mg/L a 27 mg/L. Los registros sobre grasas y aceites indican datos que no muestran una clara tendencia por sus diferencias.

Por otra parte el pH muestra una variación entre 8,12 unidades en 1992 a 8,80 en 1972, mostrando una clara tendencia básica, que se corrobora con los datos registrados de alcalinidad total con registros varios durante este período. La dureza total se registró con valores mayores a 200 mg/L excepto en 1972 y en los registros

mencionados por de Anda (2001). En cuanto a los sulfatos los valores se registran después de 1984 por arriba de los 50 mg/L.

Los niveles de nitrógeno orgánico registrados muestran un incremento de 1992 al 1996-1998 de 0,61 a 1,17. Así mismo el amonio y los nitratos también se incrementan en estos dos períodos. En lo que respecta al fósforo total, muestra también un incremento, esto en los tres últimos períodos registrados en la tabla 3. Los ortofosfatos registraron valores similares en estos tres períodos entre 0,31 mg/L y 0,33 mg/L. De Anda (2001) menciona que en humedales se tienen impactos culturales pequeños o nulos, el fósforo es usualmente adicionado al cuerpo de agua por las actividades industriales y agrícolas que se llevan a cabo dentro de la cuenca, por la maduración de los sistemas o por los procesos internos El Lago de Chapala. Según el criterio de clasificación de Maniak (1997) para describir

el estatus trófico de lagos o reservorios, indica que durante el período de estudio 1974-1997 el Lago de Chapala ha mantenido un estado consistente de eutrofia.

### Relación entre el Fitoplancton y la calidad del agua (1992)

Los cambios en la composición y abundancia del fitoplancton están relacionados con la calidad del agua, que fue diferente en las tres zonas y la contaminación en la zona de Ocotlán acentuó la disminución de la densidad y de la riqueza de especies. En contraste, el Instituto de Ingeniería de la UNAM, (1972, 1973, 1974), el Centro de Estudios Limnológicos (1980); Ledesma (1985) y Ortiz *et al.*, (1982) indican que la distribución del fitoplancton fue similar en las tres zonas debido a la menor variación de la calidad del agua.

En lagos con tendencia hacia la eutrofia, el crecimiento algal se manifiesta con un reemplazamiento de especies de clorofitas por cianofitas; Kalff & Knoechel (1978) mencionan que uno de los síntomas de avance de la eutrofización es la ocurrencia de florecimientos de algas verde-azules. Díaz-Pardo *et al.*, (1998) indican que a través del tiempo en el lago Atezca, se han deteriorado las condiciones de calidad del agua y se han substituido las clorofitas por cianofitas y han incrementado los riesgos para la biota acuática y terrestre avanzando hacia la eutrofia constantemente, las condiciones que limitan la utilización de este cuerpo de agua son el resultado de las descargas continuas de aguas residuales. En el Lago de Chapala, independientemente del nivel de contaminación por el vertimiento de diferentes tipos de desechos, por sus características particulares, el cambio fue incipiente, de forma general en este estudio, las clorofitas se registraron con mayores abundancias, sobre todo en los muestreos en la superficie, y en menor cantidad a un metro de profundidad, de acuerdo a las condiciones observadas en el lago.

Las menores abundancias fitoplanctónicas en todo el lago en ambos niveles se presentaron en verano, principalmente por la mezcla provo-

cada por la precipitación pluvial y por el incremento de material en suspensión que provocó problemas de turbidez por arcilla. El decremento en noviembre donde desemboca el río Lerma, fue causado por las descargas industriales que son vertidas a esa zona, algo similar reportó el Instituto de Ingeniería de la UNAM (1973).

Al respecto, Jaramillo, *et al.*, (1984) mencionan que de no presentar arcillas coloidales en suspensión, el Lago de Chapala tendría mayor productividad fitoplanctónica ya que presentaba típicamente niveles de transparencia entre 20 y 100 centímetros por lo que se consideraba un lago relativamente turbio; Lind, *et al.*, (1992) estimaron que la producción del fitoplancton en el Lago de Chapala estuvo limitada por la alta turbidez arcillosa, originada principalmente por partículas coloidales inorgánicas (arcillas) suspendidas por la acción del viento y Díaz-Pardo *et al.*, (1998) indicaron que en los Lagos de Chapala y Pátzcuaro la turbidez es de origen no biogénico y que en el lago Atezca es fundamentalmente de origen biogénico, presentando una etapa de estratificación, que no se presenta en los dos anteriores, es diferente su proceso de eutrofización, por la naturaleza de la turbidez en la columna de agua; en este estudio, este parámetro disminuyó significativamente y también el fitoplancton, en condiciones de turbidez por arcillas.

En primavera, se presentó un aporte de fósforo total considerado dentro de los intervalos para una productividad significativa, pero la densidad fitoplanctónica estuvo limitada por la alta turbiedad; Martino (1989) indica que en lagos del estado de Río de Janeiro, la productividad fue controlada por la turbiedad causada por erosión y presencia de ácidos húmicos. En esta época los sólidos suspendidos fueron mayores de 11 mg/L a 44 mg/L que Amezcua (1985) indica como normales, como efecto de la turbidez.

En verano en la superficie, dominaron las clorofitas y las cianofitas, ambas dispersas en diversas estaciones a lo largo del cuerpo de agua sin una distribución específica por zonas; a un

metro de profundidad, predominaron las algas verde-azules con incrementos de pH, Wetzel (1981) indica que las algas crecen mejor con pH neutro o casi neutro, pero un número considerable de verde-azules crecen mejor con valores básicos. Kirsten & Nauwerk (1993) indican que estas microalgas tienen ventaja sobre las clorofitas cuando el pH aumenta a nueve. Los valores más altos de coliformes totales, se registraron en esta época del año y coincidieron con las descargas de aguas residuales de las poblaciones de Chapala y Jocotepec.

En otoño se presentó en la superficie una dominancia de las clorofitas y a un metro de profundidad no se presentó un patrón definido. La densidad incrementó al presentarse un intervalo menor de turbiedad. El oxígeno disuelto disminuyó en la zona de Jocotepec, debido probablemente a altas cantidades de materia orgánica provenientes de los desechos municipales que son vertidos en esa área, y a la alta demanda química de oxígeno (DQO) que se registró durante ese mes en algunas estaciones de muestreo, que provocó concentraciones por abajo del límite permisible de 5 mg/L (SEDUE, 1988) lo que indica que la demanda se relaciona con la degradación química de los elementos que existen en el medio, esto favorece que se desarrollen los organismos con mayor resistencia a las bajas concentraciones de oxígeno, como las cionofitas. Las clorofitas dominaron durante este mes en la zona de Ocotlán ante un incremento en la alcalinidad, esta estrecha relación también la menciona Arredondo (1990).

Durante el invierno las clorofitas dominaron en el lago, el incremento en las poblaciones estuvo relacionado con la luz, como factor limitante, las cianofitas y heterokontofitas se ubicaron en zonas con mayor transparencia, las xantofitas se presentaron en mínimas cantidades, Pesson (1979), indica que son las primeras afectadas por los contaminantes.

En la zona de Jocotepec se presentó la mejor calidad del agua y la peor en la zona de Ocotlán, según el índice secuencial de comparación, similar a lo que sugiere Amezcua (1985). También

en base a la variación mensual de la diversidad por zonas, de acuerdo a la escala propuesta por Saldaña *et al.*, (2001), en superficie y profundidad en Jocotepec, durante los meses de mayo y agosto, se determinó como no contaminada, sin embargo, en los meses de noviembre y febrero a un metro, como semicontaminada por el incremento de grasas y aceites en esa área, por las bajas temperaturas que provocaron que las aguas superficiales se enfriaran. En general se presentaron procesos alogénicos relacionados con las diferentes condiciones que presentó la estructura del fitoplancton similar a lo que mencionan Naselli-Flores y Barone (2000).

## CONCLUSIONES

En 1992 algunos cambios notables en la calidad del agua se registraron con mayores temperaturas en la zona de Ocotlán debido a factores externos, la turbiedad fue causada en menor escala por la densidad fitoplanctónica, el pH fue básico y los nutrientes como el fósforo total, ortofosfatos y nitrógeno orgánico fueron abundantes y no limitantes para la población algal, la alta concentración de grasas, aceites, y cloruros indican contaminación por aguas residuales. Los coliformes totales y fecales alteraron la calidad de agua en el área donde desemboca el río Lerma. La zona de Chapala fue afectada principalmente por contaminación de tipo orgánico debido a las descargas municipales de Chapala y Tizapán. Los meses de mayo y agosto fueron considerados con menor alteración en la calidad del agua a diferencia de los meses de noviembre y febrero, la zona de Ocotlán fue la más afectada. Se presentó un mayor florecimiento de fitoplancton en primavera e invierno en superficie y a un metro de profundidad. Las clorofitas y las cianofitas dominaron por las condiciones de calidad del agua registradas. La dinámica del fitoplancton correspondió a los cambios de calidad del agua.

A través del tiempo el Lago de Chapala ha mostrado valores continuos de calidad del agua con fluctuaciones en algunos registros pero se mantiene la fase de eutrofia como resultado del

aporte indiscriminado de contaminantes de diversos tipos, industrial, doméstico y agrícola, lo cual aunado a los cambios en su volumen propiciados por diversas razones referidas al manejo de la cuenca, hace que este cuerpo de agua este en grave peligro de convertirse en un ambiente no adecuado para la vida acuática, ya que las condiciones de eutrofia favorecen el crecimiento de fitoplancton y macrofitas, y el desarrollo indiscriminado de éstas provocan posteriormente condiciones adversas para los organismos acuáticos.

## AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Polioptro Martínez y a la Dra. Anne Hansen del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua; al Ing. Jesús Amezcua, Arturo Navarro y Jesús García del Centro de Estudios Limnológicos de Guadalajara, Jal. Por su apoyo en las diferentes circunstancias que se refieren al presente trabajo.

## REFERENCIAS

- Amezcua, C. (1985). "El lago de Chapala 10 años después" Colegio de ingenieros civiles del estado de Jalisco, A.C. *Calidad del agua en el lago de Chapala Memorias Seminario*, 138 pp.
- De Anda, J., Shear, H., Maniak, U. & Riedel, G., (2001). Phosphates in Lake Chapala, México. *Lakes and Reservoirs: Research and Management* 6:313-321.
- APHA-AWWA-WPCF, (1992). *Standard methods for the examination of and wastewater, American Public Association*, Boston, Massachusetts, 1134 pp.
- Arredondo, F.J.L., (1990). La aplicación del análisis de cúmulos y de componentes principales en el estudio limnológico de estanques temporales En: De la Lanza G y Arredondo, *La acuicultura en México: de los conceptos a la producción*, Instituto de Biología, UNAM, México, D.F. 315 pp.
- Asencio, D.A. & Aboal, M., (2000). Algae from La Serreta cave (Murcia, SE Spain) and their environmental conditions. *Algological studies*. 96: 59-78. Stuttgart.
- Banks, R. y Herrera, F. (1977). Effect of wind and rain on surface aeration, En Owen, T., Doyle, R., Darrel, S., Bruce, T., Glass, J., Dávalos, L y Limón, J., Lago de Chapala: factores que controlan la producción de fitoplancton, Ingeniería- Hidráulica en México 17-29.
- Becerra-Muñoz, s., Buelna-Osben, H.R., Catalan-Romero, J.M., Aguilera-Ceja, N.A. y López-Díaz, s., (1998). Calidad del agua y volumen zooplanctónico del lago de Chapala. *Memorias del I Congreso Nacional de Limnología, Morelia, Mich.*
- Bledsoe, L.E., & Phlips, J.E. 2000. Relationships between phytoplankton standing crop and physical, chemical, and biological gradients in the Suwannee River and Plume Region, U.S.A. *Estuaries*, Vol. 23, No. 4, p. 458-473.
- Bourrely, P. (1970). *Les Algues D' eau Douce Initiation a la systematique* Tomo I, II y III, Editions N. Bourbéé & Cie, Paris.
- Centro de Estudios Limnológicos, (C.E.L.) 1978-1980. (1980). Estudio y Monitoreo de la calidad del lago de Chapala En: Jaramillo, J., Limón, J., Ledesma, R., West, L., Álvarez, S., y Ruiz, R., *Recopilación y primera etapa de información sobre calidad del agua*. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, Dirección Prevención de la Contaminación Ambiental, 313 pp.
- Chorus, I. and Schlag, G. , (1993). Importance of intermediate disturbances for the species composition and diversity of phytoplankton in two very different Berlin lakes. *Hydrobiologia* 249:67-92.
- Dávalos, L., Owen, T. and Doyle, R. (1989). Evaluation of Phytoplankton-Limiting Factors in Lake Chapala, Mexico: Turbidity and Spatial and temporal Variation in Algal Assay Response. *Lake and reservoir Management*, 5(2):99-104.
- Díaz-Pardo, E., Vázquez, G. & López-López, E., (1998). The phytoplankton community as a bioindicator of health conditions of Atezca Lake, México. *Aquatic Ecosystem Health and Management* 1: 257-266.
- Edmonson, W.T., (1959). *Freshwater Biology* 2a. Edition. E.U. 1248 pp.
- García, E. (1989) *Modificaciones al sistema climático de Köppen*; UNAM, México, D.F. 35 pp.
- Gomes, N.M., (2000). Phytoplankton composition, dominance and abundance as indicators of environmental compartmentalization in Jurumirim Reservoir (Paranapaema River), Sao Paulo, Brazil. *Hydrobiologia* 431:115-128

- Guzmán, A. M., (1995). El Lago de Chapala. En: De la Lanza, E. G y García, C. J.L., 1995. *Lagos y Presas de México*. Centro de Ecología y Desarrollo, A.C. 320 pp.
- Guzmán, A.M. & Orbe, M.A., (2002). El Lago de Chapala. En: De la Lanza, E. G y García, C. J.L., (2002). *Lagos y Presas de México*. AGT Editor, S.AA. México, D.F. 680 pp.
- Instituto de Ingeniería, UNAM, (1972). *Estudio limnológico del lago de Chapala, Primera etapa*. Dirección General de Usos del Agua y Prevención de la Contaminación, Subsecretaría de Recursos Hidráulicos, México, D.F. (2 vol).
- Instituto de Ingeniería, UNAM, (1973). *Estudio limnológico del lago de Chapala, Segunda etapa*. Dirección General de Usos del Agua y Prevención de la Contaminación, Subsecretaría de Recursos Hidráulicos, México, D.F. (2 vol).
- Instituto de Ingeniería, UNAM, (1974). *Estudio limnológico del Lago de Chapala, tercera etapa*. Dirección General de Usos del Agua y Prevención de la Contaminación, Subsecretaría de Recursos Hidráulicos, México, D.F. (2 vol).
- Jaramillo, J., Limón, J., Ledesma, R., West, L., Álvarez, S., & Ruíz, R. (1984). *Recopilación y primera etapa de información sobre calidad del agua en el lago de Chapala*, Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, Dirección General de Prevención de la Contaminación Ambiental, 313 pp.
- Kalff, J. & KnoecheL, R., (1978). Phytoplankton and their dynamics in oligotrophic and eutrophic lakes. *Annals of Rev. Ecological Systems*. 9, 475-495.
- Kirsten, O., & Nauwerek, A. (1993). Stress and disturbance in the phytoplankton community of a shallow, hipertrophic lake, *Hidrobiología* 249:15-24.
- Ledesma, G. R., 1985, *El nanoplancton del lago de Chapala*, Tesis licenciatura. Universidad Autónoma de Guadalajara 101 pp.
- Limón J., Jaramillo, J., Ledesma, R., West, L., Alvarez, S. y Ruíz, R., (1986), recopilación, *Segunda etapa de evaluación sobre calidad del agua en el lago de Chapala, Jalisco*. Subsecretaría de Ecología, Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental. Vol 1, 404 pp.
- Limón, J. and Lind, O.T., (1990) The management of Lake Chapala (Mexico): Considerations after significant changes in the water regime, *Lake and reservoir management, North American Lake Management* 6(1):61-70
- Lind, O., Doyle, R., Darrel, S., Bruce, T., Glass, J., Dávalos, L. y Limón, J., (1992). Lago de Chapala: factores que controlan la producción de fitoplancton. *Ingeniería-Hidráulica en México* 17-29 p.
- Maniak, U. (1997) *Hydrology and Water Management. Introduction for Engineers*, 4<sup>th</sup> edn. Springer-Verlag, Berlin, Heildelberg and New York.
- Margalef, R., (1956). Información y diversidad específica en las comunidades de los organismos, *Investigación. Esq.* 3:99.
- Martino, P. (1989). *Curso básico sobre eutroficación*, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencia del Ambiente, Organización Mundial de la Salud, 69 pp.
- Mestre, R.J.E., (1995). La Cuenca Lerma-Chapala. En *Lagos y presas de México*. De la Lanza, E.G. y García, C.J.L., (1995). Centro de ecología y Desarrollo, México D.F. 320 pp.
- Naselli-Flores, L. & Barone, R., 2000. Phytoplankton dynamics and structure: a comparative analysis in natural and man-made water bodies of different trophic state. *Hydrobiologia* 438: 65-74.
- Ortíz, R., Romo, V. G. y Limón, M., (1982). Comportamiento del plancton de red del lago de Chapala. *Memorias del tercer congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*, Acapulco, Gro. 25 pp.
- Owen, L., Doyle, R., Darrel, S., Bruce, T., Glass, J., Dávalos, L. y Limon, J., (1992). Lago de Chapala factores que controlan la producción de fitoplancton. *Ingeniería Hidráulica en México*. 17-29 p.
- Palmer, M., (1975). *Keys to the water quality indicative organisms of the Southeastern U.S.* Washington, U.S.A. Environmental Protection Agency. 29 pp.
- Prescott, G. W., (1970). *How to know, the fresh-water algae*, Universidad de Montana, WM, C. Brown Company Publisher, 348 pp.

- Pesson, P, (1979). *La contaminación de las aguas continentales*, Ed. Mundi prensa, Madrid, España, 335 pp.
- Rakowska, B., (2000). Qualitative assessment of water in the Rawka River (Central Poland) using communities of benthic diatoms. *Algological studies*. 96: 105-118. Stuttgart.
- Saldaña, F.P., Sandoval, M.J.C., López, L.R. y Salcedo, S.E., (2001). Utilización de un índice de diversidad para determinar la calidad del agua en sistemas lóticos. *Ingeniería Hidráulica de México*, Vol. XVI, núm. 2, pp. 57-66.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, (SARH), (1975). *Legislación relativa al agua y su contaminación*. Subsecretaría de Planeación y Ordenación Ecológica, México, 144 pp.
- Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, (SEDUE), (1988). *Control de Contaminación del agua en México*. Subsecretaría de Ecología. Dirección General de Servicios Nacionales de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, México, 191 pp.
- Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, (SEMARNAP) (1996). *Norma Oficial Mexicana*. NOM-001-Ecol-1996.
- Sommer, U., (1993). Disturbance-diversity relationships in two lakes of similar nutrient chemistry but contrasting disturbance regimes. *Hydrobiologia*. 249: 59-65.
- Steel, D.G.R.. and Torrie, H.J., (1988). *Bioestadística. Principios y Procedimientos*. Ed. Mc Graw Hill. México, D.F. 132-165.
- Wetzel, R. G., y Likens, G. E., (1979). *Limnological analyses* W. B. Saunders, Co., Philadelphia, 137 p.
- Wetzel, R.G. 1981. *Limnología*, Ed. Omega, 259-318 p.