

1998-B

COD.696004524

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias

Centro Universitario de Ciencias de la Salud

Maestría en Ciencias de la Salud Ambiental



**"Evaluación de la Calidad del Agua en el
Lago de Chapala durante 1996-1997"**

TESIS PROFESIONAL

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
MAESTRO EN CIENCIAS**

PRESENTA:

CELIA DE LA MORA OROZCO

ZAPOPAN, JAL. FEBRERO DEL 2001

*9307602
1998-001*

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
 Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias
 Centro Universitario de Ciencias de la Salud
Maestría en Ciencias de la Salud Ambiental

SUBCOMITE DE TESIS E INVESTIGACION

M.C. Martha Georgina Orozco Medina
 Titular por el CUCBA
 Dr. Francisco Trujillo Contreras
 Titular por el CUCS
 P r e s e n t e:

Por medio de la presente nos permitimos informar a Usted(es), que habiendo revisado el trabajo de Tesis que realizó el(a) pasante:

BIOL. CELIA DE LA MORA OROZCO

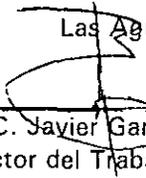
con el título: "EVALUACION DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL LAGO DE CHAPALA DURANTE 1996-1997".

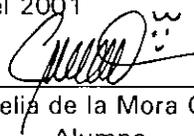
Manifestamos que ha quedado debidamente concluido, por lo que ponemos a su consideración el escrito final para autorización de impresión y en su caso programación de fecha de presentación y defensa del mismo.

Sin otro particular, agradecemos de antemano la atención que se sirva dar a la presente y aprovechamos la ocasión para enviarle un cordial saludo.

Atentamente

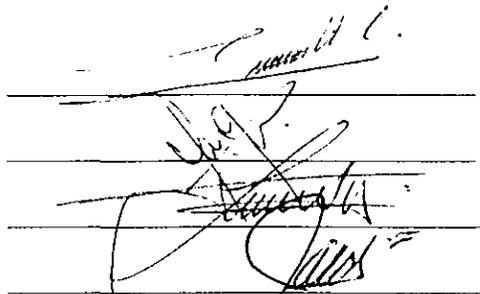
Las Agujas, Zapopan Jal., a 30 de enero del 2001

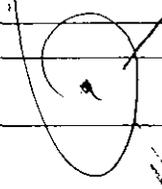
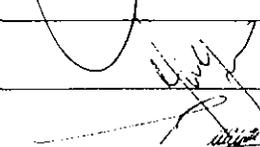
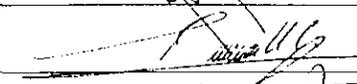
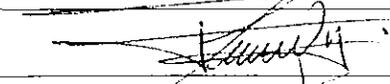
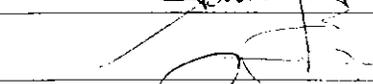
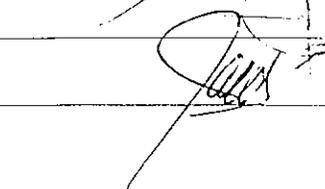

 M.C. Javier García Velasco
 Director del Trabajo de Tesis


 Biol. Celia de la Mora Orozco
 Alumna

Asesores

1. Dr. Francisco Trujillo Contreras
2. M.C. Martha Georgina Orozco Medina
3. M.C. Fco. Martín Huerta Martínez
4. Dr. José Ariel Ruíz Corral



Sinodales	Firma
1. M.C. ARTURO CURIEL BALLESTEROS	
2. M. C. MARTHA G. OROZCO MEDINA	
3. DR. FRANCISCO TRUJILLO CONTRERAS	
4. M.C. FCO. MARTIN HUERTA MARTINEZ	
5. M.C. JAVIER GARCIA VELASCO	
6. DR. JOSE ARIEL RUIZ CORRAL Suplente	

AGRADECIMIENTOS

Al M.C. Javier García Velasco por su gran apoyo en la dirección de este trabajo, por su paciencia para conmigo y el estímulo que siempre me brinda para conseguir mis metas, pero sobre todo por ser más que mi maestro, mi amigo.

A la M.C. Martha Georgina Orozco Medina, por su apoyo incondicional como mi amiga, maestra y asesora, por su calidad humana, gracias.

Al Dr. Francisco Trujillo Contreras, por su participación y apoyo en la asesoría de este trabajo, agradezco su conocimiento y tiempo.

Al Dr. José Ariel Ruíz Corral, por su apoyo profesional y personal y el estímulo para la terminación de este trabajo.

Al M.C. Arturo Curiel Ballesteros, por sus aportaciones y valiosos comentarios para la culminación de este documento.

Al M.C. Fco. Martín Huerta Martínez, agradezco sus valiosas aportaciones, por su tiempo y paciencia.

Al Dr. Ramón Martínez Parra, por brindarme su apoyo y confianza en mi carrera profesional.

A todos mis Maestros que tuvieron a bien encaminar mi formación como Maestro en Ciencias, les agradezco su dedicación.

DEDICATORIA

A Dios, por siempre gracias.

Por la oportunidad de ser, de compartir, de vivir, por incluirme en el más grande de sus proyectos y dejarme ser mi propio proyecto de vida.

A mis padres Carlos y Maria Teresa por ser la parte esencial de mi vida, por brindarme su cariño y apoyo incondicional, y a quienes debo gran parte de lo que ahora soy, les dedico este trabajo con todo mi cariño.

A mis hermanos José, Carlos y Héctor, por los buenos momentos que hemos compartido, y de manera especial a mis hermanas Yolanda y Bertha Alicia, de quienes admiro su paciencia y fortaleza para luchar y seguir adelante, a pesar de todo.

A mis sobrinos, Héctor, Rogelio, Alejandra, Marisol, Diana y Adrián, por su alegría y ganas de vivir, porque en algún momento de su vida este trabajo sea un estímulo para perseguir sus metas.

A ti, por formar parte de mi, porque nunca es tarde para coincidir, gracias por existir.

INDICE DE CONTENIDO

CAPITULO	PAG.
CAPITULO I	
Introducción	1
CAPITULO II	
Marco Teórico	4
2.1 Tendencias internacionales de uso del agua	4
2.2 Contaminación del agua, fuentes o tipos de contaminación	5
2.3 Contaminación del agua en lagos y embalses	5
2.4 Eutroficación y proliferación de maleza acuáticas	6
2.5 Consecuencias ambientales de la contaminación de las aguas	8
2.6 Procesos de autopurificación de lagos	9
2.7 Calidad del agua	10
2.8 Criterios y normas de calidad del agua	11
2.9 Principales presas y lagos en México	12
2.10 Aprovechamiento y usos del agua de presas y lagos en México	12
2.11 Regiones hidrológicas del País	15
2.12 Tendencias de explotación y afectaciones al recurso hidráulico en México	17
2.13 El río Lerma y el lago de Chapala	17
2.14 Generalidades del lago de Chapala	18
2.15 Modificaciones efectuadas en el lago de Chapala	28
2.16 Análisis Multivariable	31
CAPITULO III	
Justificación	32
CAPITULO IV	
Objetivos	35
CAPITULO V	
Descripción del área de estudio	36
5.1 Cuenca hidrográfica Lerma-Chapala	36
5.1.1 Características del lago de Chapala	37

CAPITULO VI

Material y métodos	49
6.1 Muestreo y preservación	49
6.2 Metodología para el análisis del agua	52
6.3 Procedimiento para el análisis de resultados	54
6.4 Correlación entre parámetros factores evaluados ICA-Diversidad	59
6.5 Elaboración de mapas de distribución de contaminantes	60
6.6 Elaboración de mapas de diversidad	60
6.6.1 Elaboración de mapas de diversidad fitoplanctónica	60
6.7 Análisis estadístico	61

CAPITULO VII

Resultados y Discusión	63
7.1 Análisis de parámetros evaluados	63
7.2 Cálculo del Índice de Calidad del Agua (ICA)	103
7.3 Correlación entre parámetros y factores evaluados ICA-Diversidad	110
7.4 Limitantes de uso del agua	113
7.4.1 Toxicidad de elementos	116
7.5 Elaboración de mapas de distribución de contaminantes (ICA) Y frecuencia y diversidad	116
7.6 Análisis estadístico	117
7.6.1 Cluster análisis	117
7.6.2 Ordenación	123

CAPITULO VIII

Conclusiones	140
--------------	-----

CAPITULO IX

Bibliografía

Anexos



INDICE DE TABLAS

BIBLIOTECA CENTRAL

TABLA	PAGINA
1. Lagos y lagunas más importantes en México	12
2. Concentración promedio de parámetros evaluados en el lago de Chapala por la GEMS/WATER	24
3. Indices de Calidad del Agua, evaluados en 1990	27
4. Aves identificadas en el lago de Chapala	48
5. Especificaciones técnicas de evaluación	50
6. Fechas de muestreo	50
7. Parámetros evaluados	52
8. Descripción de métodos analíticos	53
9. Formula para el cálculo de los Indices de Calidad del Agua	56
10. Parámetros utilizados para el cálculo del Indice de Calidad del Agua	56
11. Valor asignado a los parámetros	57
12. Valor asignado a los parámetros	59
13. Cálculo de fecolftaleína	64
14. Especiación química de la alcalinidad	64
15. Clasificación del agua a partir de la concentración de alcalinidad	65
16. Concentración promedio de alcalinidad por muestreo	65
17. Clasificación del agua a partir de la concentración de cloruros	66
18. Concentración promedio de cloruros por muestreo	67
19. Concentración promedio de color por muestreo	68
20. Clasificación del agua a partir de la salinidad	69
21. Concentración promedio de conductividad por muestreo	70
22. Concentración promedio de D. Q. O. Por muestreo	71
23. Clasificación del agua a partir de la concentración de dureza	72
24. Concentración promedio de dureza total por muestreo	72
25. Clasificación del agua a partir de la concentración de fósforo total	73
26. Concentración promedio de fósforo total por muestreo	73
27. Concentración promedio de fósforo de ortofosfatos por muestreo	74
28. Concentración promedio de nitrógeno de nitratos por muestreo	76
29. Concentración promedio de nitrógeno de nitritos por muestreo	77
30. Clasificación del agua a partir de la concentración de nitritos	77
31. Concentración promedio de oxígeno disuelto por muestreo	79
32. Clasificación del agua a partir de la concentración de pH	80
33. Concentración promedio de pH por muestreo	80
34. Concentración promedio de sólidos totales por muestreo	83
35. Concentración promedio de sólidos disueltos por muestreo	83
36. Concentración promedio de sólidos suspendidos por muestreo	84
37. Clasificación del agua a partir de la concentración de sólidos en suspensión	84
38. Clasificación del agua a partir de la concentración de sulfatos	85
39. Concentración promedio de sulfatos por muestreo	86
40. Concentración promedio de temperatura, por muestreo	86

41. Concentración promedio de turbiedad por muestreo	87
42. Concentración promedio de turbiedad Secchi por muestreo	88
43. Valores de oxígeno disuelto por estación y profundidad	89
44. Concentración promedio de oxígeno disuelto muestreo 1	90
45. Concentración promedio de oxígeno disuelto muestreo 2	92
46. Concentración promedio de oxígeno disuelto muestreo 3	94
47. Concentración promedio de oxígeno disuelto muestreo 4	96
48. Concentración promedio de oxígeno disuelto muestreo 5	98
49. Valores promedio de la evaluación los Indices de Calidad del Agua	104
50. Parámetros que exceden los límites máximos permisibles NOM-127-SSA1-1994	113
51. Parámetros que exceden los límites máximos permisibles NOM-127-ssa1-1994	113
52. Criterios de calidad del agua American Petroleum Institute	114
53. Calidad del agua para diferentes usos, U.S.A.	114
54. Reglamento técnico-sanitario sobre la calidad del agua potable, España	115
55. Porcentaje explicado por ejes en ByC, muestreo 1	124
56. Correlación entre parámetros y ejes de ordenación, muestreo 1	125
57. Porcentaje explicado por ejes en ByC, muestreo 2	128
58. Correlación entre parámetros y ejes de ordenación, muestreo 2	128
59. Porcentaje explicado por ejes en ByC, muestreo 3	131
60. Correlación entre parámetros y ejes de ordenación, muestreo 3	131
61. Porcentaje explicado por ejes en ByC, muestreo 4	133
62. Correlación entre parámetros y ejes de ordenación, muestreo 4	134
63. Porcentaje explicado por ejes en ByC, muestreo 5	137
64. Correlación entre parámetros y ejes de ordenación, muestreo 5	137

INDICE DE GRAFICAS

GRAFICA	PAGINA
1. Escala de calidad del agua, criterios generales	28
2. Perfil teórico de oxígeno, muestreo 1	91
3. Perfil teórico de oxígeno, muestreo 2	93
4. Perfil teórico de oxígeno, muestreo 3	95
5. Perfil teórico de oxígeno, muestreo 4	97
6. Perfil teórico de oxígeno, muestreo 5	99
7. Perfil teórico de oxígeno,	100
8. Índice de calidad del agua, muestreo 1	105
9. Índice de calidad del agua, muestreo 2	106
10. Índice de calidad del agua, muestreo 3	107
11. Índice de calidad del agua, muestreo 4	108
12. Índice de calidad del agua, muestreo 5	109
13. Correlación ICA-Diversidad (Fitoplancton)	112

INDICE DE FIGURAS

FIGURA	PAGINA
1. Ubicación de puntos de muestreo en el lago de Chapala (ICA)	27
2. Ubicación de plantas de tratamiento y poblaciones ribereñas	29
3. Descripción de la cuenca hidrográfica Lerma-Chapala	36
4. Imagen satelital del lago de Chapala	37
5. Batimetría del lago de Chapala	38
6. Patrones de circulación del agua en el lago de Chapala	42
7. Temperatura promedio mensual	43
8. Proceso metodológico	51
9. Cluster Análisis, muestreo 1	118
10. Cluster Análisis, muestreo 2	119
11. Cluster Análisis, muestreo 3	120
12. Cluster Análisis, muestreo 4	121
13. Cluster Análisis, muestreo 5	122
14. Exposición gráfica, correlación con ejes, muestreo 1	126
15. Exposición gráfica, correlación con ejes, muestreo 1	126
16. Exposición gráfica, correlación con ejes, muestreo 2	129
17. Exposición gráfica, correlación con ejes, muestreo 2	129
18. Exposición gráfica, correlación con ejes, muestreo 3	132
19. Exposición gráfica, correlación con ejes, muestreo 3	132
20. Exposición gráfica, correlación con ejes, muestreo 4	135
21. Exposición gráfica, correlación con ejes, muestreo 4	135
22. Exposición gráfica, correlación con ejes, muestreo 5	138
23. Exposición gráfica, correlación con ejes, muestreo 5	138

CAPITULO I

INTRODUCCION

Las organizaciones internacionales han tomado conciencia de los problemas ambientales que se viven en la actualidad ya que directa o indirectamente tienen una repercusión en la salud humana, estos esfuerzos se han enfocando en tres aspectos principales: aire, suelo y agua. En las estrategias de salud y medio ambiente, se menciona la necesidad de garantizar la capacidad del medio ambiente de sustentar el bienestar y la salud humana para que esta no se vea menoscabada, específicamente en lo que se refiere a la calidad del aire, del agua y del suelo, la protección a la atmósfera y los océanos (Agenda 21, 1994).

El agua es el líquido más abundante en la tierra y constituye un requisito para la vida en todos sus aspectos, ya sea que se utilice en procesos metabólicos, como disolvente de minerales o para la eliminación de desechos. Es difícil citar un fenómeno natural en el que el agua no participe en una u otra forma (Turk, 1984).

Las condiciones de salud de un cuerpo de agua están directamente relacionadas con la calidad del agua de los mismos, estos aspectos contribuyen a las características de Salud Ambiental de un medio determinado, la Organización Mundial de la Salud ha definido a la Salud Ambiental como: la serie de actividades desarrolladas por organismos e instituciones interesados en proteger la salud individual y colectiva de las consecuencias del impacto de las acciones del hombre sobre su entorno. Además la Salud Ambiental, se ocupa de las formas de vida, las sustancias, las fuerzas y las condiciones del entorno del hombre que puede ejercer una influencia sobre su salud y bienestar (OMS, 1970).

Centrándose en el caso común de las aguas corrientes superficiales, donde las familias de variables hidrogeológicas, climato-meteorológicas, físico-químicas, bióticas y

antropogénicas van a determinar las características resultantes de calidad y de cantidad del agua (Miracle, 1999).

Para climas templados, con cuatro estaciones diferentes, resulta deseable el estudio de las características del agua en cada una de ellas; es imprescindible, al menos, en los dos casos extremos de avenida y estiaje. A estos componentes temporales de características climato-meteorológicas es necesario integrar, en buena parte de los casos, otras antropogénicas que pueden distorsionar fuertemente los ciclos naturales, ya que en una misma cuenca coinciden vertidos urbanos y/o industriales aguas arriba de captación (García, 1975).

El estudio de los recursos hídricos contribuye a:

- a) La reducción de desechos y contaminación de recursos marinos y de agua dulce, y de los efectos adversos en la vida acuática.
- b) Alternativas para satisfacer las necesidades de abastecimiento de agua y saneamiento, considerando los elementos tecnológicos, financieros, de gestión y de comportamiento de los consumidores.
- c) Tecnologías alternativas y costeables para el tratamiento del agua y su reutilización, mientras se protege contra agentes microbiológicos y químicos.

Es importante evaluar las condiciones de carácter químico que constituyen un factor de riesgo para las condiciones ambientales de la población. La realización de análisis de carácter bacteriológico, en el agua, nos permite evaluar condiciones de contaminación para determinar los posibles usos del agua (Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud, 1988).

Por otra parte, un problema mundial que afecta a los países en vías de desarrollo como el nuestro, es que la mayoría de los estudios limnológicos existentes se refieren a cuerpos de agua de latitudes templadas y son muy pocos los que tratan a cuerpos de agua de la franja intertropical, lo que dificulta la aplicación de medidas que se han

empleado para atender problemas de contaminación en cuerpos de agua. La mayoría de los lagos tropicales investigados se localizan en Africa Central y Oriental, en América se han llevado a cabo estudios principalmente en aguas cercanas al Ecuador, incluyendo extensos estudios en el Amazonas y sus lagos asociados. Se sabe muy poco sobre las aguas de América Central y México (Zaret, 1981).

La evaluación de los diferentes parámetros físico-químicos del agua permite observar el comportamiento de las condiciones de salud, relacionado a los contaminantes que son introducidos en los cuerpos de agua, esta condición tiene afectaciones de carácter importante, porque tiene una relación directa con la productividad del agua.

Esta investigación evaluó la calidad del agua del lago de Chapala en el periodo 1996-1997, analizando los parámetros físico-químicos y biológicos para después calcular el Índice de Calidad del Agua, el resultado de este cálculo es un número que representa las condiciones de calidad del agua que permanecen en el lago durante el periodo de estudio, por otro lado estos valores se correlacionan con la diversidad de fitoplancton para observar la posible influencia de los contaminantes en dicha diversidad.

También se presenta la distribución espacial de los resultados obtenidos en el análisis de la diversidad de fitoplancton así como los Índices de Calidad del Agua con la finalidad de localizar de manera específica la distribución de contaminantes en todo el lago. La importancia de este planteamiento es puntualizar las zonas de mayor riesgo para la población, así como de un trabajo con fines de seguimiento.

Este trabajo formó parte del proyecto: "Sistema Ecológico Integral del Lago de Chapala para su conservación y aprovechamiento", dentro del Proyecto de Ordenamiento Ecológico Territorial del Estado de Jalisco, financiado por FOMES.

Mi formación como Maestro en Ciencias de la Salud Ambiental, permite aplicar en el desarrollo de esta investigación los conocimientos adquiridos.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

Actualmente, existe una gran preocupación mundial por lo recursos hídricos, el agua dulce tiene especial interés desde el punto de vista antropogénico, ya que desde principios de la civilización la mayoría de los asentamientos humanos se han relacionado con algún cuerpo de agua continental (Lean, 2000).

El agua dulce es esencial para el éxito de las sociedades modernas y se menciona que una manera fácil de conocer el modo de vida de los países es a través del consumo de agua *per capita*, pues aquellos con un nivel de vida alto muestran un requerimiento de agua potable alto (100-500 litros por hba./día), comparados con los países pobres. La preocupación por la protección del mismo se incrementa, ya que la demanda continúa en aumento (Maitland, 1990).

2.1 Tendencias internacionales de uso del agua

En 1980 se dispuso de 1000 m³/hba./año, que supondrían 2,740 lts./hab./día, que es, *a priori*, una cantidad muy importante de agua, ya que las necesidades domésticas requieren entre 100 y 300 lts./hba./día, según el nivel de desarrollo. Sin embargo, hay que considerar que la mayor parte del consumo de agua se dedica a la agricultura e industria y que la distribución del agua en el planeta no es uniforme, sino que existen zonas claramente excedentarias frente a otras regiones, las áridas, en las que la escasez de agua es crónica (Scott, 1984).

En México, existe el problema de que el agua dulce está distribuida de una manera muy heterogénea con respecto a la población, pues cerca del 80% del agua se encuentra en altitudes menores a los 500 msnm y sólo el 5% se encuentra por encima de los 2000 msnm, altitud donde se localizan la mayoría de los asentamientos humanos y las zonas

industriales, por ello el Altiplano Mexicano es la región que sufre en mayor medida de este problema (Lamberri, 1987).

2.2 Contaminación del agua, fuentes o tipos de contaminación

Las fuentes de contaminación tienen tanta variedad como las características de las aguas residuales que producen. De la contaminación de las corrientes superficiales son responsables las poblaciones, por medio de sus descargas directas y los lixiviados provenientes de sus depósitos de basura; las industrias, también en forma directa o por el depósito de sus residuos sólidos, lavado de emisiones atmosféricas y el arrastre de sus gases por el viento y la lluvia, que provocan el fenómeno de la "lluvia ácida"; y los campos de cultivo, además de otras fuentes naturales como las zonas inundables, pantanos y volcanes, entre otros (Suess, 1982).

Las aguas provenientes de zonas agrícolas (frecuentemente llamadas de retorno agrícola), por su parte, contienen una gran cantidad de sales disueltas, así como residuos fertilizantes y plaguicidas; pero sus concentraciones varían mucho dependiendo de las características del terreno, la forma de riego, la forma de aplicación de los fertilizantes y plaguicidas, así como la composición de los mismos. Las aguas residuales industriales presentan una gran variedad de contaminantes y con muy diversas concentraciones; pero, frecuentemente, los efectos de estos residuos son más severos pues suelen contener sustancias acumulables y tóxicas (Stoker, 1968).

2.3 Contaminación del agua en lagos y embalses

Se considera contaminación cuando la composición o el estado del agua están modificados, directa o indirectamente por el hombre, (Feachm, 1980). Los nutrientes son indispensables para la vida y la presencia de flora y fauna acuáticas y solo se da en cuerpos de agua con un cierto nivel trófico. Cuando un río o un lago reciben descargas municipales o agrícolas, con altos contenidos de nutrientes, puede producirse en ello una fertilización excesiva de las aguas. Ello provoca el envejecimiento prematuro del

cuerpo receptor, con la consecuente pérdida de oxígeno disuelto y proliferación de malezas acuáticas (Cruz *et al*, 1994).

De las tres regiones del país donde se encuentran los lagos más importantes: Jalisco – Michoacán, Sureste y los lagos de origen volcánico de Puebla, los más relevantes por su magnitud y por sus características son sin duda los de la región lacustre comprendida entre los Estados de Jalisco y Michoacán. La cantidad de agua de muchos de estos lagos se ha ido reduciendo paulatinamente en los últimos años, a tal punto que algunos de ellos se encuentran en peligro de desaparecer, por ejemplo: Chápala, el lago más grande de la República Mexicana (De Anda *et al*, 1998)

2.4 Eutroficación y proliferación de malezas acuáticas

Eutroficación, es el proceso natural de envejecimiento de un lago. Un lago recibe aporte de agua de su cuenca de drenaje, junto con materiales superficiales del terreno arrastrados por el agua, también pueden llegar materiales arrastrados por la lluvia y nieve, sustancias transportadas por el viento y aguas que fluyen por el subsuelo. De ahí que la calidad del agua y de las comunidades biológicas en un lago refleje los efectos acumuladores de todos los aportes de agua y materiales (Bretado, 1989).

Margalef llama a los lagos el “ecosistema modelo”, pues en ellos se perciben todos los elementos de un sistema vivo. En primer lugar, tienen límites precisos y dimensiones que en general, permiten considerarlos como de características homogéneas. En los lagos puede representarse en forma muy completa los ciclos de diferentes elementos químicos y la red trófica. Adicionalmente puede observarse con mucha claridad el concepto de que el ecosistema es un sistema cerrado en cuanto a materia pero impulsado por un flujo abierto de energía (Margalef, 1981).

El ambiente se daña seriamente debido a la contaminación del agua, muchos organismos que viven y se reproducen en el agua son afectados por la contaminación de la misma, esto puede alternadamente lastimar el ciclo vital de otras especies

animales y vegetales acuáticos. Por otro lado es importante señalar que la presencia o ausencia de algunos microorganismos en los sistemas acuáticos son indicadores de calidad o ausencia de la misma, esto es conocido como biomonitoreo (Bavor y Mitchell, 1994).

Numerosos experimentos en el laboratorio y en el campo han demostrado el importante papel del fósforo, nitrógeno y en algunos casos el silicio en la dinámica de las poblaciones de algas, tanto lo que respecta a las concentraciones de algas como a la composición de las distintas especies. Recientemente se ha comprobado experimentalmente en un lago en Canadá la importancia del papel de los nutrientes. Así limitar la entrada de estos "macronutrientes" supone la primera opción para controlar la eutroficación (Ryding y Rast , 1992).

El clima puede influir en la productividad de un lago, al afectar la entrada anual de energía y agua, la hidrología del área de captación, la velocidad de desagüe y el transporte de nutrientes y sedimentos a la masa de agua. Los tipos y modelos climáticos pueden ser distintos en función de la localización (latitud, longitud) y la altitud. El clima puede afectar sucesivamente a la temperatura anual del agua, la duración de la estación de crecimiento, la dirección y velocidad de los vientos, la cantidad de precipitaciones y la estructura térmica de la masa de agua. La disponibilidad de energía solar es un factor muy importante para controlar la producción de fitoplancton durante la estación de crecimiento (Barnes y Mann, 1980).

Sin embargo, Dávalos y Doyle, 1989, determinaron en experimentos de laboratorio los factores limitantes en la producción de fitoplancton en el lago de Chapala, encontraron que el crecimiento o aumento de fitoplancton no es gobernado por algún nutriente, sino por las condiciones de alta turbidez en el mismo, es decir, el factor limitante es la iluminación.

La identificación del factor o nutriente limitante al crecimiento algal es fundamental para las etapas subsecuentes de preservación o restauración de cuerpos interiores de agua.

En la mayoría de lagos y presas estudiados el fósforo o el nitrógeno han mostrado ser los nutrientes limitantes (Uttormark, 1979).

2.5 Consecuencias ambientales de la contaminación de las aguas

Además de sustancias disueltas en el agua que tienen un origen natural, existen otras que tienen su origen en productos de desecho de la actividad humana, bien arrojados a ella directamente, como cuando se le usa como vehículo para eliminar sustancias molestas, o bien que lleguen a ella indirectamente como consecuencias del lavado de zonas que los contenían (La Riviere, 1989).

Ciertas sustancias químicas solubles, incluso de baja solubilidad, presentes en el agua a dosis bajas, pueden alcanzar niveles tóxicos en una especie y en sus predadores. Así, los contaminantes que penetran en una corriente de agua pueden convertirse en amenaza para la salud de las personas, bien por medio de la cadena alimentaria o bien por el agua utilizada para beber (Falkenmark, 1988).

El efecto de los contaminantes en el agua, va a depender de:

- Factores dependientes del receptor
- Toxicidad del compuesto

Características geomorfológicas, químicas y microbiológicas: las reacciones químicas, bioquímicas, fenómenos de adsorción, etc., pueden modificar la toxicidad como ejemplo podemos citar el mercurio, inorgánico que puede transformarse en mercurio orgánico (metil y dimetil mercurio), el cual es extremadamente tóxico, por la acción de bacterias y hongos existente en el medio acuoso (Becker, 1995)

Otros factores de tipo ambiental capaces de modificar la acción tóxica:

- Temperatura, que puede alterar el estado físico-químico del contaminante. En general, la toxicidad aumenta con la temperatura.

- pH, que puede favorecer en algunos casos la toxicidad. El cianhídrico es especialmente tóxico en forma molecular, de manera que cualquier alteración del pH que influye sobre el grado de disociación aumentará la toxicidad de la solución sin incrementar la cantidad total de ácido.
- Dureza, los contaminantes suelen ser más tóxicos en aguas blandas (Egeberg, 1998).

Toxicidad del compuesto químico

Muchas de estas sustancias químicas vertidas en el medio ambiente sufren cambios físicos y químicos que afectan a su toxicidad convirtiéndose en inofensivas, mientras que otras se transforman en compuestos muy tóxicos que pueden suponer un riesgo para la salud. Habitualmente la concentración en la que se encuentra un tóxico en el agua de bebida, no suele provocar fenómenos de toxicidad aguda, pero la absorción continua de productos con carácter tóxico puede, a la larga, plantear problemas de salud pública. La determinación del riesgo tóxico que puede suponer un determinado producto o residuo, se realiza mediante medidas de la concentración umbral que produce efectos. La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha definido para el caso de la contaminación en el hombre los siguientes parámetros:

- Dosis diaria admisible por ingestión, (mg/día).
- Dosis semanal tolerable, (mg/siete días).
- Valor umbral límite, (concentración límite en ppm).

También hay que tener en cuenta que los vertidos suelen contener mezclas complejas de tóxicos, cuyo efecto puede ser *aditivo*, *antagónico* (cuando se interfieren uno al otro) o si el efecto conjunto es mayor que él, cabría esperar considerando los efectos individuales, *sinérgico* (Gurrieri, 1998).

2.6 Procesos de autopurificación de lagos

La naturaleza a previsto medios para la conservación del agua, otorgándole una capacidad considerable para eliminar por sí misma, sustancias que la contaminan. Este proceso se conoce con el nombre de autopurificación. Independientemente si se trata

de lagos o estanques, los procesos naturales de purificación son similares. La autopurificación estabiliza algunas de las corrientes contaminadas con desechos domésticos (los que derivan de las poblaciones humanas) o con desechos industriales (los desechos líquidos de industrias de procesos húmedos y el drenaje ácido de minas). Esta purificación se logra por combinación de factores físicos, químicos y biológicos, el grado al que cada uno opera depende del tipo de contaminación. Los factores físicos intervienen en la separación de los sólidos suspendidos, las reacciones químicas transforman los desechos inestables en productos inofensivos y las fuerzas biológicas contribuyen a la estabilización de la corriente realizando fenómenos tanto físicos como químicos. Este último factor es el más importante para lograr el equilibrio de una corriente. En todas las corrientes es normal encontrar un equilibrio entre las formas biológicas, aunque son varias las especies de vida vegetal y animal, se puede decir que no hay dos que sean idénticas, no obstante las corrientes puras y limpias poseen ciertas características en común. Una de ellas es su capacidad para deshacerse de una cantidad razonable de contaminación. Esto se puede lograr sin perturbar en forma notable la biota normal, si una corriente recibe una cantidad de desechos mayor de lo normal, la biota cambiará en su intento para estabilizar dichos contaminantes. Sin embargo si la cantidad de estas materias extrañas sobrepasa la capacidad que la biota de la corriente tiene de transformarlas en elementos inocuos, la vida acuática puede verse destruida por completo. En tales casos la corriente se hace peligrosa para la salud y se convierte en una zanja de drenaje poco agradable (Turk, 1984).

De acuerdo con el Programa de Monitoreo Mundial del Agua, los cursos de agua en América Latina reciben una alta descarga de bacterias y materia orgánica. Se estima que, en promedio, los niveles de bacterias de origen fecal son del orden de mil por cada cien mililitros. También es evidente la presencia de virus y un gran número de protozoarios y huevos de helmintos (Esparza, 1998).

2.7 Calidad del agua

La calidad del agua es un término que siempre estará relacionado con el uso o las actividades a las cuales se destinará, así se utilizará agua de calidad para beber, para

riego, de uso doméstico, etc., será indiferente que la falta de calidad se deba a causas naturales o artificiales, en otro caso, la calidad del agua se identificará con su estado natural y la pérdida de calidad vendría medida por la ausencia de ese estado. De cualquier manera es evidente que la calidad del agua considerada así, se ve afectada principalmente por las actividades humanas y al mismo tiempo afecta al desarrollo de otras, este es el fenómeno de la contaminación (American Society for testing and Materials, 1982).

En la determinación de la disponibilidad del agua en el país, no solamente es necesario saber que cantidad de agua está a nuestro alcance en las diferentes fases del ciclo hidrológico, además, deben conocerse las características físico - químicas y bacteriológicas para estar en condiciones de darle uso en diferentes actividades productivas y como agua potable en el abastecimiento a poblaciones. (Lamberri, 1987).

2.8 Criterios y normas de calidad del agua

Los criterios y normas de calidad del agua pueden definirse como los niveles o concentraciones que deben respetarse para un uso determinado. Existen diversos usos que pueden darse al agua, pero aquellos que involucran criterios de calidad del agua son principalmente los siguientes: abastecimiento para sistemas de agua potable e industrias alimenticias, usos recreativos, conservación de la flora y fauna, uso agrícola e industrial, acuacultura, riego. El manejo de la calidad del agua se mejora con la aplicación de normas de calidad para cuerpos receptores y descargas de aguas residuales. El reglamento para prevenir y controlar la contaminación de aguas señala normas para tres tipos de aguas superficiales: aguas dulces, estuarios y aguas costeras. Los parámetros que regulan para cada uno de los tres tipos de cuerpos de agua son muy similares, pero las concentraciones máximas permisibles son diferentes en cada caso (Lamberri, 1987).

En México las especificaciones de calidad fueron determinados en los "Criterios ecológicos de calidad del agua CCA-001-89" publicados en el Diario Oficial de la

Federación, la "NOM-127-SSA1-1994 "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamiento a que debe someterse el agua para su potabilización".

2.9 Principales presas y lagos en México

Los principales cuerpos de agua en México son presas, de las cuales aproximadamente 250 tienen capacidad superior a 5 millones de m³.

En la tabla 1, se presentan los 5 lagos y lagunas más importantes del país en cuanto a su capacidad y usos que presentan, señalándose además su localización.

Tabla 1. Lagos y lagunas más importantes en México

Nombre	Localización	Capacidad	Usos
Lago de Chapala	Jalisco y Michoacán	----	Abastecimiento público, pesca, riego, generación de energía eléctrica y turismo.
Lago de Cuitzeo	Michoacán	700	Pesca, riego y explotación de sal y tule.
Laguna de Catemaco	Veracruz	657	Riego y generación de energía eléctrica.
Lago de Pátzcuaro	Michoacán	555	Riego, pesca y turismo
Laguna de Meztitlán	Hidalgo	365	Riego y pesca

2.10 Aprovechamiento y usos del agua de presas y lagos en México

El aprovechamiento y uso de los cuerpos de agua superficial como son presas y lagos en México se ha intensificado en los últimos años, anteriormente los acuíferos subterráneos eran suficientes para satisfacer las necesidades de las poblaciones, pero con el incremento demográfico del país y de sus actividades productivas se demandan cada vez mayores volúmenes de agua, siendo necesario utilizar y aprovechar de una forma Integral las presas y lagos. Esto ha contribuido a que se diversifiquen los usos,

en función de las necesidades de los núcleos de población destacando los siguientes: riego, generación de energía eléctrica, turismo, pesca comercial, pesca deportiva, abastecimiento público y piscicultura.

En nuestro país debido al régimen, estacional de la precipitación y a las características de la orografía del territorio las corrientes pluviales presentan un escurrimiento artificial para el mejor aprovechamiento del agua y por lo tanto hace que en México se tengan mayores almacenamientos en presas y no en lagos. La localización geográfica de los recursos hídricos es un factor determinante en su aprovechamiento, pues permite que los núcleos de población se sirvan de estos para incrementar sus actividades productivas. En México desafortunadamente la localización geográfica de estos recursos no guarda ninguna relación con la distribución de los habitantes del país pues mientras el sureste con el 7% del área nacional, cuenta con el 40% de los recursos hidráulicos y aloja el 8% de la población únicamente se aprovecha el 12% de estos recursos. Esto nos da una idea de la importancia de la localización de los recursos hidráulicos en relación con los núcleos de población.

En la actualidad, el más importante que se tiene en México es el riego, sin embargo, la generación de energía eléctrica ha recobrado importancia debido el fomento que se está dando al desarrollo industrial.

Otros usos que tienen gran relevancia en el desarrollo socioeconómico son: el abastecimiento público, la pesca comercial, la piscicultura, el turístico, los cuales con el incremento desmedido de las poblaciones van adquiriendo su respectiva consideración el marco de alternativas.

Uso del agua para generación de energía eléctrica:

La extracción de agua que se destina a la generación de energía eléctrica representa un uso y no un consumo, ya que el volumen que se recibe es siempre devuelto sin variación alguna en cuanto a cantidad o calidad si la planta es hidroeléctrica y con mínimas pérdidas si es termoeléctrica.

Abastecimiento público:

La factibilidad de aprovechar las presas y lagos como fuente de abastecimiento municipales una alternativa que esta resultando efectiva para cubrir los necesidades urbanas, además de incrementar sus actividades productivas como se ha observado en las ciudades de México, Monterrey y Guadalajara principalmente. Esto es consecuencia de que en las últimas décadas se ha observado que la demanda de este vital líquido en las zonas urbanas no puede ser cubierta con las fuentes de abastecimiento subterráneas siendo necesario reutilizar las fuentes superficiales para lograrlo. Es necesario hacer notar que en este uso la calidad del agua es de gran importancia, ya que se requieren características específicas de calidad por lo que el costo del tratamiento requerido para su aceptación definirá en un momento dado la posibilidad de utilizarla con fines potables.

Piscicultura:

La piscicultura es una zootécnica de reciente utilización en las aguas dulces en México y dada la explosión demográfica que se ha manifestado en los últimos años y el consecuente incremento de las necesidades alimenticias de las poblaciones, se ha impulsado en las últimas décadas esta actividad, que es una biotécnica bondadosa y presenta altos rendimientos pesqueros, además de que promete bastantes beneficios económicos en nuestro país, donde existen condiciones adecuadas para su desarrollo. Un ejemplo de éste actividad lo representa el lago de Chapala en Jalisco, la presa Infiernillo y el lago de Patzcuaro en Michoacán en donde se están explotando estas técnicas en la actualidad. Representa por lo tanto, este uso, un instrumento para aprovechar las presas y lagos de nuestro país y combatir el problema alimentario.

Turismo:

El uso de los cuerpos de agua en México con fines turísticos está siendo impulsado en los últimos años por nuestro gobierno ya que las presas y lagos de nuestro país representan además de una fuente de ingresos como atractivos turísticos, centros de recreo y esparcimiento para los núcleos de población cercanos a éstos. Entre las

actividades de tipo turístico que existen se pueden citar: la pesca deportiva, los deportes acuáticos, la natación, los paseos en lancha, etc.

La estimación de los volúmenes de agua que se utilizan en riego, generación de energía eléctrica abastecimiento público e industrial que no se recuperan se ha realizado por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.

2.11 Regiones hidrológicas del País

La Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos a través de su centro de Estudios Limnológicos, el cual dispone de un proyecto llamado "Catálogo Nacional de Lagos y Embalses" y cuyo objetivo principal es obtener toda la información necesaria de los lagos y embalses de México para la realización de un estudio que logre reunir condensadamente los datos socioeconómicos, demográficos, hidrológicos, climatológicos y todos los desarrollados para lograr la caracterización de sus aguas. Hasta la fecha se han publicado los resultados del estudio de la presa del Ahogado, Cajón de Peñas, Lagunillas, La Vega y Cajititlán, teniéndose en elaboración los estudios de varias presas y lagos (C.N.A., 1999).

El lago de Chapala primero en importancia en México se ha venido estudiando desde 1972 lográndose tener hasta la fecha bastante información aunque todavía existe la necesidad de complementarla y realizar otro tipo de estudios para lograr tener un estudio Limnológico completo del lago (Limón, 1990).

Para el estudio del ciclo hidrológico en una porción geográfica muy grande, como la República Mexicana, que cuenta con dos millones de kilómetros cuadrados de superficie y un litoral de diez mil kilómetros, es necesario hacer uso de una regionalización que permita estudiar por partes, y de una manera ordenada, las características físicas que influyen en la disponibilidad del agua y los requerimientos de cantidad y calidad del recurso para una diversidad de usos. Entre las diversas

regionalizaciones que existen del país se encuentran: regionalización hidrológica, regionalización del plan nacional hidráulico y regionalización geoeconómica.

Una forma de regionalizar el país, acorde con los objetivos de un estudio relacionado con el agua, es por medio de las cuencas hidrológicas. Se entiende por cuenca hidrológica las superficies de tierra y agua que contribuyen a la descarga de una corriente. Una cuenca tiene como límites las pendientes que encaminan el agua de lluvia o de deshielo hacia una corriente, y reciben el nombre de "parteaguas". Varias cuencas pueden agruparse en regiones mayores para su estudio conjunto lo que se ha llamado "Regiones Hidrológicas", en México se dividieron en 37 regiones hidrológicas, pero estas a su vez se agruparon para su estudio en solo catorce regiones.

Por otro lado las regiones geoeconómicas permiten relacionar las características físicas del país con las condiciones económicas que imperan en cada región, esta relación puede ayudar a explicar, por ejemplo, la existencia de grandes embalses en el estado de Chiapas y también los conflictos en el uso del agua, que han dado por resultado la reducción en el volumen de muchos lagos.

Regiones del Plan Nacional Hidráulico

I	Baja California	VIII	Papaloapan
II	Noroeste	IX	Grijalva-Usumacinta
III	Pacífico Centro	X	Península de Yucatán
IV	Balsas	XI	Cuencas cerradas del Norte
V	Pacífico Sur-Itsmo	XII	Lerma-Santiago
VI	Bravo	XIII	Valle de México
VII	Golfo	XIV	Costa Centro

Dado que existe poca consideración con respecto a las vedas, y de no modificarse la tendencia de sobreexplotación que impera en extensas zonas de la República Mexicana, pueden preverse serias afectaciones a los acuíferos tanto en la cantidad de agua disponible como en su calidad. Cuando la explotación de los mantos freáticos es excesiva, el agua de recarga empieza a ser reemplazada por aguas fósiles, con altos contenidos de minerales y aguas salobres debidas al levantamiento de la cuña salina en las zonas costeras (Lamberri, 1987).

2.12 Tendencias de explotación y afectaciones al recurso hidráulico en México

La disponibilidad de agua se ha ido reduciendo paulatinamente en muchas regiones del país, debido a una diversidad de obras y acciones que se llevan a cabo en detrimento del ciclo hidrológico original. Se ha modificado sensiblemente la presencia del agua en la atmósfera de muchas zonas, al afectarse el microclima debido a la tala inmoderada y a la reducción del volumen de los cuerpos de agua o su desecación. Este tipo de prácticas produce, además, erosión, asolvamiento de cuerpos de agua y alienta la desertificación.

Los almacenamientos naturales se han deteriorado en general por deficiencias en el balance de agua, debido a extracciones excesivas en las corrientes que lo alimentan: tala inmoderada de sus cuencas, con el consiguiente arrastre de sedimentos; descarga de aguas residuales y sobreexplotación del recurso pesquero. Existe una fuerte tendencia de muchos lagos y lagunas a desaparecer, por lo que urge que se lleven a cabo acciones para un manejo adecuado de las cuencas, prevención de los cuerpos de agua con una alta calidad estética o natural, y control de las descargas de aguas residuales. Actualmente los cuerpos de agua lénticos más grandes de la República son los embalses artificiales (C.N.A., 1999).

Es necesario revertir la tendencia de que las grandes obras de infraestructura se lleven a cabo sin importar los impactos que esto pueda provocar en los recursos naturales, los ecosistemas frágiles y el bienestar de la población local (Lambarri, 1987).

2.13 El río Lerma y el lago de Chapala

El río Lerma nace en Almoloya de Alquisiras, Méx., pasa por la zona industrial del valle de Toluca y recibe sus aguas residuales, así como las aguas negras de la capital del estado; en su largo recorrido hasta Chapala, es contaminado por otras industrias y las descargas del drenaje de todos los municipios por los que pasa.

El río Lerma figura como uno de los más contaminados del país; el más grave de los daños es causado por los desechos líquidos que sobre él arrojan las decenas de industrias instaladas a lo largo de su cauce, al grado de que se ha provocado prácticamente la desaparición total de la fauna y flora de sus aguas. Este río es la principal fuente de contaminación del lago de Chapala, según un estudio realizado por la Secretaría de Agricultura Recursos Hidráulicos (SARH), las aguas del río carecen casi por completo de oxígeno disuelto, elemento necesario para mantener los procesos biológicos de este ecosistema lacustre. Según se indica en este mismo estudio, de la descarga total de contaminantes que recibe el lago de Chapala, 60% corresponde a desechos industriales, 25% es de origen doméstico, 10% lo aportan los desechos agrícolas y 5% la basura (Lambarri, M.A. 1987).

El primer estudio sobre la calidad del sistema Lerma – Chapala – Santiago lo elaboró el plan Lerma asistencia técnica a partir de octubre de 1969, editado en 1971, cuando también se creó la dirección de prevención de la contaminación y se publicó la ley federal para prevenir y controlar la contaminación ambiental.

2.14 Generalidades del lago de Chapala

Testimonios de Guadalajara

El río mayor que nace en esta tierra es uno que nace diez leguas de México en un pueblo llamado Jalatlaco y allá le llaman el río de Toluca, y aunque tiene su nacimiento ochenta leguas de esta ciudad, pero endereza su corriente hasta este reino de la Galicia, en el cual comúnmente le llaman el río Grande. Cria mucho pescado en abundancia y bueno, la mayor cantidad es de bagres grandes, sardinas gruesa, bocudos y pejerreyes menudos, tomanse algunas truchas buenas, y un pez grande que llaman róbalo, cuya comida es tan regalada como la del sollo en Castilla, aunque estos son muy raros. El río es navegable en barco y en partes con nao, pero impídanlo los muchos saltos que hace y las grandes peñas eminentes que a trechos tiene. Hace entre otros un famoso salto cuatro leguas de esta ciudad, de cuarenta estados de altura al parecer, tiene de anchor un gran tiro de ballesta, descuelgase por esta anchura todo el

río por igual que cuando viene muy crecido, es una vista hermosa, rara y admirable, hace tan grande ruido que se oye a mucho trecho, y da su golpe en unas peñas abajo. Llega este río a este reino tan hondo y abarrancado que no se sirven de él para sacar acequias y regaderas. En su nacimiento es de tan mal agua que en muchas leguas no se puede beber, pero en este reino por las muchas buenas que se le juntan y por el quebrantamiento que en su largo curso hace entre tantos peñascos y saltos, viene delicadísima y sana sobre manera.

Hace este río quince leguas de aquí en el paraje de Jamay y Chiconaguatenco un lago, laguna o mar a la traza y forma del que escriben que hace el Jordán en el paraje de Genezare, que llaman mar de Tiberio, de cuál laguna sale este río con la misma pujanza que entra, corriendo por medio de ella, cuya corriente se percibe con la vista cuando la laguna está sosegada, que entonces se ve el raudal del río claramente. Es esta laguna de quince leguas de longitud de punta a punta, de latitud debe tener al parecer siete u ocho, es el agua dulce y delicada sobre manera, que por tal se bebe en cuantos pueblos tiene en sus riberas, que son muchos, es muy hondable que se pudiera en partes navegar seguramente con navíos de buen porte, limpia sobre manera, que no cría en sí hierba alguna en que se parece a la mar y aun en enojarse como ella. Cría entre otros peces algunos que los indios llaman en su lengua mexicana amilotes y el español le llama pescado blanco, es mayor de media vara, su carne excede en blancura a una leche cuajada, el gusto como de carne tan delicada no es apetitosa si no se ayuda de condimentos, es sumamente sano, que se da a cualquier enfermo. Llamase a esta laguna por acá la de Chapala, que es nombre de un pueblo marítimo que tiene en su ribera. Naveganla con canoas y chalupillas pequeñas. Sus costas son cálidas y se dan en ellas mucha cantidad de naranjas, cidra y limón, granada y uva y muchas frutas de la tierra. No tiene este río ningún puente de madera ni piedra, por su anchura, el paraje de él es en unas partes en barca con maromas, en otras en canoas chalupillas en otras en balsas fundadas sobre tecomates que son unas grandes calabazas.

Esto es lo que conforme al interrogatorio podemos responder de las propiedades de la ciudad de Guadalajara, de las entradas y salidas de ella, de las ocupaciones y granjerías de los vecinos y concluyamos con decir que aunque el temple es cálido, viven con salud y buen color todos los habitantes, es especial habiendo pasado en ella uno o dos años (UNAM, 1995).

Chávez dice, que el lago de Chapala, es el lago natural de mayores dimensiones de México, lo que ha permitido a los especialistas definirlo como un fenómeno orohidrográfico muy importante. El lago esta situado a 42 Km. al sur de la ciudad de Guadalajara y pertenece en su mayor parte a Jalisco y el resto a Michoacán, los municipios circundantes son: Chapala, Jocotepec, Tuxcueca, Tizapán, Jamay, Ocotlán, Poncitlán, Cojumatlán de Régules, Sahuayo, Venustiano Carranza y Briseñas, comprendidos en el estado de Jalisco los siete primeros y en Michoacán los cuatro restantes (Limón y Quijano, 1982).

La UNAM, 1974 describe que por su ubicación geográfica y considerando a otros lagos del mundo, se define como un lago tropical con elevación moderadamente alta (UNAM, 1974).

Limón asegura que los egresos de agua por el río Santiago son un total anual promedio de $1.270.7 \times 10^9$ m, que presentan los meses de octubre y junio que corresponden también a los meses de mayor extracción (Limón y Jaramillo, 1985).

Se ha referido que la evaporación es la mayor vía de salida de agua del lago, con un total anual promedio de $1.467.8 \times 10^9$ m, correspondiente al mes de mayo y diciembre es el mes que menores pérdidas por este concepto que se han registrado (Doyle, 1985).

La investigación del estado ecológico del lago ha venido siendo realizado por distintas instituciones en los últimos 20 años: Comisión Lerma–Chapala (ya desaparecida)

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Delegación Federal de Pesca y la Universidad de Guadalajara, así como algunos organismos internacionales.

Los diversos estudios concuerdan en que, conforme ha transcurrido el tiempo, el deterioro del ecosistema acuático ha sido progresivo, tanto en lo referente al grado de contaminación química como en la biológica. Sin embargo esta no se presenta por igual en toda la extensión del vaso sino que, como es de esperarse, es mayor en las proximidades de las poblaciones ribereñas, y más aún en el río Lerma que en Chapala y el río Santiago (U. de G. 1983).

La contaminación biológica del lago sólo está representada por bacterias patógenas de origen fecal (Coliformes como Salmonelas y Escherichia) que proceden de la descarga directa de aguas negras en el lago, que realizan algunas de las numerosas poblaciones ribereñas (Lyons, 1996).

Los problemas que existen en el lago se relacionan directamente con los sedimentos y otros elementos aportados por los desagües naturales (como los ríos y escurrimientos menores) y los desagües artificiales, como los drenajes industriales, agrícolas y municipales.

El lago de Chapala es alimentado principalmente por el río Lerma y se puede suponer los problemas de contaminación por diversas razones:

- La industria contribuye con una serie de sustancias que alteran las condiciones naturales del lago, ocasionando grandes riesgos para la salud y el bienestar de la población.
- El río Lerma nace en el estado de México, en las cercanías de Toluca, y recorre, antes de desembocar en Chapala, parte de la región más industrializada del país y el Bajío que además de contar con un gran número de industrias, es de las zonas agrícolas más desarrolladas y pobladas del país. De manera que un gran número de industrial arrojan sus aguas residuales al río y sus afluentes. También existe una

gran cantidad de ciudades como Irapuato, Celaya, Salamanca, La Piedad, que descargan sus aguas negras en la cuenca del Lerma.

- La agricultura, las nuevas técnicas agrícolas incorporadas al campo, aporta nuevas y complejas sustancias como plaguicidas y fertilizantes que afectan la vida acuática.
- La descarga de aguas residuales al lago de las poblaciones ribereñas.

Se han operado 77 estaciones en el lago de Chapala y 6 en el río Santiago.

Los parámetros de evaluación de calidad del agua que se han determinado con mayor frecuencia son:

Oxígeno disuelto	Alcalinidades
Demanda bioquímica de oxígeno	Durezas
Demanda química de oxígeno	Nitrógeno orgánico y total
Coliformes fecales	Ortopolifosfatos
Coliformes totales	Cloruros
PH	Sulfatos
Sólidos suspendidos totales	Fierro
Nitrógeno amoniacal	Grasas y aceites
Nitrógeno de nitratos	Detergentes
Fosfatos	Sólidos disueltos
Fenoles	Sólidos disueltos
Temperatura	Plaguicidas

También se han hecho estudios en peces de siete especies

Desde el punto de vista de agua potable, los siguientes aspectos del lago de Chapala son muy importantes:

- El río Lerma – Chapala y el río Santiago son contaminados diariamente por aguas residuales.
- El nivel del lago de Chapala tiende a ser cada vez menor.
- La población ribereña aumenta y los municipios vierten sus aguas al lago sin tratamiento previo.
- El costo de operación de las plantas potabilizadoras que hay en la ciudad de Guadalajara y la periferia aumenta.

- La demanda de agua siempre está en aumento, debido al crecimiento de la ciudad (Cámara de Comercio de Guadalajara, 1986).

Las características físicas del lago, son un factor importante para el comportamiento de la calidad del agua, la cual ha sido objeto de estudio de diversos investigadores tanto del país como del extranjero, siendo el primero realizado por Fernando de Buen (1943), seguido posteriormente por algunas instituciones. (U. de G., 1983).

De los aspectos importantes en estudios del lago de Chapala indican una homogeneidad en sentido vertical.

También algunas Instituciones Internacionales tienen interés en determinar las características que rodean al ecosistema del lago de Chapala, es así como la Global Environmental Monitoring System (GEMS) se inició en 1974, como promotora y colectora de datos ambientales, nacionales, regionales globales, asistiendo en el monitoreo de sistemas ambientales, además otro de sus objetivos es la colección, validación y comparación de datos ambientales globales.

En la guía operacional de GEMSWATER en monitoreo de Enero de 1990 en un total de 423 estaciones, en 58 países, que incluye 287 ríos, 60 lagos y 76 acuíferos, uno de los puntos de monitoreo en México es el lago de Chapala, en la tabla 2, se mencionan las concentraciones promedio de algunos parámetros que se han evaluado en el periodo de 1991 a 1996.

Tabla 2. Concentración promedio de parámetros evaluados en el lago de Chapala por la GEMS/WATER 1991-1996

1991-1993		1994-1996	
Parámetro	mg/l	Parámetro	mg/l
Conductividad	1250	Conductividad	980
Temperatura	26.1	Temperatura	28
NO ₃ NO ₂	0.54	NO ₃ NO ₂	0.43
NH ₃	1.20	NH ₃	3.63
D.B.O.	2	D.B.O.	4.0
Oxígeno Disuelto	70	Oxígeno Disuelto	69
Alcalinidad Total	258	Alcalinidad Total	364
Sol. Susp. Totales	83	Sol. Susp. Totales	86
Sol. Suspendidos	54	Sol. Suspendidos	26
Sol. Volátiles	54	Sol. Volátiles	326
Fósforo total	0.540	Fósforo total	1.8
Ortofosfatos	0.380	Ortofosfatos	1.1
Sulfatos	176	Sulfatos	192
Cloruros	52	Cloruros	47

En el periodo de 1972 a 1984, la alcalinidad total en el lago se mantuvo con una distribución horizontal, excepto en la porción inmediata al río Lerma, la alcalinidad total decrece de manera estacional siendo más pronunciada cerca del río Lerma, de 3.7 a 1.2 meq l⁻¹, por otro lado el pH se mantuvo en un promedio entre 8.2 y 8.7 meq l⁻¹, dependiendo de la estación del año y decrece en la estación más cercana al río Lerma con una concentración de 7.4 meq l⁻¹, en un periodo de 12 años determinando las concentraciones de carbonato de calcio, se dice que el lago esta aparentemente saturado de este elemento (Limón, et al, 1989).

El plancton en el lago de Chapala, tanto el productor que hace fotosíntesis como el consumidor, que no la produce, presenta variaciones de lugar y de profundidad (estratificación), así como también en las distintas estaciones del año y en la secuencia del tiempo en que se han realizado los muestreos, ya que la contaminación en sus tres aspectos: física, química y biológica, que sufre el lago, van modificando la composición en especies de esta microflora y microfauna (Guzmán, 1992).

La concentración de fósforo inorgánico en el lago de Chapala durante el periodo de 1972 a 1984, se incrementó de 230 µg l⁻¹ a 800 µg l⁻¹, se presume que este elemento

no es limitante en la productividad de fitoplancton del lago, la concentración de nitrógeno tuvo un incremento relativamente similar al del fósforo a lo largo del mismo periodo, estas fueron de $145 \mu\text{g l}^{-1}$ a $367 \mu\text{g l}^{-1}$, con una variación significativa en las estaciones más cercanas al río Lerma (Limón, et al, 1989).

En el periodo 1989-90 en el muestreo de 16 estaciones en el lago de Chapala, se detectó un aumento importante en la producción de fitoplancton en una estación localizada en el borde este del lago. La clorofila fitoplanctónica un elemento del agua (tasador de la biomasa algal), se incrementó considerablemente de 1983-84 a 1989-90. La producción de fitoplancton en el agua del lago de Chapala está limitada por la alta turbidez arcillosa. El contenido de nutrientes en el agua del lago va de moderado a alto. Los bioensayos de nutrientes algales dan una respuesta positiva sólo cuando se les sujeta a un incremento artificial de la intensidad de luz, bajo estas condiciones el nutriente limitante es el nitrógeno. Nunca se detectó fijación de este elemento en el lago (Dávalos y Lind, 1992).

El monitoreo de un cuerpo de agua para detectar su grado de contaminación, conduce a obtener una inmensa cantidad de datos de varios parámetros, incluso dimensionalmente distintos, que hace difícil detectar patrones de contaminación. Horton (1965) y Liebman (1969) son los pioneros en el intento de generar una metodología unificada para el cálculo del Índice de Calidad del Agua (ICA). Posteriormente con trabajos de mayor envergadura, la Fundación Nacional de Saneamiento (NSF por sus siglas en inglés), realizó un estudio para evaluar el ICA con base en nueve parámetros. Pratti (1971), presenta un trabajo con trece parámetros y Dinius (1972) realiza otro similar con once parámetros.

La descripción de los sistemas antes mencionados se puede encontrar en la recopilación hecha por Landwehr (1974). En México, durante el estudio limnológico del lago de Chapala, realizado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM (1974) se adoptaron los resultados del NSF y se modificaron para doce parámetros medidos en el lago.

Para la agrupación de los parámetros existen dos técnicas básicas; las denominadas aritméticas y las multiplicativas, Brown (1970). A su vez pueden o no ponderarse con pesos específicos para cada parámetro. Landwehr y Denninger (1976), demostraron la superioridad del cálculo a través de técnicas multiplicativas, que son mucho más sensibles que los aritméticos a la variación de los parámetros, por lo que refleja con mayor precisión un cambio de calidad.

En cuanto a la ponderación, Ott (1978) indica que el asignar pesos específicos a los parámetros tiene el riesgo de introducir cierto grado de subjetividad en la evaluación, pero por otro lado sugiere que es importante una asignación racional y unificada de dichos pesos de acuerdo al uso del agua y de la importancia de los parámetros en relación al riesgo que implique el aumento o disminución de su concentración.

El intento más reciente para el diseño del ICA es el de Dinius (1987). En dicho trabajo y usando el método Delphi de encuestas (creado con el objeto de integrar efectivamente las opiniones de expertos y eliminar las desventajas colaterales de un proceso de comité), agrupó a un panel de expertos en cuestiones ambientales y diseñó, a partir de la evaluación e interacción de ellos, un ICA de tipo multiplicativo y con asignación de pesos específicos por parámetro.

León, en 1990, crea un modelo unificado para determinar patrones y tendencias de la contaminación en cuerpos de agua, adaptable a la situación de nuestro país, tomando como referencia el creado por Dinius en 1987, modificándose con la inclusión de algunos parámetros sugeridos en el estudio realizado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM en 1974.

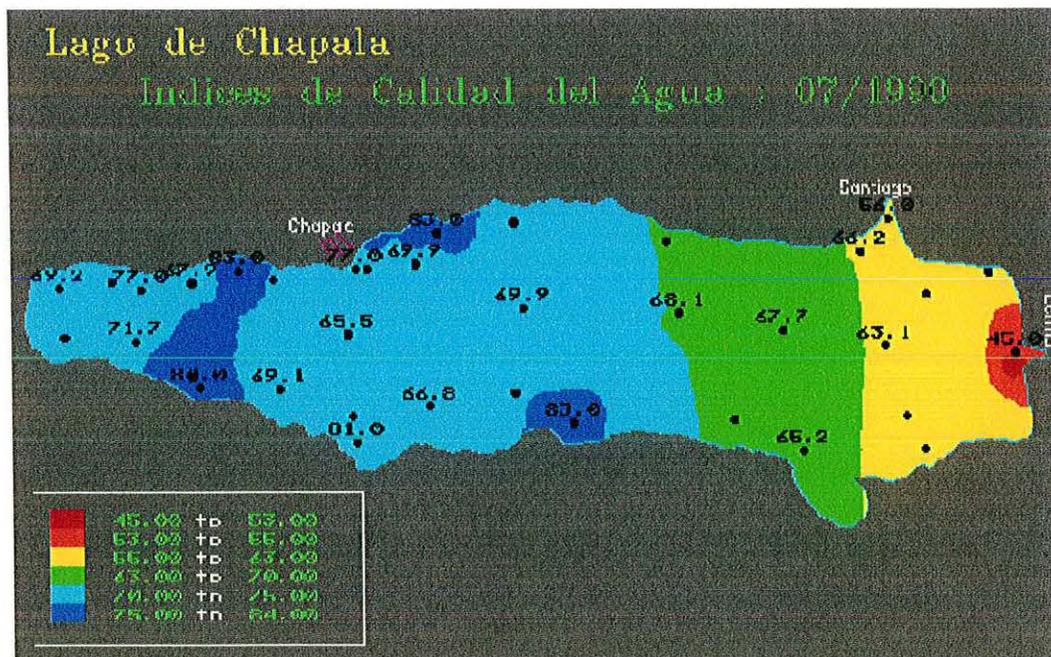
El modelo creado por León en 1990, se aplicó en la cuenca Lerma-Chapala, así como en el lago de Chapala, donde se tomaron diversos puntos de muestreo distribuidos (Figura 1) por todo el cuerpo de agua, los valores obtenidos de Índices de Calidad del Agua se presentan en la tabla 3.

Tabla 3. Indices de Calidad del Agua, evaluados en 1990

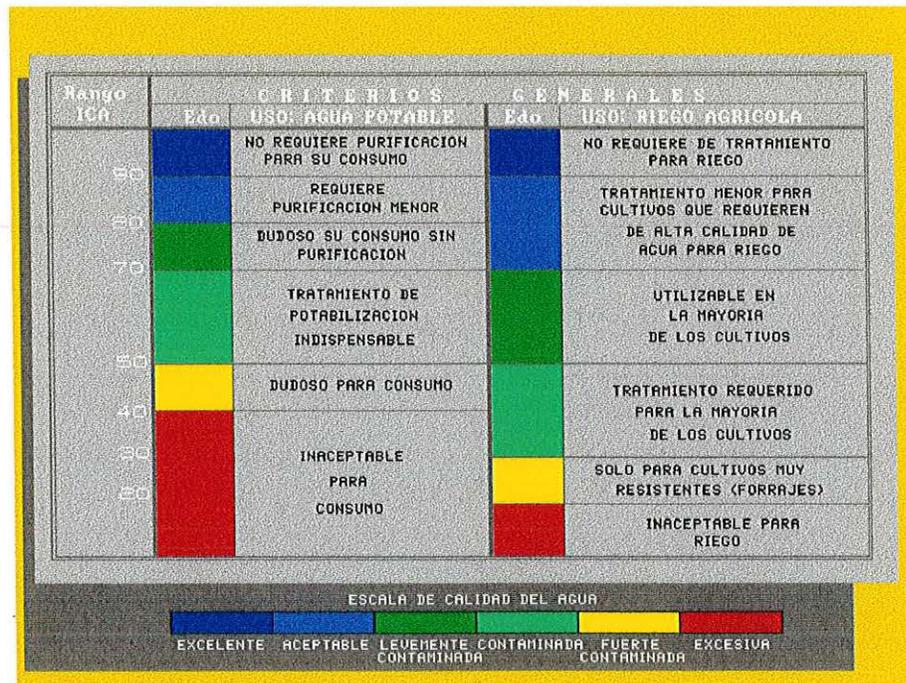
Estación	ICA	Estación	ICA
1	45	7	53
2	53	8	55
3	55	9	63
4	63	10	70
5	70	11	75
6	75	12	34

Para mostrar la tendencia y patrones de contaminación del agua, este método tiene una escala de valores, mencionando los principales usos del agua, que va de 0 a 100, es así como mientras el valor obtenido se acerca más a 100 la calidad del agua es mayor y si el valor se aleja de 100 la calidad decrece, gráfica 1.

Figura 1. Ubicación de puntos en el lago de Chapala (ICA)



Grafica 1. Escala de calidad del agua, criterios generales



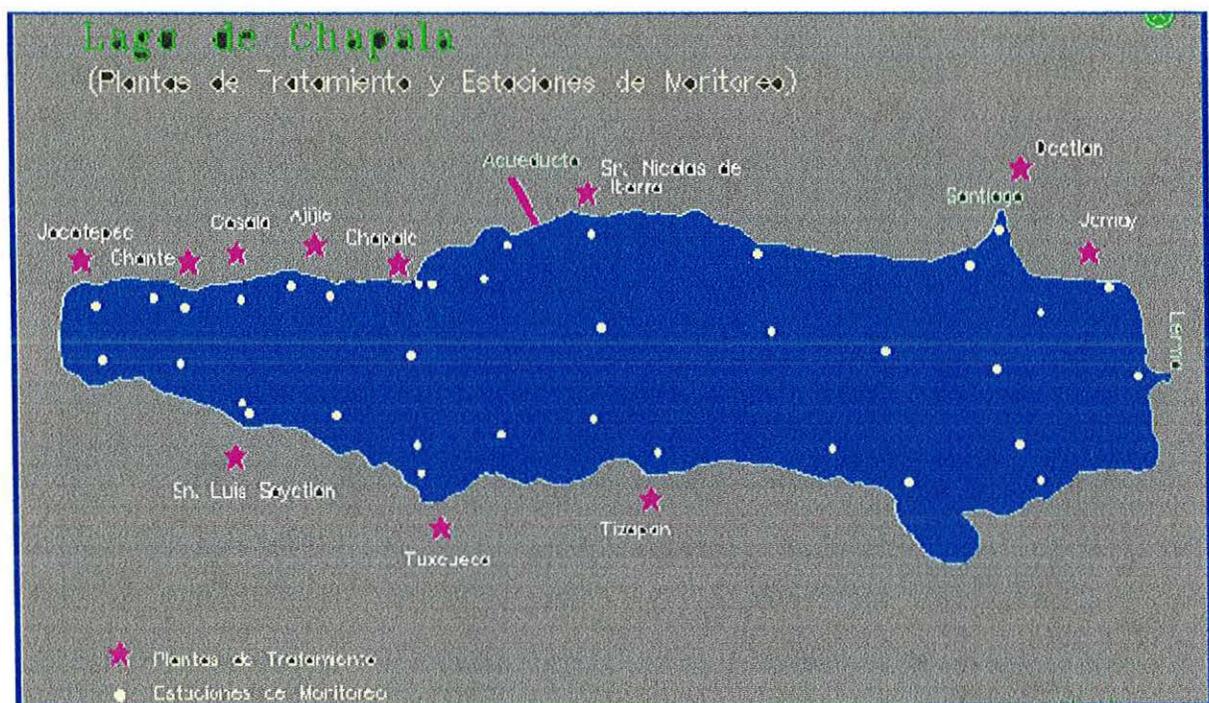
2.15 Modificaciones efectuadas en el lago de Chapala

A lo largo del presente siglo, el lago de Chapala a sufrido de forma directa, o no, las consecuencias de numerosas obras hidráulicas, muchas de ellas positivas, pero las más negativas.

- Escotto (1986) menciona que en 1897 se iniciaron los trabajos de construcción de la presa de Poncitlán, sobre el río Santiago, para control del nivel del lago, lo que incremento su capacidad de almacenamiento a 3500 millones de metros cúbicos, al aumentar el nivel de la cota 95.0 a la 97.8 m³.
- Entre 1904 y 1908 se levanto el bordo de contención, perdiendo el lago 50 km² de su vaso.
- El dique Maltaraña se termino de construir en 1953 y separó definitivamente a la ciénega de Chapala del lago. En ese mismo año se inicial las obras de conducción de agua para Guadalajara, tomando el agua de la presa Corona y derivándola al canal de Atequiza; El sistema entra en operación en 1956.

- El canal Ballesteros se construyó en 1956 como consecuencia del bajo nivel del lago en 1955, que impedía llevar agua a las centrales hidroeléctricas.
- En 1967 se reforzaron los bordos desde Jamay hasta la Palma.
- En 1986 se inician las obras del acueducto cerrados a la ciudad de Guadalajara, cuya planta de bombeo se encuentra en las cercanías de La Cruz de la Soledad.
- En 1990 entran en operación doce plantas de tratamiento de aguas residuales de las principales poblaciones ribereñas. Figura 2 (Sandoval 1990; CESELCH 1990a).

Figura 2. Ubicación de plantas de tratamiento y poblaciones ribereñas



De acuerdo con Lamerías (en Paré 1989), en 1950 se inicia la extracción masiva de agua del alto Lerma hacia la ciudad de México, extrayendo agua de los manantiales del Lerma en Almoloya. Se inicia el desarrollo industrial acelerado del Valle de México, nacen los grandes fraccionamientos. En la cuenca del Lerma surge un cambio en el patrón de los asentamientos con un desplazamiento hacia las cabeceras municipales, que traen como consecuencia una mayor demanda de agua. Esto se une también a la apertura de nuevos distritos de riego, con la construcción de presas, como la de Solís en 1949 (CNIC-DJ 1989). En 1958 y 1959 se reparan y construyen los diques de

protección de Salamanca, La Barca y La Ciénega; en estos últimos se aumento de la cota 98.5 a la 100.5 m³.

Problemática actual: Las características ambientales de una localidad guardan una estrecha relación con ciertos problemas de salud de los individuos, situación que actualmente adquiere mayor relevancia y prioridad de los organismos e instituciones internacionales relacionadas con el área de salud y medio ambiente.

El crecimiento urbano y la industrialización no planificados han significado, en mucho, una degradación ambiental que actualmente presenta diversos factores de riesgo para la salud humana.

En forma particular, los problemas de contaminación del agua, están relacionados con ciertas afecciones a la salud:

- Respiratorias.
- Gastrointestinales y de la piel
- Crónico-degenerativas (Mc Junkin, 1980).

Las comunidades asentadas en la ribera del lago de Chapala se caracterizan por presentar problemas ambientales relacionados con la calidad de agua, así como limitantes en su uso. Actualmente este lago reviste gran importancia por ser un recurso vital, por los problemas de deterioro que presenta como ecosistema y por la relación que guarda la calidad de éste con la salud humana. Uno de los puntos de interés, es la gran contaminación que presenta derivada de diversas fuentes como son: la industria, desechos domésticos y urbanos, agricultura y los escurrimientos provocados por la deforestación.

El río Lerma es considerado como uno de los más contaminados del país y la principal fuente de contaminación del lago de Chapala. De la carga total de contaminantes que recibe el lago, el 60% corresponde a desechos industriales, el 25% son de origen doméstico, el 10% lo aportan los desechos agrícolas y el 5 % la basura. Lo anterior significa que los contaminantes más comunes en el lago son: hidrocarburos,

fertilizantes, pesticidas, metales pesados, sólidos suspendidos, sólidos disueltos, ácidos, bases y compuestos orgánicos, todos ellos provocan problemas para la salud en mayor o menor escala (León Vizcaíno, et.al 1990).

2.16 Análisis Multivariable

El empleo de diversas metodologías en los estudios ambientales requieren de mayor atención así como el involucrar variables que permitan orientar mas acerca de las características que expliquen el comportamiento del medio, un tipo de análisis que ha adquirido recientemente una especial importancia, es el análisis multivariable, la rama de las matemáticas que permite examinar numerosas variables simultáneamente. La información de las comunidades y las variables que las rodean es multivariable, debido a que cada sitio se describe por la presencia de muchas especies y muchas variables ambientales especiales así como de muchas posibles interacciones entre ellas, lo cual da características especiales a cada sitio. El propósito del análisis multivariable es tratar los datos como un todo, resumiéndolos y revelando su estructura (Gauch, 1982).

Existen muchas metodologías dentro del análisis multivariable, pero la importancia radica en las variables y elementos que se tengan para analizar los sitio de estudio, es así como en ecología, por ejemplo, se utilizan algunas metodologías que ayudarán a interpretar mejor los sitios que darán elementos de apoyo para conocer mejor las variables que los gobiernan.

Hasta el momento no se tiene conocimiento de bibliografía del lago de Chapala, que mencione de una posible interpretación de resultados con métodos de análisis multivariable, por lo que la utilización de esta metodología. Existen diversos estudios que hablan de la relación entre ambiente y salud, sin embargo ésta es un área que requiere mayor conocimiento de esta relación, y una sistematización que permita implementar y adecuar metodologías para su abordaje.

CAPITULO III

JUSTIFICACION

El lago de Chapala es el vaso regulador del sistema hidrológico Lerma – Santiago, con una cuenca de 54.300 km² de área tributaria y principal fuente de abastecimiento de agua de la población de la zona metropolitana de Guadalajara que alcanza los 5 millones de habitantes. Actualmente este lago reviste gran importancia por ser un recurso vital, por los problemas de deterioro que presenta como ecosistema y por la relación que guarda la calidad de éste con la salud humana. Las características de calidad del mismo no son las óptimas, y las principales fuentes de contaminación son la industrial (con más de 1.500 industrias), desechos domésticos y urbanos, agricultura (con 750.000 ha) y la deforestación, (esta última, condicionando una mayor erosión del suelo, lo que provoca escurrimientos que desembocan en el lago aumentando los sedimentos en el mismo).

El río Lerma es considerado como uno de los más contaminados del país y la principal fuente de contaminación del lago de Chapala. De la carga total de contaminantes que recibe el lago, el 60% corresponde a desechos industriales, el 25% son de origen doméstico, el 10% lo aportan los desechos agrícolas y el 5 corresponden a sólidos (Santos Burgoa, 1992). Lo anterior significa que el lago puede recibir contaminantes como hidrocarburos, fertilizantes, pesticidas, metales pesados, sólidos suspendidos, sólidos disueltos, ácidos, bases y compuestos orgánicos, y todos ellos provocan problemas ecológicos y en la salud en mayor o menor escala (León Vizcaíno, et.al 1990). A pesar de las acciones realizadas, la contaminación en el lago se ha incrementado, debido principalmente al aumento de los agentes que la provocan y esto es el reflejo fiel de lo que acontece aguas arriba en un área de cuenca de 54,300 km² y debido a que el volumen mayor de agua que sale del lago es a través de la evaporación (anualmente se pierde el 76 % de las entradas medias), los contaminantes se concentran día con día y se acumulan con el paso del tiempo. Las autoridades correspondientes se enfrentan a una problemática que crece constantemente,

primeramente por la falta de indicadores actualizados de las cargas contaminantes tanto del recurso hídrico como de los impactos que se generan en los organismos y los procesos de sedimentación, debido principalmente a la falta de recursos económicos que permitan la realización de estudios diagnósticos frecuentes de magnitudes como las que exige este sistema hidrológico, así como los estudios de modelización de impactos en los aspectos ecológicos, económicos y sociales que se pueden manifestar en un futuro cercano.

Se considera que la problemática que se presenta en el lago radica en tres aspectos principales:

La demanda de agua y por consiguiente la reducción en la captación de volúmenes.

El deterioro de la calidad del agua y con ello se modifican los procesos del ecosistema lacustre, el ingreso de la contaminación a las fuentes abastecedoras del lago provoca una serie de trastornos de tipo biológico y físico, que le otorga características especiales.

Acelera la erosión en la zona y por consiguiente la tasa de sedimentación de este vaso lacustre. Los aspectos físicos que rodean al lago tienen particular importancia, estos proporcionan elementos vitales para su funcionamiento como cuerpo de agua, donde existe una serie de organismos que conviven entre sí, la sedimentación contribuye en la disminución del paso de luz hacia las zonas más profundas del lago, impidiendo que se lleven a cabo funciones vitales en los organismos y por lo tanto su reproducción.

El análisis de estos aspectos reflejan la problemática de la cuenca Lerma-Chapala, y por otro lado nos permite integrar resultados de varias disciplinas de estudio.

Se han efectuado esporádicos seguimientos en la calidad hídrica, con la finalidad de optimizar este recurso, así como evaluar el impacto que la progresiva acumulación de contaminantes provoca en el ecosistema, se propone la realización de un estudio del

seguimiento de la calidad del agua anual, cuyos resultados permitan definir las estrategias de seguimiento posterior del lago a fin de optimizar su aprovechamiento y minimizar los impactos contaminantes.

La importancia de esta investigación radica en el seguimiento y diagnóstico anual de la calidad del lago de Chapala, en el periodo 1996 a 1997, así como la aportación metodológica en el análisis de los resultados que permita orientar de manera más estricta los diferentes usos del agua, con el propósito de prevenir posibles efectos en la salud humana y a la salud ambiental del mismo lago, como ecosistema.

CAPITULO IV

OBJETIVOS

Objetivo general

Estudiar la calidad del agua en el lago de Chapala a través del análisis de parámetros físico químicos y biológicos en el periodo 1996-1997

Objetivos particulares

Evaluar la variabilidad de la calidad del agua en el lago de Chapala durante un ciclo anual de estudio

Elaborar el Índice de Calidad del Agua (ICA) por muestreo y por estación

Establecer la correlación entre parámetros y factores evaluados ICA-diversidad

Identificar limitantes de uso de agua y toxicidad de elementos

Elaborar mapas de ICA y Diversidad fitoplanctonica

CAPITULO V

DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO

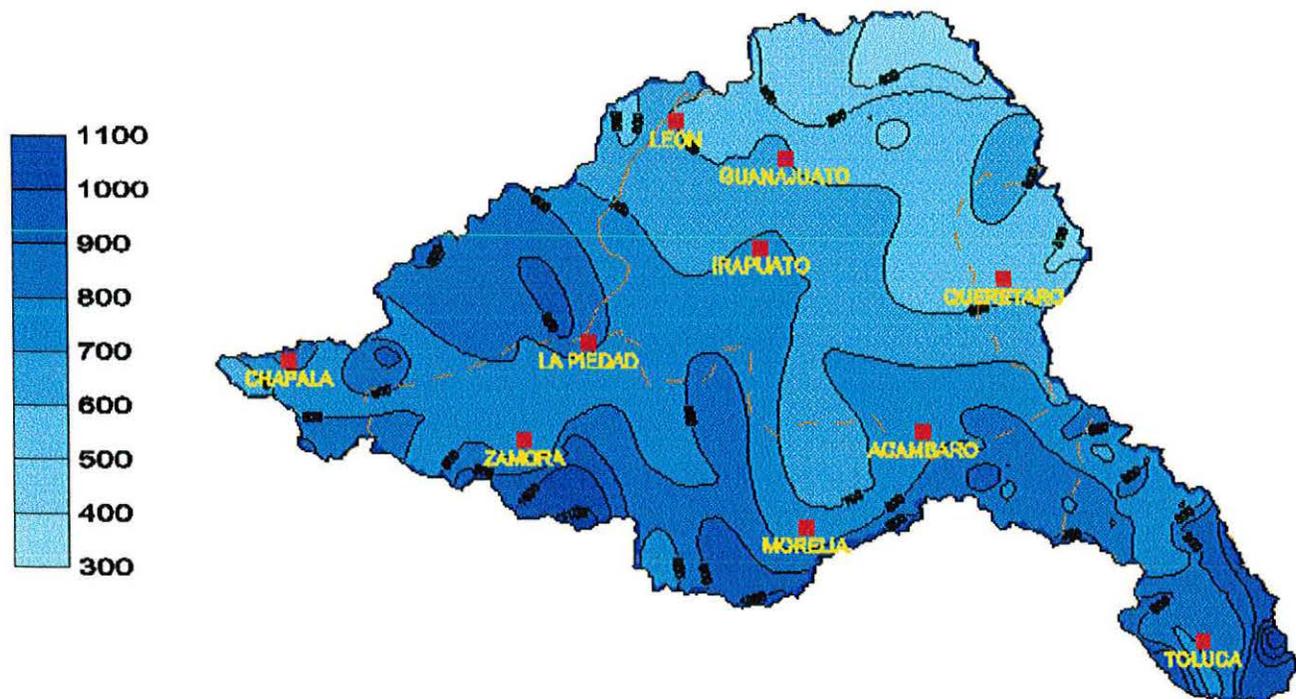
En el presente trabajo se aborda la descripción del área de estudio desde el enfoque específico relativo al lago de Chapala y desde una perspectiva global de la cuenca hidrográfica en la que esta asentado dicho cuerpo de agua, por lo que su descripción se detalla a continuación.

5.1 Cuenca hidrográfica Lerma-Chapala

Ubicación

La cuenca Lerma-Chapala se asienta en parte de 5 estados de la Republica Mexicana (Guanajuato, Estado de México, Querétaro, Michoacán y Jalisco), en el centro-occidente del país. Tiene una área tributaria de 54,300 km², y representa el 3 % del territorio nacional. Se encuentran instaladas en ella más de 1,500 industrias y se tienen 750,000 ha de uso agrícola.

Figura 3. Descripción de la cuenca hidrográfica Lerma - Chapala
Niveles de precipitación promedio anual (mm)

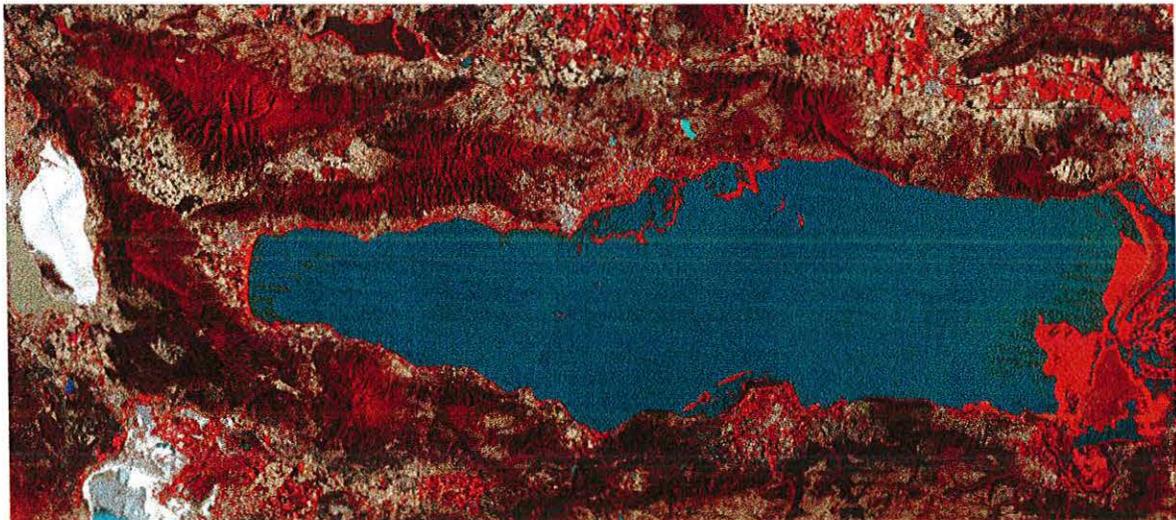


5.1.1 Características del lago de Chapala

Localización

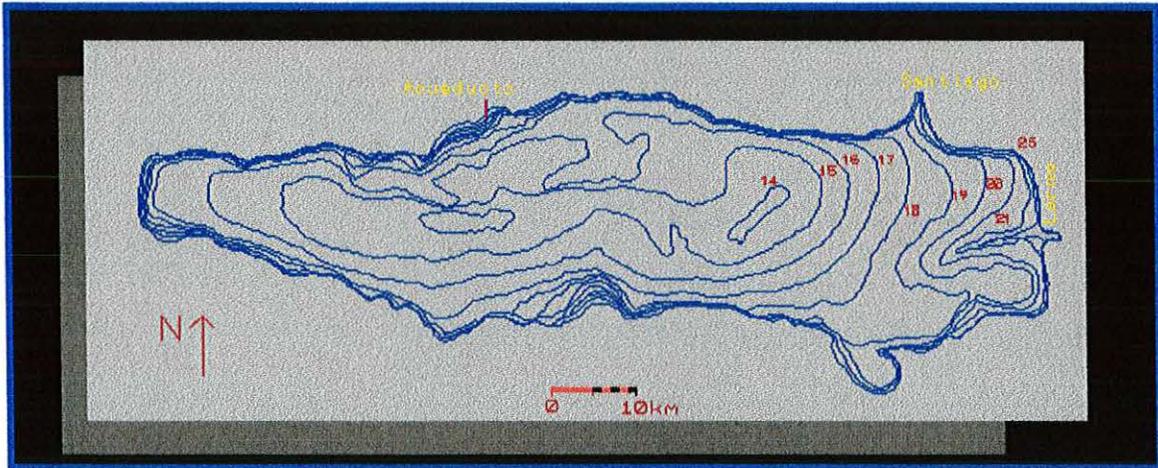
El lago de Chapala se ubica en la parte occidental de México, al este de Jalisco con 90 % de su superficie, y al noroeste de Michoacán con 10 %. Se encuentra dentro de los paralelos 20°07' y 20°21' de latitud norte y los meridianos 102°40'45" y 103°25'30" de longitud oeste (6 GMT), y a una altitud de 1524 metros sobre el nivel del mar.

Figura 4. Imagen satelital del lago de Chapala



La superficie histórica promedio del lago, de 1900 a 1990, es de 90,000 ha. Esto es a la cota 96.01 (1522.81 msnm). En estas mismas condiciones presenta 78.5 Km. de longitud máxima y 19.5 Km. de ancho, con una profundidad máxima de 7 m y una media de 4.5 m (Guzmán 1990). Recientemente se han localizado dos manantiales en el sureste del lago, con profundidades máximas de 16 y 26 m (Guzmán 1990). El fondo del lago presenta una suave pendiente, que va desde la desembocadura del río Lerma en su parte oriental a la parte más profunda en el centro-norte del lago, para después disminuir hacia su ribera occidental. La forma general del lago es subrectangular elongada. Se encuentran dos islas importantes por su tamaño: la de los Alacranes y la de Mezcala.

Figura 5. Batimetría del lago de Chapala



Geología

El lago se originó a causa de una falla de la corteza terrestre, produciendo un graben o fosa tectónica y captando las aguas del sistema hidrológico Lerma-Santiago. Esta depresión tectónica es parte de una fractura llamada línea de San Andrés-Chapala. Las principales sierras que rodean al lago se formaron durante el plioceno medio y son antiguos aparatos volcánicos. Las islas de los Alacranes, Mezcala y la ahora península de Petatlán son también de origen volcánico. El vulcanismo de la región se encuentra actualmente reducido a las manifestaciones de termalismo en las riberas del lago (Estrada, Flores y Michel 1983; CNIC-DJ 1989).

Fisiografía

La región de la cuenca local del lago de Chapala se encuentra en la provincia fisiográfica denominada Eje Neovolcánico, y específicamente dentro de la subprovincia Chapala. El Eje es un cinturón montañoso que cruza el centro del país de este a oeste y en donde se encuentran asociados a él la mayor parte de los lagos naturales y los volcanes de México (Guzmán 1989b). Esta Subprovincia está formada por cinco sistemas de topoformas.

- Gran llano. Suelo de origen aluvial, cuya litología es de aluvión, de pendientes suaves, menores a 3 %. Se encuentra en la ciénega de Chapala, Jamay, Briseñas y Venustiano Carranza.
- Pequeño llano aislado. Suelo de origen aluvial, con litología de aluvión y pendientes menores a 3 %. Localizado en partes de Chapala, Jocotepec y Tizapán.
- Lomerío suave con llano. Suelo de origen volcánico, con litología extrusiva básica y ácida, con pendientes que oscilan entre 12 y 30 %. Localizado en partes de Tizapán y Regules.
- Sierra con laderas de escarpa de falla. Suelo de origen volcánico con litología ígnea extrusiva básica, con una altitud de 2310 msnm y pendientes de 6 a 40 %. Se presenta en la mayor parte de los municipios periféricos.
- Escudo de volcanes aislados o en conjunto. Suelo de origen residual, asentado sobre areniscas y tobas, muy fértil y arcilloso. Se asienta sobre una fase pedregosa en Ocotlán.

Orografía

Partiendo de la ribera noroeste del lago, se tienen las siguientes formaciones montañosas: la sierra del Tecuán, los lomeríos de La Santa Cruz, San Nicolás y San Juan Tecomatlán, la sierra de Mezcala, los lomeríos de Ocotlán y Jamay. Interrumpiendo estas formaciones se encuentran la ciénega de Chapala en la región de La Barca, el Valle de Sahuayo, que forma la parte occidental de la ciénega, las sierras y valles de la ribera sur, comprendiendo las serranías de Tizapán, el Tigre y Mazamitla y hacia el suroeste la depresión de Sayula, que con la cañada de Jocotepec, a través de una línea hipotética, une la cuenca de Chapala y la del sistema de Sayula-San Marcos. La mayor altura de la región la presenta el Cerro Viejo con 2980 msnm.

Edafología

Esta subprovincia posee en general suelos de tipo residual y transportados, que se originan a partir de basaltos del terciario superior y de algunas otras rocas ígneas y

aluviones (INEGI, 1988). En la cuenca local del lago de Chapala predominan los siguientes tipos de suelo:

- Vertisol en aproximadamente 60 % del área, en la mayor parte de la cuenca, excepto Poncitlán y el oeste de Tizapán.
- Luvisol en 20 %, se localiza en el sur de Tizapán y de Regules.
- Feozem en 10 % al nordeste de Chapala, centro y este de Poncitlán, sur de Jocotepec, noroeste de Tizapán, y norte y centro de Regules.
- Litosol en 10 %, en el noroeste de Chapala, norte de Jocotepec y suroeste de Venustiano Carranza.

Hidrología

De acuerdo con Estrada, Flores y Michel (1983), en lo que se refiere a la fisiografía del centro de Jalisco, se deduce la existencia de un lago mayor prechapalico, cuya extensión abarca otras depresiones estructuralmente relacionadas, como las de Cajititlán, Villa Corona, Zacoalco, San Marcos y Sayula, coincidiendo también con la presencia de grandes cuencas lacustres antiguas, asociadas al Eje Neovolcánico. Esto se confirma con el patrón de distribución regional de los peces de la familia Atherinidae: pescados blancos y charales.

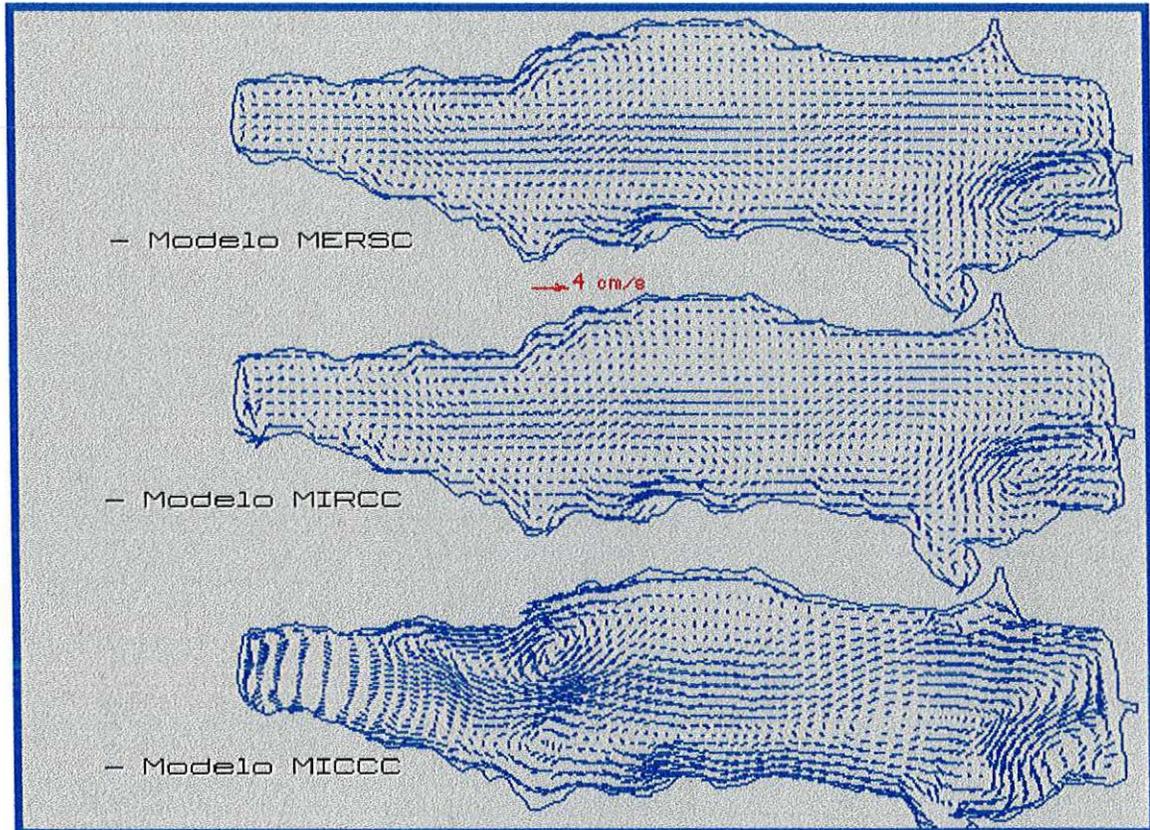
La cuenca hidrológica Lerma-Chapala-Santiago cubre una superficie de 130 000 km², de los cuales 29 % corresponden al río Lerma, 6 % al lago de Chapala y 64 % al río Santiago (SRH 1973, Paré 1989). De acuerdo con la Secretaría Recursos Hidráulicos (1973a), la región de la zona de estudio es la región hidrológica XII, que a su vez esta subdividida en cuencas, siendo la XII-D la que circunda al lago y se le denomina cuenca lago de Chapala. Esta cuenta con otras subdivisiones que corresponden a las subcuencas; las que están en contacto inmediato con el lago son: la XII-D-a (Michoacán) y la XII-D-b (Jalisco, sobre todo). La primera de ellas presenta una hidrología superficial bien definida, como la parte final de los ríos Zula, Lerma, Huaracha y Duero, y otros arroyos temporales que desembocan directamente en el lago. Existe una gran cantidad de canales de riego que abastecen la ciénega de

Chapala y numerosos bordos y cuerpos de agua. La segunda subcuenca circunda la mayor parte del lago y los aportes a éste consisten en los escurrimientos que se dan dentro de la temporada lluviosa entre las sierras por la formación de numerosos arroyos temporales, principalmente de municipios como Poncitlán, Chapala, Jocotepec y Tizapán, así como el río permanente de La Pasión, que se origina en Michoacán, atraviesa el municipio de Tizapán en Jalisco para desembocar en el lago.

Hay en la cuenca una serie de manifestaciones termales. Dentro de las más grandes, cinco se encuentran al sur del lago y corresponden a manantiales mesotermales, ya que la temperatura de las aguas oscila entre los 25°C y 33°C; En la zona occidental en el municipio de Jocotepec se encuentran dos manifestaciones mesotermales (en San Juan Cosalá y Ojo de Agua), en tanto en la zona norte del lago existe también un eje de seis manifestaciones hipotermales, ya que la temperatura de las aguas fluctúa entre los 64°C y 85°C. En forma reciente se han redescubierto dos manantiales profundos (Guzmán 1990a), con una temperatura más elevada que el resto del agua del lago (1.5°C).

SIMONS (1984) aplicó un modelo hidrodinámico en el lago de Chapala y observó que es el viento y no los flujos de entradas y salidas el principal factor que determina los patrones de circulación del agua (Fig. 6) En su modelo observó que bajo condiciones normales de viento de este a oeste a 9 Km. h^{-1} , el flujo del río Lerma no se dirige hacia el río Santiago directamente, sino que se interna por la parte sur del lago hasta su parte media y retorna el flujo luego de esta zona. Cuando el viento predominante es de oeste a este, el flujo del agua del río Lerma discurren por la parte media del lago. Esta dinámica observada es un mecanismo efectivo de transporte de materiales suspendidos y oxígeno disuelto en el lago. Normalmente las corrientes en el centro del lago son de aproximadamente 0.1 km día^{-1} y en las zonas de las orillas es de aproximadamente 0.5 km día^{-1} .

Figura 6. Patrones de circulación del agua en el lago de Chapala.
SIMONS (1984)



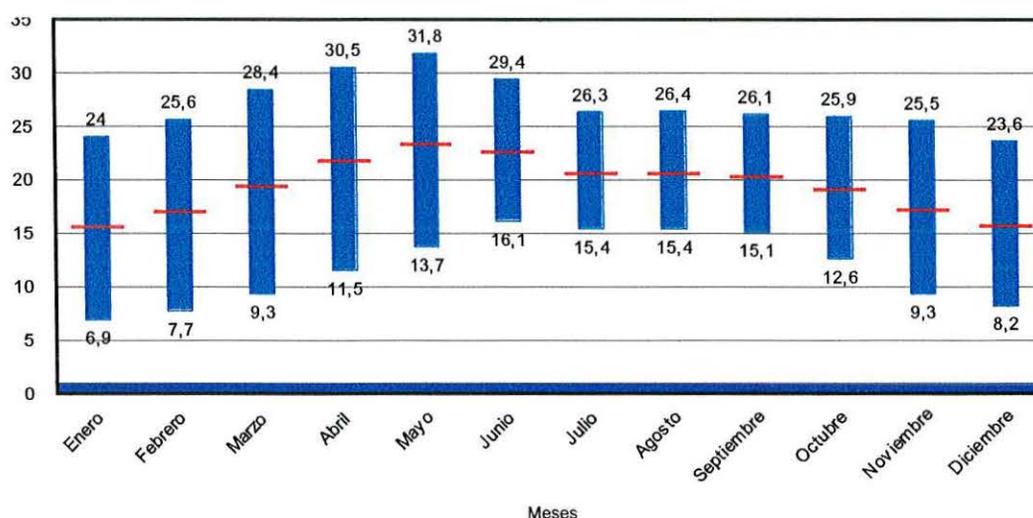
Propiedades térmicas: El lago se clasifica como polimíctico cálido de acuerdo con HUTCHINSON (1957), el promedio anual de la temperatura en la columna de agua para el período de 1972 a 1984 fue de 21.7 °C, y generalmente, debido a la baja profundidad del lago, así como a la acción de los vientos, es difícil que se presente una estratificación termal, solo ocurren estratificaciones transitorias en condiciones excepcionales por las tardes cuando la temperatura del agua de la superficie en los primeros 1.5 m⁻¹ de profundidad alcanzan 3°C más que la masa de agua del fondo del lago. Esta estratificación desaparece por las noches.

El promedio mensual de fluctuaciones de la temperatura en la columna de agua es pequeño, de 17.8 a 23.8°C.

Clima

El clima de la zona está clasificado como (A)C(WO)(W) semicálido subhúmedo, con lluvias en verano, siendo el menos húmedo de los semicálidos (García 1975); la temperatura promedio anual es de 19.9°C. La temperatura ambiente máxima va de marzo a junio y la mínima de diciembre a febrero.

Figura 7. Temperatura promedio mensual periodo 1941-1996



Fuente: Servicio Meteorológico Nacional

La frecuencia anual de granizadas es menor a dos días y el número de heladas, menos a 20 días al año. La precipitación total anual es de 875.2 mm; el mes más lluvioso es julio (150-220 mm) y el más seco, abril. La evaporación total anual es de 1912 mm, siendo abril y mayo los meses en que es mayor (250 mm) y en diciembre es mínima (100 mm). La dirección dominante de los vientos es de este a oeste, en segundo lugar de oeste a este y, con menor frecuencia, de sur a norte y de norte a sur, la velocidad varía de 1 a 12 km/h, siendo más frecuente entre 8 y 12; ocasionalmente se presentan vientos entre 15 y 20 km/h (Vivó 1964; Estrada, Flores y Michel 1983; Limón et al. 1985a y 1985b).

Vegetación

Dentro del área de estudio del lago de Chapala se han detectado 4 tipos de vegetación naturales: Vegetación acuática, Matorral subtropical, Bosque tropical caducifolio y Bosque de encino-pino.

Las cuales han sido modificadas por las diversas actividades antropogénicas que ahí se desarrollan. Los principales tipos de vegetación presentes en las zonas periféricas al lago son:

Vegetación Acuática

Estas comunidades vegetales están ligadas a suelos permanente o temporalmente inundados y dentro del cuerpo de agua. La vegetación acuática, se presenta en los alrededores del lago como dentro del mismo y en ocasiones se desarrolla demasiado que a veces se le considera maleza acuática. Este tipo de vegetación podemos dividirla en dos: acuática marginal y acuática flotante. La primera, está constituida por especies arraigadas al fondo, conocida bajo el nombre de Tular. Gracias a su reproducción principalmente de tipo asexual, forman densas masas que cubren importantes áreas tanto alrededor del lago como en canales siendo un obstáculo para la actividad pesquera. Esta constituida por especies de los géneros *Thypa*, *Scirpus* y *Cyperus*. Tiene gran importancia ecológica, debido a que llega a ser el refugio de aves acuáticas de la región.

La vegetación acuática flotante esta constituida por el lirio (*Eicchornia crassipes*), el cual se presenta a manera de manchones, pero por no estar fijo al sustrato, la presencia o ausencia depende en gran medida al tipo de corrientes y a la dirección del viento. Esta comunidad vegetal es la que causa mayor problema dentro del área, ya que a través de su propagación vegetativa ocupa grandes extensiones dentro del lago, llegando a ser muy costosos los métodos para su erradicación.

Matorral Subtropical

Este tipo de comunidad es el que ocupa una mayor extensión dentro de los tipos de vegetación que se presentan en los alrededores del lago, se desarrolla principalmente

sobre los cerros aledaños de la parte sur, mezclándose algunas veces con la agricultura de temporal y de riego y el bosque tropical caducifolio siendo difícil de distinguir entre esta última comunidad ya que el matorral subtropical es una sucesión secundaria o posiblemente representa al menos en parte, fases sucesionales más o menos estables del bosque tropical caducifolio. En los alrededores de Chapala se presenta un matorral más o menos cerrado de 3-5 m de alto, con *Bursera fagaroides*, *Stemmadenia tomentosa* var. *palmeri* con árboles aislados de *Lysiloma acapulcense*, *Leucaena esculenta* y *Ceiba aesculifolia*.

La estructura de la vegetación puede presentarse bajo una forma cerrada, pero a menudo también abierta por muchos espacios cubiertos por gramíneas. La mayor parte de las plantas pierde sus hojas verdes durante un periodo de 7 a 9 meses. Esta dominada por lo menos en gran parte por especies que se conocen en otros sitios como especies indicadoras de disturbios o francamente propias de asociaciones secundarias o especies características del bosque tropical caducifolio. Los elementos más característicos de este matorral son: *Ipomoea intrapilosa*, *I. murucoides*, *Bursera bipinnata*, *Heliocarpus terebinthaceus*, *Plumeria rubra*, *Opuntia fuliginosa*, *Hyptis albida* y *Mimosa monancistra*. El estrato arbustivo esta constituido por *Bursera fagaroides*, *Eysenhardtia polystachya* y *Tecoma stans*. Los arbustos espinosos pueden ser más o menos frecuentes pero rara vez juegan un papel importante como *Acacia pennatula* y *Acacia farnesiana*. Y dentro de las especies enredaderas *Cardiospermum halicacabum*, *Discorea* sp. *Ipomoea* sp. y *Nissolia* sp.

Esta comunidad se encuentra mejor conservada en los terrenos montañosos, en tanto conforme disminuye la pendiente es más evidente su reemplazo por agricultura y pastizales.

Bosque Tropical Caducifolio

El bosque tropical caducifolio, se desarrolla sobre los cerros circundantes del lago, y aunque en algunas partes se encuentra más conservado que en otras, su estructura es muy parecida al lo largo del mismo. La fisonomía de este tipo de vegetación es muy

diferente de acuerdo a la temporada en que se visite, ya sea en época de lluvias con un paisaje verde o en época de sequía, en la cual la mayoría de las especies que lo constituyen pierden sus hojas, dándonos una apariencia gris. Las principales especies que forman esta comunidad son "Tepehuaje" (*Lysiloma*), "Pitayo" (*Stenocereus*), "Pochote" (*Ceiba*), "Ozote" (*Ipomoea*), "Ciruelo" (*Spondias*) y "Guaje" (*Leucena*), además de una gran cantidad de especies herbáceas y enredaderas. Sobre fracturas rocosas verticales o casi verticales destaca a menudo el tronco amarillo de *Ficus petiolaris*.

El impacto de actividades humanas se nota prácticamente en todos los sitios, bien en forma de desmontes, de la explotación de la leña, en forma de incendios y de cría del ganado, además de actividades agrícolas que se desarrollan desde la orilla del lago hasta algunas partes pedregosas donde a parte del cultivo de maíz se da a todo lo largo del lago, también se presenta el cultivo de chayote, como una de las principales actividades económicas de la región. Este tipo de vegetación no se escapa de las actividades agrícolas que se desarrollan en la región, ya que el cambio de uso de suelo ha provocado la disminución de especies nativas, siendo el cultivo de chayote y maíz la principal causa de la deforestación del mismo.

Bosque de Encino

Este tipo de comunidad vegetal se desarrolla sobre las partes altas de la sierra del Tecuán, y en los cerros aledaños del poblado de Mezcala, encontrándose algunos manchones muy reducidos y perturbados en las cercanías del cerro El Mayor, en la parte suroeste del lago; ocupa en relación a su extensión ocupa un área menor que el resto de las comunidades vegetales que se desarrollan alrededor del lago.

El encinar se ubica entre los 1,800 y 2960 msnm, correspondiente al cerro Bola de Viejo. Esta comunidad se observa en las comunidades de serranía que rodean al lago, tal como la sierra del Travesaño, sierra Las Vigas, El Madroño y laderas que miran al lago desde la sierra de Mazamitla. En esta última se observa el bosque de encino entremezclándose con el bosque de pino-encino más común en esta sierra. En ésta

área presenta un alto grado de perturbación, lo que complica delimitar la distribución de ésta comunidad, debido a que guarda relaciones complejas con los pinares, con los cuales comparte afinidades ecológicas generales además también se relaciona con el bosque tropical caducifolio, desarrollándose altitudinalmente por encima de este último. El encinar alcanza una altura de entre 10 a 15 metros pudiendo ser semicerrada o abierta, esta última muchas veces ocasionada por disturbios. Las especies arbóreas que se presentan es este tipo de vegetación son *Quercus crassifolia*, *Q. elliptica*, *Q. macrophylla*, *Q. castanea*, *Pinus michoacana*, *P. oocarpa*, y algunos arbustos como *Pithecellobium sonora*, *Alnus jorollensis*, *Arctostaphylos pungens* y *Arbutus jalapensis*, entre otras.

El bosque de pino-encino es relativamente escaso en el área de la cuenca interior del lago, ya que se presenta en forma aislada particularmente en los cerros de Punta Grande, San Francisco y Cerro Grande. Su distribución altitudinal es similar al bosque de encino, es decir, desde los 1,800 a los 2,300 msnm aproximadamente en el lado noreste del lago, en conjunto estos tipos de vegetación representan las comunidades arbóreas más conservadas de la cuenca interior del lago, de ahí que tengan vital importancia en el mantenimiento de los escurrimientos superficiales locales. Además cabe señalar que las comunidades de bosque de encino son uno de los más diversos existentes del occidente de México.

Estos bosques han sido frecuentemente impactados ya que de ellos se obtienen diversos productos tales como trementina (resina de ocote), leña como combustible, madera para construcción rural y con la madera de encino se elabora carbón vegetal.

Fauna

Peces

El lago posee una gran variedad de especies de peces de agua dulce. Sin embargo, las poblaciones de cada una de ellas sufren variaciones periódicas en relación con los cambios que experimenta el medio líquido (descenso de las aguas, sobreexplotación pesquera, contaminación etc.) Algunas especies como el bagre y las llamadas

"pescado blanco" en forma genérica están particularmente amenazadas, por ser mas codiciadas gastronómicamente, a continuación se mencionan algunas de las especies más importantes:

Algansea rubescens: <i>Acúmara</i>	Allophorus robustus: <i>Mojarrita</i>
Algansea dugessi: <i>Juile</i>	Dajaus monticola: <i>Trucha</i>
Ameiurus ochoterenaii: <i>Bagre de Chapala</i>	Goodea atripinis: <i>Thiro</i>
Ameiurus dugessi: <i>Boquinete</i>	Falcularius chapalae: <i>Sardinita</i>
Chirostoma arge: <i>Charal</i>	Haustor dugessi: <i>Bagre</i>
Chirostoma diazii: <i>Campamocho</i>	Otalia promelas: <i>Blanco trompudo</i>
Chirostoma promelas: <i>Boquerón</i>	Xystrosus popoche: <i>Popocha</i>
Chirostoma consocium: <i>Pescado blanco</i>	Zoogeneticus diazii: <i>Chegua</i>

Aves

Se tiene un inventario de 68 especies de aves debidamente identificadas, comprendidas dentro de 26 familias y distribuidas en 9 ordenes (Tabla 4), así como 9 especies por confirmar:

Tabla 4. Aves Identificadas en el lago de Chapala

35 especies de aves acuáticas: 9 especies de interés cinegético 18 especies migratorias 7 especies son migratorias locales
24 especies de passeriformes: 3 especies migratorias
3 especies de columbiformes
6 especies de aves rapaces: 4 de interés cinegético

Las especies que se consideran de mayor importancia Internacional son en general las especies migratorias, también es relevante mencionar que algunas especies de buhos y lechuzas tienen problemas de hábitat por deterioro o cambio de uso de suelo.

CAPITULO VI

MATERIAL Y METODOS

6.1 Muestreo y preservación

La evaluación de la calidad del agua se realizó en un total de 16 estaciones de muestreo, en el lago de Chapala, la toma de muestra fue específica para cada parámetro de calidad a evaluar siguiendo los lineamientos técnicos establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-AA-14-1980 "Cuerpos receptores, muestreo", publicado en el Diario Oficial de la Federación el viernes 27 de agosto de 1980, así como los publicados en la Norma Oficial Mexicana NOM-014-SSA-1993 "Procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados", publicado en el Diario Oficial de la Federación el viernes 12 de agosto de 1994.

Los muestreos fueron realizados por personal calificado perteneciente al Instituto de Limnología de la Universidad de Guadalajara. Se suministro el material de muestreo con las condiciones específicas de material y volumen requerido en cada parámetro a evaluar, y con las especificaciones de preservación y traslado al laboratorio.

Las especificaciones técnicas para cada uno de los parámetros a evaluar se presentan en la tabla 5.

Tabla 5. Especificaciones técnicas de evaluación

DETERMINACION	MATERIAL DE ENVASE	VOLUMEN MINIMO (ml)	PRESERVACION	TIEMPO MAXIMO ALMACENAMIENTO
Alcalinidad total	p.v	200	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	14 d
Cloruros	p.v	200	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	48 h
Color	p.v	100	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	48 h
Conductividad	p.v	200	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	28 d
Dureza total	p.v	100	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	14 d
Fosfatos	v	100	Enjuagar el envase con ácido nítrico 1:1. Refrigerar de 4 a 10° C	48 h
Nitratos	p.v	100	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	48 h
Nitritos	p.v	100	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	48 h
Oxígeno disuelto	p.v	300	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	48 h
pH	p.v	---	Analizar inmediatamente	---
Sustancias activas al azul metileno	p.v	200	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	48 h
Sólidos	p.v	1000	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	7 d
Sulfatos	p.v	100	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	28 d
Temperatura	p.v	---	Determinar inmediatamente	---
Turbiedad	p.v	100	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	48 h

Trabajo de campo:

Las muestras se tomaron en el lago de Chapala, durante un ciclo anual en las fechas que se muestran en la tabla 6.

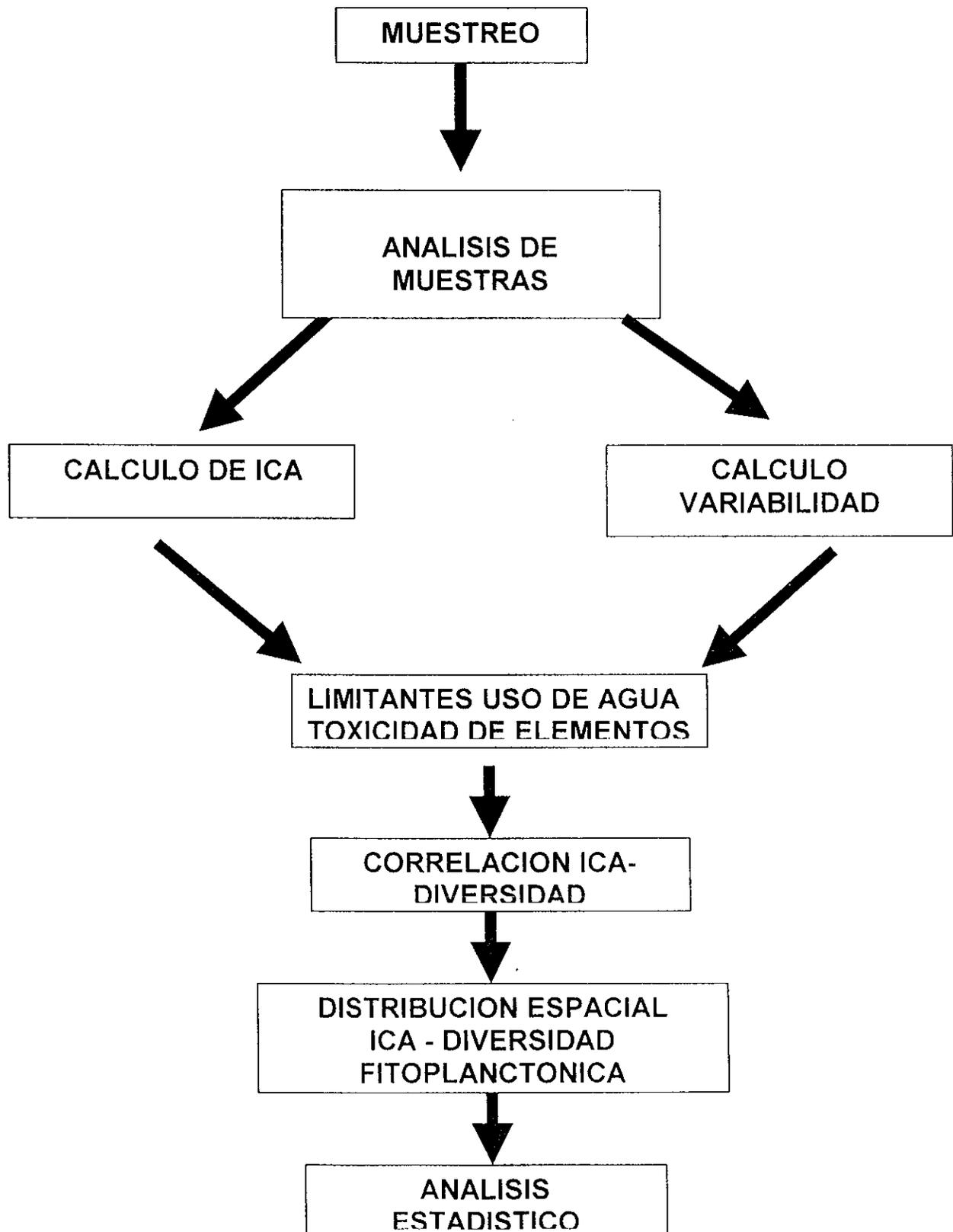
Tabla 6. Fechas de muestreo

Septiembre de 1996
Octubre de 1996
Diciembre de 1996
Febrero de 1997
Junio de 1997

Es importante señalar que el personal contó con el material necesario primero para su desplazamiento dentro del lago el cual consistió en una lancha y después para realizar el muestreo con las debidas especificaciones, así como para su preservación y almacenamiento para el trayecto del lago al laboratorio donde se realizaron los análisis correspondientes, ubicado en el Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad de Guadalajara, donde las muestras fueron refrigeradas para posteriormente ser analizadas.

Las condiciones de muestreo y almacenamiento fueron las especificadas en la NOM, mencionadas anteriormente.

Figura 8. Proceso metodológico.



6.2 Metodología para el análisis del agua

Los estudios analíticos de calidad del agua se realizaron en el Laboratorio de Edafología y Análisis de Agua perteneciente al Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA) de la Universidad de Guadalajara. El proceso de muestreo se realizó durante 3 días, en cada uno de los cuales se transportaron las muestras diariamente al Centro Universitario preservadas térmicamente a 4 °C, realizándose los análisis que por sus características deberían efectuarse de forma inmediata, (pH, Temperatura, Oxígeno Disuelto y Turbiedad Secchi), ya que sufren alteraciones o cambios importantes en función del tiempo transcurrido.

Las muestras de agua se analizaron conforme a los procedimientos establecidos para cada parámetro en la Normativa Oficial Mexicana, así como a los métodos establecidos en Métodos Normalizados Para el Análisis de Aguas Potables y Residuales, 1992, APHA, AWWA-WDCF, Editorial Díaz de Santos, 17a. Edición, Madrid. Los parámetros evaluados se presentan en la tabla 7.

Tabla 7. Parámetros evaluados

PARAMETRO	UNIDAD	METODO ANALITICO
ALCALINIDAD FENOLFTAL.	mg/l CaCO ₃	2320-B*
ALCALINIDAD TOTAL	mg/l CaCO ₃	2320-B*
CLORUROS	mg/l	NOM-AA-73-1981
COLOR	Esc. Pt.-Co.	NOM-AA-45-1981
CONDUCTIVIDAD	µmhos/cm	2510-B*
CROMO +6	mg/l	NOM-AA-44-1984
D.Q.O.	mg/l	5220-B*
DUREZA CALCICA	mg/l CaCO ₃	NOM-AA-72-1981
DUREZA MAGNESICA	mg/l CaCO ₃	NOM-AA-72-1981
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	NOM-AA-72-1981
FOSFORO (ORTOFOSFATOS)	mg/l P-PO ₄	4500-P-E*
FOSFORO TOTAL	mg/l P-PO ₄	4500-P-C*
NITRATOS	mg/l N-NO ₃	NOM-AA-82-1986
NITRITOS	mg/l N-NO ₂	NOM-AA-99-1987
OXIGENO DISUELTO	mg/l	4500-O-C*
pH	pH	NOM-AA-08-1980
S.A.A.M.	mg/l	NOM-AA-39-1980
SOLIDOS DISUELTOS TOT.	mg/l	NOM-AA-20-1980
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOT.	mg/l	NOM-AA-20-1980
SOLIDOS SEDIMENTABLES	ml/l	NOM-AA-20-1980
SOLIDOS TOTALES TOTALES	mg/l	NOM-AA-20-1980
SULFATOS	mg/l SO ₄	NOM-AA-74-1981
TEMPERATURA	°C	2550-B*
TURBIEDAD	UTN	NOM-AA-38-1981
TURBIEDAD SECCHI	cm	

(*)Métodos Normalizados Para el Análisis de Aguas Potables y Residuales, 1992, APHA, AWWA-WDCF, Editorial Díaz de Santos, 17a. Edición, Madrid.

En cada uno de los parámetros analizados se determino previamente el limite mínimo de detección, así como las pruebas correspondientes a la precisión y exactitud, procediendo a su aplicación de acuerdo a los lineamientos que para cada caso en particular existen en la literatura. La descripción de los métodos analíticos aplicados se presenta en la tabla 8.

Tabla 8. Descripción de métodos analíticos

PARAMETRO	METODO ANALITICO
ALCALINIDAD FENOLFTAL.	Método Volumétrico, la alcalinidad presente en el agua se mide por titulación con una solución valorada de un ácido mineral diluido en presencia de un indicador de color (Fenolftaleina)
ALCALINIDAD TOTAL	Método Volumétrico, la alcalinidad presente en el agua se mide por titulación con una solución valorada de un ácido mineral diluido en presencia de un indicador de color (Anaranjado de Metilo)
CLORUROS	Método Argentométrico de Morh, también llamado de nitrato de plata, la determinación se basa en la formación de cromato de plata de color rojizo insoluble, esto ocurre cuando se adicionan al agua iones cromato como indicador e iones de plata como reactivo precipitante.
COLOR	Comparación espectrofotométrica de la muestra con soluciones coloridas de Platino-Cobalto de concentraciones conocidas,
CONDUCTIVIDAD	Método Electrométrico, se trata de una expresión numérica de la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica, capacidad que dependerá del tipo de iones presentes en la disolución de una concentración y naturaleza, así como de la temperatura a la que se efectúe la medida.
CROMO +6	Método Espectrofotométrico de la difenilcarbazida
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO	Método de la oxidación ácida, se basa en la oxidación enérgica de la materia orgánica y de la inorgánica oxidable que se encuentra en el agua, en un medio fuertemente ácido, con una solución valorada de dicromato de potasio. El exceso del agente oxidante se titula con una solución valorada de sulfato ferroso amoniacal en presencia de un complejo ferroso de ortofenantrolina como indicador interno.
DUREZA TOTAL DUREZA CALCICA DUREZA MAGNESICA	Método del EDTA, en este método los alcalinotérreos presentes en el agua forman un complejo con la sal disódica del ácido etilen-diaminotetracético EDTA, se emplea como indicador el negro de eriocromo T, el cual al ser agregado a una solución que contenga iones calcio y magnesio, reacciona formando complejos de un color rojo vino. Después se adiciona la sal disódica del ácido etilen-diaminotetracético EDTA, que remueve los iones calcio y magnesio de los complejos coloridos formando complejos solubles. Cuando ha sido agregada suficiente solución de EDTA, para liberar todos los iones calcio y magnesio, el indicador regresa a su color azul original. En un medio adecuadamente tamponado para evitar la precipitación del magnesio, el método permite determinar la suma de los iones calcio y magnesio.
FOSFORO (ORTOFOSFATOS)	Método del Ácido Ascórbico, en el cual el ortofosfato reacciona con molibdato en solución ácida para formar un complejo amarillo de fosfomolibdato. este complejo es reducido por el ácido ascórbico para formar una especie de molibdeno de color azul, cuya intensidad es medida espectrofotométricamente.
FOSFORO TOTAL	Método de Digestión ácida y valoración por el método del ácido ascórbico
NITROGENO DE NITRATOS	Método colorimétrico de la reducción con cadmio, reduciendo los nitratos a nitritos.
NITROGENO DE NITRITOS	Método Espectrofotométrico de la Diazotización. El principio del método consiste en que los nitritos presentes reaccionan en medio ácido (pH = 1.9 a 2.5), por diazotación con la sulfanilamida para formar una sal de diazonio, la cual por copulación con el dihidrocloruro de N-(1-Naftil) etilendiamina forma un colorante azóico de color púrpura rojizo que se mide espectrofotométricamente a 543 nm.
OXIGENO DISULETO	Método electrométrico, utilizando un electrodo de membrana unible al oxígeno, en determinaciones de campo. En laboratorio se aplica el método iodométrico de Winkler.
pH	Método Electrométrico, se basa en la determinación de la actividad de los iones hidrógeno medidos en un potenciómetro usando un electrodo de vidrio y otro de referencia. La fuerza electromotriz producida por el sistema de electrodos es proporcional al pH de la solución problema.
S.A.A.M. (DETERGENTES)	Método espectrofotométrico del Azul de Metileno, se basa en la reacción de las sustancias surfactantes con el azul de Metileno, que da lugar a la formación de una sal azul, soluble en cloroformo, cuya intensidad de color es directamente proporcional a su concentración.

	se mide a 650 nm.
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES.	Método Gravimétrico, se basa en la evaporación y calcinación de la muestra, en donde los residuos de una y otra operación sirven de base para el cálculo del contenido de sólidos.
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES.	Método Gravimétrico, son aquellos retenidos en filtros de fibra de vidrio, se secan en estufa a 103-105 °C y se pesan.
SOLIDOS SEDIMENTABLES	Método Volumétrico, se llena un cono imhoff con 1 l de muestra y se observa el material sedimentado a las 2 horas.
SOLIDOS TOTALES TOTALES	Método Gravimétrico. se realiza tras evaporar en placa de porcelana la muestra y secarla a 103-105 °C.
SULFATOS	Método turbidimétrico, los sulfatos son precipitados con cloruro de bario, formando un precipitado de sulfato de bario que se determina turbidimétricamente.
TEMPERATURA	Método Visual, mediante termómetro de mercurio.
TURBIEDAD	Método Nefelométrico, el procedimiento se basa en la comparación de la intensidad de la luz dispersada por la muestra bajo condiciones definidas, con la intensidad de la luz dispersada por una suspensión de referencia estándar (Polímero de formazina), en condiciones semejantes.
TURBIEDAD SECCHI	Método Visual, mediante el uso del disco metálico de Secchi, determinando la distancia mínima observable.

Material y equipo

Para los procedimientos analíticos realizados se utilizó material y equipo que se especifica en la Norma Oficial correspondiente. Los reactivos utilizados fueron grado reactivo.

6.3 Procedimientos para el análisis de resultados

Cálculo de variabilidad por muestreo:

De los datos obtenidos en los análisis de laboratorio se aplicaron técnicas estadísticas consistente en la estimación de la media aritmética y la desviación estándar. La variabilidad global de cada una de los 5 muestreos se expresa como la desviación estándar típica de los resultados (SD) Después de la aplicación de las técnicas estadísticas, los resultados se representan gráficamente.

Cálculo de variabilidad por parámetro:

La variabilidad de cada uno de los parámetros evaluados a lo largo de los 5 muestreos se expresa como la desviación estándar típica de los resultados (SD). Se calculó la media y la desviación estándar tomando los resultados de cada uno de los parámetro por campaña, para posteriormente graficar. Se aplican las formulas mencionadas en el apartado anterior.

Evaluación del perfil de oxígeno:

Para la evaluación de la distribución vertical (Perfil) del oxígeno disuelto en el lago de Chapala, se realizó mediciones de oxígeno con un intervalo de profundidad de 1 metro iniciando en la superficie y hasta profundidad máxima. La determinación se realizó por un método electrométrico, para el cual se utilizó un equipo portátil con electrodo de vidrio multiparamétrico, con el cual se midió la temperatura, pH, oxígeno disuelto y potencial redox, además de la conductividad. Las valoraciones se realizaron "in situ" por profesionales del Instituto de Limnología de la Universidad de Guadalajara.

Se aplicó un análisis de correlación y regresión lineal simple a los datos de concentración de oxígeno disuelto en función de la profundidad se obtienen los valores de la ecuación de la recta $Y = a + b(x)$: aplicando dichos valores se obtiene la estimación teórica del perfil de oxígeno los resultados se representaron gráficamente.

Estimación del Índice de Calidad del Agua (ICA):

El Índice de Calidad del Agua, propuesto por Martínez de Basarán (1979) es ampliamente utilizado debido a su diseño sencillo y a que permite incluir n número de variables en la integración, previa ponderación de su magnitud, siendo entonces aplicable a series de datos tanto numerosas como pequeñas.

Proporciona un valor global de la calidad del agua, en función de los valores individuales a una serie de parámetros, para lo cual se realizan varias transformaciones numéricas en cada uno de los resultados a integrar:

Primeramente se normalizan los valores individuales que conforman el índice al establecer una correspondencia de los resultados obtenidos en cada uno de los análisis con una escala variable de 0 a 100.

Se asigna un peso numérico a cada uno de los parámetros, indicado de acuerdo con su importancia en los criterios normales de calidad. La determinación del peso de un parámetro se realiza de forma conjunta en un equipo especializado en la calidad del

agua, y mediante aplicación del método Delphi se llega a un resultado estimativo de peso para cada uno de ellos.

Obtenidos los resultados del valor en escala de 0 a 100 y el peso asignado a cada uno, se aplica la siguiente formula para el calculo del índice de calidad del agua ICA, tabla 9.

Tabla 9. Formula para el cálculo de los Indices de Calidad del Agua

$$ICA = \frac{\sum CiPi}{\sum Pi} k$$

Donde:

Ci = Valor porcentual asignado a los parámetros
Pi = Peso asignado a cada parámetro
k = Constante que varia de 1 a 0.25 según la contaminación aparente del agua, definida de la siguiente forma:
1.00 Para aguas claras sin aparente contaminación
0.75 Para aguas con ligero color, con espumas y ligera turbiedad aparentemente no natural
0.50 Para aguas con apariencia de estar contaminadas y con fuerte olor
0.25 Para aguas negras que presentan fermentaciones y olores

Tabla 10. Parámetros utilizados para el cálculo del Índice de Calidad del agua.

pH	Cloruros
Conductividad	S.A.A.M. (Detergentes)
Dureza Total	Turbiedad
Nitratos	Sulfatos
Nitritos	Coliformes Totales
Oxígeno Disuelto	Color
Sólidos Disueltos Totales	Fósforo Total
Temperatura	

Valor asignado a los parámetros:

Se establece escalas variables de 0 a 100 que permiten obtener valores a partir de los resultados obtenidos en los análisis. Estos valores corresponden a un agua natural

típica, por lo que son genéricos, y por lo tanto susceptibles de conducir a error cuando se trata de determinar la calidad del agua para un uso específico, como puede ser pecuario, acuicultura, suministro público, etc, en estos casos se deberá de adecuar el valor porcentual a cada parámetro en función de la normativa que proceda.

Los valores porcentuales asignados a los parámetros en el presente estudio se presentan en la tabla 11 (V-Conesa Fdez-Vitoria, 1993). Hay que señalar que cuando el valor del parámetro presenta una valoración menor al 50 por ciento, significa que existen limitantes de importancia para su utilización, requiriendo de algún tipo de tratamiento previo al uso asignado.

Tabla 11. Valor asignado a los parámetros

Parámetro	pH	Conductividad	Oxígeno Disuelto	Valoración
Valor Analítico	1/14	>16.000	0	0
	2/13	12.000	1	10
	3/12	8.000	2	20
	4/11	5.000	3	30
	5/10	3.000	3,5	40
	6/9,5	2.500	4	50
	6,5	2.000	5	60
	9	1.500	6	70
	8,5	1.250	6,5	80
	8	1.000	7	90
	7	<750	7,5	100
Unidad de Medida	Unidad	µmhos/cm	mg/l	%

Parámetro	Coliformes Totales	Cloruros	Temperatura	Valoración
Valor Analítico	>14.000	>1.500	>50/>-8	0
	10.000	1.000	45/-6	10
	7.000	700	40/-4	20
	5.000	500	36/-2	30
	4.000	300	32/0	40
	3.000	200	30/5	50
	2.000	150	28/10	60
	1.500	100	26/12	70
	1000	50	24/14	80
	500	25	22/15	90
	<50	0	21 a 16	100
Unidad de Medida	UFC/100 ml	mg/l	°C	%

Parámetro	S.A.A.M Detergentes	Dureza Total	Sólidos Disueltos	Valoración
Valor Analítico	>3.00	>1.500	>20.000	0
	2.00	1.000	10.000	10
	1.50	800	5.000	20
	1.00	600	3.000	30
	0.75	500	2.000	40
	0.50	400	1.500	50
	0.25	300	1.000	60
	0.10	200	750	70
	0.06	100	500	80
	0.02	50	250	90
Unidad de Medida	mg/l	mg/l CaCO ₃	mg/l	%

Parámetro	Sulfatos	Nitratos	Nitritos	Valoración
Valor Analítico	>1.500	>100	>1	0
	1.000	50	0.50	10
	600	20	0.25	20
	400	15	0.20	30
	250	10	0.15	40
	150	8	0.10	50
	100	6	0.05	60
	75	4	0.025	70
	50	2	0.010	80
	25	1	0.005	90
Unidad de Medida	mg/l SO ₄	mg/l N-NO ₃	mg/l N-NO ₂	%

Parámetro	Color	Turbiedad	Fósforo Total	Valoración
Valor Analítico	>200	>100	>0.65	0
	150	70	0.60	10
	100	50	0.55	20
	75	30	0.50	30
	50	20	0.45	40
	20	10	0.40	50
	16	8	0.30	60
	12	6	0.25	70
	8	4	0.20	80
	4	2	0.15	90
Unidad de Medida	Esc. Pt.-Co.	UTN	mg/l	%

Peso de los parámetros, indicados de acuerdo con su importancia en los criterios normales de calidad:

La determinación del peso de un parámetro (Tabla 12), se realiza de forma conjunta en un equipo especializado en la calidad del agua, y mediante aplicación del método

Delphi se llega a un resultado estimativo de cada uno de ellos, en este trabajo se consideran los valores indicativos de peso en la calidad del agua natural propuestos por V-Conesa Fdez-Vitoria, 1993.

Tabla 12. Valor asignado a los parámetros

VALOR ASIGNADO	PARÁMETRO
Valor máximo de 4	Conductividad Oxígeno Disuelto S.A.A.M. (Detergentes) Color
Valor medio de 3	Turbiedad Fósforo Total Coliformes Totales
Valor menor de 2	Sólidos Disueltos Sulfatos Nitrógeno de Nitratos Nitrógeno de Nitritos
Valor mínimo de 1	pH Cloruros Temperatura Dureza Total

En el proceso de cálculo numérico se aplicó en la fórmula de ICA un valor para la constante k de 0.75, considerando que el agua presente en el lago de Chapala presenta características de turbiedad, color y aspecto que no son típicas de aguas claras sin aparente contaminación.

6.4 Correlación entre parámetros y factores evaluados ICA-diversidad:

La correlación representa teóricamente la asociación entre variables, en este caso la asociación entre el resultado de los parámetros evaluados y los resultados del índice de calidad del agua y diversidad de fitoplancton, considerando que este parámetro (Diversidad fitoplanctónica) fue evaluado en las mismas fechas de muestreo, dentro del proyecto "Sistema Ecológico Integral del Lago de Chapala para su Conservación y Aprovechamiento" (Los datos de fitoplancton fueron tomados de: Mora Navarro, Guzmán Arroyo, 2001 y Mora Navarro, Vázquez García, 2000). Se aplicó un análisis de correlación lineal simple tomando como base la frecuencia de aparición de géneros de fitoplancton en cada una de las estaciones de muestreo por fecha y los índices de calidad del agua calculados para cada estación de muestreo por fecha, se tomaron 75 pares de datos a correlacionar así se obtienen los valores de la ecuación de la recta $Y = a + b(x)$.

6.5 Limitantes de uso del agua y toxicología de elementos:

Para la interpretación de los resultados obtenidos se consideró la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano- límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización"

"Criterios ecológicos de calidad del agua CE-CCA-001/89"

La evaluación teórica de las características toxicológicas de los elementos se realizó desde una perspectiva de los posibles efectos a la salud humana y al ambiente.

6.6 Elaboración de mapas de distribución de contaminantes:

Se elaboraron matrices de datos georreferenciados, tomando como base la información obtenida de los índices de calidad del agua en cada fecha de muestreo para las 16 estaciones de trabajo.

Con estas matrices de datos se corrieron interpolaciones para generar mapas estacionales de índices de calidad de agua, utilizando el modulo de interpolación del sistema de información geográfica IDRISI 4.1 (Eastman, 1993).

Una vez obtenidos los mapas, fueron editados en Deluxe Dpaint.

6.6.1 Elaboración de mapas de Diversidad fitoplanctónica:

Se elaboraron matrices de datos georreferenciados, tomando como base la información obtenida de la frecuencia en aparición de géneros de fitoplancton en el agua en cada fecha de muestreo para 15 estaciones de trabajo.

Con estas matrices de datos se corrieron interpolaciones para generar mapas estacionales de fitoplancton en el agua, utilizando el modulo de interpolación del sistema de información geográfica IDRISI 4.1 (Eastman, 1993).

Una vez obtenidos los mapas, fueron editados en Deluxe Dpaint.

6.7 Análisis estadístico:

Para el análisis de resultados de parámetros evaluados se utilizó el paquete PC ORD 2.05 (McCune y Mefford, 1995), bajo dos variables:

- 1) El Cluster Análisis. Este análisis se realizó con el objeto de conocer relaciones de tipo jerárquico entre las estaciones de muestreo para cada fecha.
El análisis de Cluster permite definir grupos de entidades (muestras) basados en sus semejanzas (para este caso parámetros físico-químicos del agua), el resultado es apreciado en un dendograma en el que muestras semejantes se ubican cerca una de otra y muestras no semejantes se ubican distantes entre si, con el correspondiente porcentaje de semejanza entre muestras en la parte superior del diagrama.

- 2) Ordenación Bray y Curtis. La ordenación corresponde a un grupo de técnicas multivariadas que nos permiten ordenar objetos (muestras) a lo largo de los ejes de acuerdo con sus trascendencias. El principal objetivo es expresar relaciones multidimensionales en relaciones de pocas dimensiones. El arreglo de las muestras en el espacio de ordenación obedece a semejanzas o estructuras en correlación. Muestras cercanas en el espacio de ordenación generalmente son mas semejantes (o tienen mayor relación), que muestras distantes.

El resultado gráfico muestra la dispersión de los objetos (muestras) en torno a uno, dos o tres ejes asumiendo que para el caso de investigaciones biológicas, estos son los que proporcionan la información con mayor valor.

En el presente trabajo la matriz principal consistió en datos de presencia ausencia de fitoplancton en cada estación de muestreo, la cual se utilizó para realizar la ordenación de Bray y Curtis y conocer el porcentaje de variación explicada por cada eje de ordenación.

La interpretación de los ejes de ordenación para cada fecha, se realizó mediante la implementación de un análisis de correlación múltiple entre los valores de los parámetros físico-químicos y las calificaciones (scores) de los ejes y sitios en el espacio de ordenación.

Con lo anterior fue posible inferir la variable o el conjunto de variables (parámetros físico-químicos), que mayor relación guardan con la matriz principal (datos de presencia-ausencia de fitoplancton), (McCune, B. y M.J. Mefford, 1995).

CAPITULO VII

RESULTADOS Y DISCUSION

7.1 Análisis de parámetros evaluados

Los resultados de parámetros evaluados se presentan en el anexo 1.

En el siguiente análisis de los resultados obtenidos se ha considerado para la estimación de los valores promedio de cada uno de los parámetros evaluados solo a las estaciones del 1 al 15, ya que la 16 corresponde al río Lerma, y como tal refleja condiciones de calidad del agua que no son propias del lago sino de un afluente al mismo.

Alcalinidad

La alcalinidad de un agua expresa su capacidad para neutralizar ácidos y constituye la suma de todas las bases titulables, la alcalinidad de las aguas naturales depende primordialmente de su contenido en carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, por lo que suele tomarse como una indicación de la concentración de estos componentes, hay que mencionar que los valores señalados pueden incluir también la contribución de cloratos, fosfatos, silicatos y otras bases, cuando se hallan presentes. La alcalinidad se determina ya sea a punto final de pH 4.6 (Total) o bien a pH 8.3 (Fenolftaleína), estas dos determinaciones permiten un medio de clasificación estequiométrica de las tres formas principales de alcalinidad presentes estableciendo lo siguiente:

- 1.- La alcalinidad de carbonato se presenta cuando la de la fenolftaleína no es 0, sino menor que la total.
- 2.- La alcalinidad de hidróxido se presenta si la de la fenolftaleína supera la mitad de la total.

3.- La alcalinidad de bicarbonato se presenta si la de la fenolftaleína supera la mitad de la total.

Estas relaciones pueden calcularse mediante el siguiente esquema, donde P es la alcalinidad de la fenolftaleína y T la total, tabla 13.

Tabla 13. Cálculo de Fenolftaleína

Resultado de la titulación	Alcalinidad de hidróxidos como CaCO_3	Alcalinidad de carbonatos como CaCO_3	Alcalinidad de bicarbonatos como CaCO_3
$P = 0$	0	0	T
$P < \frac{1}{2} T$	0	2P	T-2P
$P = \frac{1}{2} T$	0	2P	0
$P > \frac{1}{2} T$	2P-T	2(T-P)	0
$P = T$	T	0	0

El agua del lago de Chapala presenta una alcalinidad total elevada, con un promedio en el seguimiento de 327.37 ± 25.98 mg/l CaCO_3 , con ligeras variaciones en cada muestreo y con tendencia ascendente, a continuación se presenta la especiación química de la alcalinidad tomando el valor promedio de cada muestreo excluyendo la estación 16, que corresponde al río Lerma, tabla 14.

Tabla 14. Especiación química de la Alcalinidad

Muestreo	Alc. Total T	Alc. Fenolf. P	Alc. de hidróxidos como CaCO_3	Alc. de carbonatos como CaCO_3	Alc. de bicarbonatos como CaCO_3
Septiembre 1996	290.40	22.73	0	45.46	244.94
Octubre 1996	303.93	11.00	0	22.00	281.93
Diciembre 1996	332.26	50.93	0	101.86	230.40
Febrero 1997	354.93	41.60	0	83.20	271.73
Junio 1997	355.33	32.86	0	65.72	289.61
X	327.37	31.82	0	63.64	263.72

Como se aprecia en el cuadro anterior, la alcalinidad presenta valores mayores para bicarbonatos, seguido de los carbonatos y nula presencia de hidróxidos (en base al esquema de especiación expuesto), lo que se corrobora si se analiza que los valores de dureza son elevados y corresponden principalmente a calcio y magnesio, elementos comunes en las aguas en forma de bicarbonatos y carbonatos.

La interpretación y clasificación del agua en atención a sus capacidades productivas a partir de la alcalinidad se muestra en la tabla 15 (Nisbex y Verneaux, 1970).

Tabla 15. Clasificación del agua a partir de la concentración de Alcalinidad

Alcalinidad total	Clase	Interpretación
$T < 25$	1	Alc. excesivamente débil, aguas muy poco productivas
$25 < T < 50$	2	Alc. muy débil, aguas dulces poco productivas
$50 < T < 100$	3	Alc. débil, productividad media
$100 < T < 150$	4	Alc. débil, productividad mayor
$150 < T < 250$	5	Alc. media, aguas muy productivas
$250 < T < 350$	6	Alc. Fuerte, aguas contaminadas
$T > 350$	7	Alc. Muy fuerte, aguas muy contaminadas

Al comparar los valores promedio (tabla 16) obtenidos en cada muestreo, se puede observar como evoluciona la calidad del agua de la clase 6 a la clase 7.

Tabla 16. Concentración promedio de Alcalinidad por muestreo

Alcalinidad Total mg/l CaCO ₃				
Septiembre 1996	Octubre 1996	Diciembre 1996	Febrero 1997	Junio 1997
290.4	303.9	332.2	354.9	355.3

Los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CCA-001-89 establecen valores límite de alcalinidad total según los usos del agua, siendo de 400 mg/l CaCO₃ para fuente de abastecimiento público. Por lo que los niveles encontrados en el agua del lago de Chapala con promedio en el seguimiento de 327.37 ± 25.98 mg/l CaCO₃ permiten la utilización del agua para dichos usos.

Estos resultados concuerdan con los reportados por la GEMS/WATER en el periodo de 1991-1993, con un promedio de 258 mg/l, el cual se puede comparar con el promedio más bajo obtenido en este trabajo el cual fue de 290.4 unidades, en la primera fecha de muestreo realizada en septiembre de 1996, también se tienen reportes de la misma Institución en el periodo de 1994-1996, con un promedio de 364 mg/l, el cual tiene una pequeña diferencia con el promedio más alto obtenido en este trabajo que fue de 355.3 mg/l, correspondiente al muestreo 5 realizado en junio de 1997.

Por otro lado también se tienen reportes de concentraciones de este parámetro en los trabajos de Limón et. al. en el periodo de 1972 a 1984, donde reporta que la alcalinidad decrece de manera estacional obteniéndose promedios mas elevados cerca del río, que decrecen en otras áreas del lago.

Según estos datos, la alcalinidad se ha mantenido con pequeñas diferencias sin llegar a ser significativas durante los últimos 25 años.

Cloruros

El ión cloruro es uno de los aniones inorgánicos principales en el agua natural. Tiene la capacidad de proveer al agua un sabor salado y depende de la composición química del agua, ya que si el catión presente en el agua que acompaña al cloruro es sodio, se presenta un sabor salado cuando la concentración alcanza 250 mg/l, en cambio, si el catión predominante es el calcio y el magnesio el sabor puede estar ausente hasta concentraciones de 1000 mg/l. El ión cloruro en exceso en el agua afecta el crecimiento vegetal, dañar estructuras metálicas y conducciones, así como limitar el uso del agua en actividades industriales y alimenticias.

La interpretación y clasificación del agua a partir de la concentración de cloruros se muestra en la tabla 17 (Nisbex y Verneaux, 1970).

Tabla 17. Clasificación del agua a partir de la concentración de Cloruros

Cloruros	Clase	Interpretación
Cl < 2	1	Aguas dulces, carentes de contaminación
2 < Cl < 5	2	
5 < Cl < 10	3	Aguas de cursos de premontaña, en regiones calizas principalmente
10 < Cl < 20	4	
20 < Cl < 50	5	Aguas muy productivas
50 < Cl < 100	6	Aguas contaminadas

Al comparar los valores promedio (Tabla 18) de cloruros evaluados de 52.12 ± 4.52 mg/l en el periodo de muestreo se observa que se encuentran en la clase 5 con

evolución hacia la clase 6, esto principalmente por la disminución de los aportes estacionales de agua y el aumento de concentración por evaporación y/o resuspensión.

Tabla 18. Concentración promedio de Cloruros por muestreo

Cloruros mg/l				
Septiembre 1996	Octubre 1996	Diciembre 1996	Febrero 1997	Junio 1997
46.86	50.66	52.13	51.66	59.33

Los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CCA-001-89, así como la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano- límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización", establecen valores límite de cloruros según los usos del agua, siendo de 250 mg/l para fuente de abastecimiento público y 147 mg/l para riego agrícola. Por lo que los límites encontrados permiten la utilización del agua en ambos usos.

Según la GEMS/WATER en el periodo de 1991-1996, la concentración de cloruros en Chapala se presentó entre 52 y 47 mg/l, estos datos son similares a los encontrados en este trabajo, por lo que dichas concentraciones promedio se mantienen con pequeñas variaciones a lo largo del periodo comprendido entre 1991 a 1997.

Color

El color de un agua natural puede estar condicionado por la presencia de iones metálicos naturales (hierro y manganeso), de humus y turbas, de plancton, de restos vegetales y de residuos industriales. El color de un agua es un parámetro de aspecto muy importante, ya que determina su aceptación para usos directos y limita su aplicación industrial, por lo que generalmente debe de ser mínimo el color para una mayor capacidad de utilización.

Se establecen dos formas de estimar el color, el concepto de color puro o real se refiere a aquel del agua cuya turbidez ha sido eliminada. Y el término color aparente engloba no solo el color debido a las sustancias disueltas, sino también a las materias en

suspensión, determinándose en la muestra de agua directamente, sin filtrado ni centrifugado.

Los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CCA-001-89 establecen valores límite de color, siendo de 75 unidades para fuente de abastecimiento público, y 147 mg/l para riego agrícola. La Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización", establece un límite de 20 unidades de color, por lo que los límites encontrados no permiten la utilización del agua directamente para estos usos, la concentración promedio se muestra en la tabla 19.

Tabla 19. Concentración promedio de Color por muestreo

Color Esc. Pt.-Co.				
Septiembre 1996	Octubre 1996	Diciembre 1996	Febrero 1997	Junio 1997
100.42	171.07	143.07	172.31	250.73

Los valores promedio de color aparente encontrados en el lago de Chapala de 167.52 ± 54.9 Esc. Pt.-Co. , son muy elevados, lo que permite deducir una aceptación y uso limitada, tanto para contacto directo como para actividades recreativas y de abastecimiento público, en este último caso obliga que los procesos de potabilización le eliminen hasta niveles de 6-8 veces menores a los presentados en diversas épocas estacionales (a menos de 20 unidades de color Esc. Pt.-Co.).

Conductividad

La conductividad es una expresión numérica de la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la presencia de iones y de su concentración total, de su movilidad, valencia y concentraciones relativas, así como de la temperatura de la medición.

La conductividad se mide como resistividad, de la cual él recíproco de está es la conductancia, que mide la capacidad para conducir una corriente y se expresa en

ohmios recíprocos o mhos, siendo más frecuente la expresión micromhos por centímetro cuadrado ($\mu\text{mhos/cm}$). En el Sistema Internacional de Unidades (SIU), el recíproco del ohmio es el siemen (S) y la conductividad se expresa en milisiemens por metro (mS/m); $1 \text{ mS/m} = 10 \mu\text{mhos/cm}$. Para expresar resultados en unidades SIU se dividen $\mu\text{mhos/cm}$ por 10.

Las aguas naturales y potables oscilan generalmente entre 50 y 1500 $\mu\text{mhos/cm}$, mientras que algunos residuos industriales, metálicos principalmente llegan a tener 10.000 $\mu\text{mhos/cm}$. En el agua la conductividad elevada puede intervenir en los equilibrios químicos, efectos fisiológicos en plantas y animales, tasas de corrosión, etc. Se suele presentar una correlación entre los valores de conductividad y sólidos disueltos, llegando incluso a obtener factores de proporcionalidad en ciertos cuerpos de aguas.

La clasificación de las aguas según su salinidad (Canadian Forestry Service, 1969), se presenta en la tabla 20.

Tabla 20. Clasificación del agua a partir de la Salinidad

Conductividad Eléctrica $\mu\text{mhos/cm}$	Alcalinidad Total mg/l	Tipo de Agua
40-700	0-40	Dulces, Blandas
40-700	41-200	Dulces, Duras
300-18.000	>200	Salobres
3.500-100.000	>200	Saladas

Los resultados en el seguimiento muestran un valor promedio (Tabla 21) de conductividad en el agua de $753.88 \pm 118.31 \mu\text{mhos/cm}$, lo que le permite considerarle de acuerdo al cuadro anterior como un agua dulce y dura, provocada por la elevada presencia de iones conductores de la electricidad, principalmente los causantes de la dureza y los metálicos como aluminio, hierro, manganeso, etc.

Tabla 21. Concentración promedio de Conductividad por muestreo

Conductividad $\mu\text{mhos/cm}$				
Septiembre 1996	Octubre 1996	Diciembre 1996	Febrero 1997	Junio 1997
649.6	666.4	727.2	782.8	943.4

Estos resultados difieren con los reportados por la GEMS/WATER en el periodo de 1991-1993, donde se reporta un promedio de 1250 $\mu\text{mhos/cm}$, no obstante en el periodo comprendido entre 1994-1996 en resultados reportados por la misma Institución se presentan concentraciones promedio de 980 $\mu\text{mhos/cm}$, concentración similar a la que se detectó en este trabajo en la última fecha de muestreo.

Cromo hexavalente

El cromo en forma de cromatos y bicromatos tienen múltiples aplicaciones en la industria (litografía, estampado, curtido, teñido, fotografía, pinturas, explosivos. etc.), por lo que el origen principal de compuestos de cromo presentes en el agua proviene de los residuos y descargas industriales que utilizan las sales de cromo. Se conoce que el cromo en su estado de oxidación hexavalente tiene efectos carcinógenos en mamíferos y en bacterias se ha observado un efecto mutagénico, por lo que su control en las aguas naturales, de suministro y residuales es de gran importancia, ya que además tiene una capacidad corrosiva alta.

En general, las aguas naturales tienen una concentración de cromo hexavalente que oscila entre 3 y 40 $\mu\text{g/l}$. Los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CCA-001-89 establecen valores límite de cromo hexavalente según los usos del agua, siendo de 0.05 mg/l para fuente de abastecimiento público, 1.00 mg/l para uso en riego agrícola y pecuario. Mientras que la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización", establece un límite de 0.05 mg/l determinado como cromo total.

La determinación de cromo hexavalente en los cinco muestreos se presentaron resultados negativos en cada estación de muestreo, solamente en las estaciones 5,8,9,11,12 y 13 en los muestreos 2, 3 y 4 se presentaron valores mayores al límite mínimo de detección, pero en ninguno de los casos mayores a 0.04 mg/l.

D.Q.O.

La demanda química de oxígeno (DQO), se utiliza como una medida del equivalente de oxígeno del contenido de materia orgánica de una muestra susceptible de oxidación por un oxidante químico. Para cuerpos de agua específicos, la DQO puede relacionarse empíricamente con la demanda biológica de oxígeno (DBO), el carbono orgánico, o la materia orgánica.

Los valores promedio de seguimiento en los muestreos presentan una concentración media de 34.7 ± 9.3 mg/l., tabla 22.

Tabla 22. Concentración promedio de la Demanda Química de Oxígeno por muestreo

Demanda Química de Oxígeno mg/l				
Septiembre 1996	Octubre 1996	Diciembre 1996	Febrero 1997	Junio 1997
34.66	33.33	31.26	24.33	49.93

No se establecen límites para la demanda química de oxígeno, tanto en los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CCA-001-89 como en la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización".

Dureza

Originalmente, la dureza del agua se interpreto como una medida de su capacidad para precipitar el jabón, el cual es precipitado preferentemente por los iones calcio y magnesio. Otros cationes polivalentes tienen también esta capacidad, aunque suelen

encontrarse en formas complejas como compuestos orgánicos y su influencia en la dureza puede ser difícil de determinar.

De acuerdo con los criterios actuales, la dureza total de un agua se define como la suma de las concentraciones de calcio y magnesio, ambos expresados como carbonato de calcio, en mg/l.

La interpretación y clasificación del agua a partir de la dureza se muestra en la tabla 23 (Nisbex y Verneaux, 1970).

Tabla 23. Clasificación del agua a partir de la concentración de Dureza

Dureza	Clase	Interpretación
D < 10	1	Aguas muy pobres, poco piscícolas (Oligotrofia)
10 < D < 20	2	Productividad débil
20 < D < 40	3	Productividad mediocre
40 < D < 80	4	Productividad media
80 < D < 110	5	Aguas piscícolas típicas, muy productivas (Eutrofia)
110 < D < 150	6	Aguas duras
D > 150	7	Aguas incrustantes muy duras.

No se establecen límites para la dureza total en los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CCA-001-89, mientras que en la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización", se establece un valor límite de 500 mg/l CaCO₃.

Los resultados estimados en el seguimiento muestran un valor promedio (Tabla 24) de dureza total en el agua de 229.0 ± 24.8 mg/l CaCO₃, lo que le permite considerarle de acuerdo al cuadro anterior como un agua incrustante y muy dura, típica de sistemas eutróficos.

Tabla 24. Concentración promedio de la Dureza Total por muestreo

Dureza Total mg/l CaCO ₃				
Septiembre 1996	Octubre 1996	Diciembre 1996	Febrero 1997	Junio 1997
202.2	212.5	232.6	267.2	230.8

Fósforo

El fósforo se encuentra en las aguas naturales y residuales casi exclusivamente en forma de fosfatos, clasificados en ortofosfatos, fosfatos condensados y otros polifosfatos, y los ligados orgánicamente. El fósforo es esencial para el crecimiento de los organismos y puede ser el nutriente limitador de la productividad primaria en un cuerpo de agua. Una de las principales fuentes de fósforo para el agua lo constituyen los ortofosfatos utilizados como fertilizantes en la agricultura y en las formulaciones de detergentes. Los fosfatos orgánicos se forman principalmente en procesos biológicos y son aportados a las aguas naturales principalmente por las aguas residuales urbanas.

La interpretación y clasificación del agua a partir del fósforo total se muestra en la tabla 25 (Nisbex y Verneaux, 1970).

Tabla 25. Clasificación del agua a partir de la concentración de Fósforo Total

Fósforo Total	Clase	Interpretación
$P < 0.01$	1	Aguas muy poco productivas. Lagos oligotróficos.
$0.01 < P < 0.05$	2	Aguas poco productivas
$0.05 < P < 0.15$	3	Productividad media
$0.15 < P < 0.30$	4	Gran productividad. Eutrófia
$0.30 < P < 0.50$	5	Aguas contaminadas
$P > 0.50$	6	Aguas claramente contaminada o muy eutróficas

Los resultados estimados en el seguimiento muestran un valor promedio de Fósforo Total en el agua de 0.467 ± 0.027 mg/l, lo que le permite considerarle de acuerdo al cuadro anterior como un agua típicamente eutrófica, con contaminación clara, hay que señalar que en 16 estaciones de muestreo a lo largo del estudio se supero el valor de 0.500 mg/l, denotando una clara contaminación por fósforo, y en el muestreo 5 en estaciones cercanas a la desembocadura del río Lerma, se presentaron concentraciones de 0.800 y 0.911 mg/l, tabla 26.

Tabla 26. Concentración promedio de Fósforo Total por muestreo

Fósforo Total mg/l				
Septiembre 1996	Octubre 1996	Diciembre 1996	Febrero 1997	Junio 1997
0.490	0.437	0.457	0.502	0.449

Los resultados encontrados en este trabajo coinciden con los reportados por la GEMS/WATER en el periodo de 1991-1993, donde se obtienen concentraciones promedio de 0.540 mg/l, sin embargo para el periodo comprendido entre 1994-1996 reportan concentraciones promedio de 1.8 mg/l, lo que representa un incremento de 1.298 mg/l respecto a la concentración más alta detectada en este trabajo misma que correspondió a la cuarta fecha de muestreo, realizada en el mes de febrero de 1997.

Por su parte Limón et.al. en 1989, reporta un incremento considerable de 230 a 800 $\mu\text{g l}^{-1}$ de 1972 a 1984, aunque menciona que este elemento no es limitante en la productividad de fitoplancton en el lago de Chapala.

El fósforo en forma de ortofosfatos presento un valor promedio de 0.3326 ± 0.0684 mg/l, lo que nos indica que del total de fósforo encontrado, en promedio el 71.09 % corresponde a fósforo de ortofosfatos, tabla 27.

Tabla 27. Concentración promedio de Fósforo de Ortofosfatos por muestreo

Fósforo de Ortofosfatos mg/l				
Septiembre 1996	Octubre 1996	Diciembre 1996	Febrero 1997	Junio 1997
0.354	0.362	0.386	0.348	0.213

Los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CCA-001-89 establecen valores limite de fósforo como fosfatos (PO_4) de 0.100 mg/l para fuentes de abastecimiento publico, por lo que su eliminación es necesaria en este caso, mientras que para protección a la vida acuática en agua dulce establece que los fosfatos totales, medidos como fósforo, no deberán exceder de 0.05 mg/l en influentes de lagos o embalses ni de 0.025 mg/l dentro del lago o embalse, para prevenir el desarrollo de especies biológicas indeseables y para controlar la eutroficación acelerada.

Como se observa, en el influente o río se presentan valores de hasta 9 veces el limite permitido, y se tienen concentraciones en el lago de fósforo total 18 veces superiores a las permitidas para un lago, lo que establece claramente la gran problemática que en relación con la contaminación por fósforo se presenta en el lago de Chapala.

La Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización", no establece un valor límite para este parámetro.

En los reportes de la GEMS/WATER en el periodo de 1991/1993, la concentración promedio es de 0.380 mg/l, similares a los obtenidos en este trabajo, sin embargo para el periodo de 1994/1996 se reportan concentraciones de 1.1 mg/l lo que representa un incremento de 0.714 mg/l, respecto a la concentración promedio mas alta encontrada en este trabajo que se presentó en el muestreo 4 correspondiente al mes de febrero de 1997, la cual fue de 0.386 mg/l.

Nitrógeno

Las formas de nitrógeno de mayor interés en las aguas naturales y residuales son, por orden decreciente de su estado de oxidación los nitratos, nitritos, amoníaco y nitrógeno orgánico. Todas estas formas de nitrógeno, lo mismo que el nitrógeno gaseoso N_2 son interconvertibles bioquímicamente y forman parte del ciclo del nitrógeno.

El nitrógeno oxidado total es la suma del nitrógeno de nitrito y de nitrato, siendo las formas más abundantes y de mayor importancia al evaluar la calidad del agua, ya que las fuentes principales de estas formas químicas son las descargas de aguas residuales industriales y urbanas, así como los diversos compuestos de nitrato empleados como fertilizantes en la agricultura. Al ser el nitrógeno un nutriente esencial, su presencia en grandes concentraciones en los cuerpos de agua refleja su capacidad productiva y nivel trófico. El nitrógeno de nitrato se presenta generalmente como trazas en aguas de superficie, siendo más comunes los niveles elevados en las aguas subterráneas, es un nutriente esencial para muchos autótrofos fotosintéticos, y en algunos casos se ha identificado como el determinante del crecimiento.

El nitrógeno de nitrito es un estado intermedio de la oxidación del nitrógeno, tanto en la oxidación del amoníaco (principalmente de origen urbano) a nitrato. Se ha establecido

que puede ocasionar la patología denominada metahemoglobinemia infantil, así como el ácido nitroso formado a partir del nitrito en soluciones ácidas, puede reaccionar con aminas secundarias dando lugar a nitrosaminas, muchas de las cuales son agentes carcinógenos reconocidos.

La evaluación de nitrógeno en la forma química de nitratos realizada mostró resultados positivos solo en el muestreo 2 en la estación 13 y 15, en el muestreo 3 las estaciones 2,3,5,6,11,12 y 14; en el muestreo 4 en todas las estaciones y en el muestreo 5 en todas las estaciones, las concentraciones promedio se muestran en la tabla 28.

Tabla 28. Concentración promedio de Nitrógeno de Nitratos por muestreo

Nitrógeno de Nitratos mg/l				
Septiembre 1996	Octubre 1996	Diciembre 1996	Febrero 1997	Junio 1997
< 0.1000	0.1259	0.1307	0.4602	0.5477

Las concentraciones promedio reportadas por la GEMS/WATER durante el periodo de 1991/1993, son de 1.20 mg/l, lo que representa un incremento de 0.65 mg/l, respecto a la concentración promedio mas alta encontrada en este trabajo que fue de 0.5477 mg/l, esta misma Institución reporta en el periodo de 1994/1996, concentraciones promedio de 3.63 mg/l, esta difiere en 3.08 mg/l respecto a la concentración promedio mas alta encontrada en este trabajo, mencionada anteriormente, misma que correspondió al muestreo 5 realizado en junio de 1997.

La evaluación de nitrógeno en la forma química de nitritos realizada mostró resultados positivos solo en muestreo 4 en la estación 3 con 0.075 mg/l y en el muestreo 5 en la estación 2 con 0.007 mg/l, estación 14 con 0.017 mg/l, estación 15 con 0.009 mg/l y estación 16 o río con 0.009 mg/l, la concentración promedio por muestreo se presenta en la tabla 29.

Tabla 29. Concentración promedio de Nitrógeno de Nitritos por muestreo

Nitrógeno de Nitritos mg/l				
Septiembre 1996	Octubre 1996	Diciembre 1996	Febrero 1997	Junio 1997
<0.005	<0.005	<0.005	0.0075	0.011

La interpretación y clasificación del agua a partir de los nitritos se muestra en la tabla 30 (Nisbex y Verneaux, 1970).

Tabla 30. Clasificación del agua a partir de la concentración de Nitritos

Nitritos	Clase	Interpretación
N < 0.01	1	Aguas puras o autodepuración activa.
N < 0.10	2	Amenaza de contaminación. Perturbación del ciclo del nitrógeno.
N < 1.00	3	Contaminación sensible
N > 1.00	4	Estado crítico de contaminación

Los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CCA-001-89 establecen valores límite de nitrógeno de nitratos según los usos del agua, siendo de 5 mg/l para fuente de abastecimiento público y 90 mg/l para uso pecuario. Para nitrógeno de nitritos de 0.05 mg/l para fuente de abastecimiento público y 10 mg/l para uso pecuario, por lo que en ninguno de los casos se superan dichos límites.

La Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización", establecen valores límite de nitrógeno de nitratos de 10 mg/l y para nitrógeno de nitritos de 0.05 mg/l, siendo el agua apta para dichos usos de acuerdo a los resultados obtenidos.

En el periodo 1991/1993, la GEMS/WATER reporta concentraciones promedio de nitritos de 0.54 mg/l, mientras que para el periodo 1994/1996 las concentraciones promedio reportadas son de 0.43 mg/l, estos resultados son elevados respecto a la concentración más alta encontrada en este trabajo, es importante mencionar que los resultados reportados por la GEMS/WATER están fuera de la Norma Oficial Mexicana, en el rubro de abastecimiento público, lo que es de gran relevancia, sin embargo es

importante mencionar que los resultados pudieron variar por la técnica utilizada para el análisis de muestras.

Por su parte Limón et.al. en 1989, reporta un incremento notable en la concentración de nitrógeno en el Lago, con concentraciones de 145 a 367 $\mu\text{g l}^{-1}$, en el periodo de 1972 a 1984, con variaciones significativas en las estaciones mas cercanas al río Lerma.

Oxígeno Disuelto

Los niveles de oxígeno disuelto (OD) en aguas naturales dependen de la actividad física, química y bioquímica del sistema de aguas. El análisis de OD es una prueba clave en la contaminación del agua, ya que los niveles de OD condiciona la actividad tanto aeróbica como anaerobia de los organismos presentes en el cuerpo de agua, la concentración y porcentaje de saturación de oxígeno dependen de la temperatura del agua, de la salinidad y de la presión atmosférica.

En los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CCA-001-89 se establece valores limite de oxígeno disuelto según los usos del agua, siendo de 4 mg/l para fuente de abastecimiento publico. La Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-limites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización", no establece limites de concentración de oxígeno disuelto.

El valor promedio (Tabla 31) encontrado en el lago de Chapala para el oxígeno disuelto fue de 6.03 ± 1.52 mg/l, por lo cual respecto a las normativas vigentes, tiene un valor normal y su uso en diversas actividades esta permitido.

Tabla 31. Concentración promedio de Oxígeno Disuelto por muestreo

Oxígeno Disuelto mg/l				
Septiembre 1996	Octubre 1996	Diciembre 1996	Febrero 1997	Junio 1997
4.97	4.01	6.58	6.78	7.82

La concentración promedio mas alta determinada en este trabajo fue de 7.82 mg/l, mientras que la GEMS/WATER reporta concentraciones promedio de 70 a 69 mg/l, lo que muestra una diferencia importante, sin embargo en el presente trabajo el oxígeno disuelto fue tomado en campo mediante un oxímetro, mientras que no se tienen datos de la técnica utilizada para el análisis de muestras utilizado por la GEMS/WATER.

pH

La medida de pH es una de las pruebas más importantes y frecuentes utilizadas en el análisis químico del agua. A una temperatura determinada, la intensidad del carácter ácido o básico de una solución viene dada por la actividad del ión hidrogeno o pH. La alcalinidad y acidez son las capacidades neutralizantes de ácidos y bases de un agua y normalmente se expresan como miligramos de CaCO_3 por litro.

El valor del pH en las aguas naturales normalmente tienen valores de 4 a 9, y la mayoría son ligeramente básicas debido a la presencia de bicarbonatos y carbonatos de los metales alcalinos y alcalino térreos.

El control del pH en las aguas naturales es muy importante ya que es un factor determinante en la mayoría de reacciones químicas que se desarrollan tanto en el agua como en los seres vivos que habitan esta, los cuales presentan rangos de tolerancia al pH generalmente muy pequeños.

La interpretación y clasificación del agua a partir del pH se muestra en la tabla 32 (Nisbex y Verneaux, 1970).

Tabla 32. Clasificación del agua a partir de la concentración de pH

pH	Clase	Interpretación
pH < 5	1	Acidez fuerte, manantiales y arroyos de regiones graníticas, de turberas o forestales.
5 < pH < 6	2	Acidez media
6 < pH < 7	3	Acidez débil
7 < pH < 7.5	4	Neutra, mayoría de las aguas piscícolas, regiones calcáreas.
7.5 < pH < 8	5	Alcalinidad débil
8 < pH < 9	6	Alcalinidad alta, aguas cerradas o asimiladas.
pH > 9	7	Alcalinidad fuerte, aguas poco piscícolas.

Los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CCA-001-89 establecen valores límite de pH según los usos del agua, siendo de 5-9 para fuente de abastecimiento público y 4.5-9 para riego agrícola. Además establece que para el potencial de hidrógeno (pH), los niveles establecidos deben considerarse como mínimos y máximos y no podrá haber variaciones mayores a 0.2 unidades de pH, tomando como base el valor natural estacional.

La Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización", no establecen valores límite de pH.

Los valores promedio (Tabla 33) estimados en el seguimiento muestran un valor promedio de pH en el agua del lago de 8.7 ± 0.57 unidades de pH, lo que le permite considerarle de acuerdo al cuadro anterior como un agua de tipo alcalina alta. Las variaciones encontradas en el pH superan al valor máximo permitido de 0.2 unidades en varias estaciones, mientras que en las estaciones cercanas al río se presenta una variación mucho mayor, por lo que no se cumple con los criterios de variabilidad respecto al valor natural estacional.

Tabla 33. Concentración promedio de pH por muestreo

pH				
Septiembre 1996	Octubre 1996	Diciembre 1996	Febrero 1997	Junio 1997
8.56	8.35	8.84	8.92	8.86

Este parámetro es reportado por Limón et. al. 1989, con concentraciones promedio de 8.2 y 8.7, dependiendo de la estación del año, en el periodo de 1972 a 1984, mientras que para la zona mas cercana al río se reporta una concentración mas de baja de 7.2 mg/l, estos valores coinciden con los valores promedio encontrados en este trabajo, con pequeñas variaciones en algunas estaciones a lo largo del año, sin embargo el promedio general coincide con los datos reportados en 1989, por lo tanto no se han presentado grandes variaciones en este parámetro en los últimos 8 años.

S.A.A.M. (Sustancias Activas al Azul de Metileno)

Las sustancias activas al azul de metileno incluyen una extensa lista de compuestos químicos, los cuales tiene la propiedad de interaccionar con el azul de metileno. Se les denomina genéricamente surfactantes o detergentes, por sus propiedades y aplicaciones más usuales, siendo estos cationicos e iónicos, según el tipo de carga eléctrica que presentan, existiendo también los aniónicos, los cuales presentan un grupo hidrófilo.

Los surfactantes suelen utilizarse como desinfectantes, en el ablandamiento textil, además de como detergentes. Tienen la capacidad de acumularse en las interfaces entre el medio acuoso y las otras fases del sistema, como aire, líquidos oleosos y partículas, impartiendo por tanto propiedades tales como formación de espuma, emulsificación y suspensión de partículas, con los consiguientes efectos al ecosistema (principalmente disminución del recambio de gases agua-aire, impacto a cadenas tróficas primarias disminuyendo la movilidad, nivel fótico, aumento de sólidos en suspensión, etc.).

Los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CCA-001-89 establecen valores limite de sustancias activas al azul de metileno de 0.5 mg/l para fuente de abastecimiento público.

La Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización", establece un valor límite para sustancias activas al azul de metileno de 0.5 mg/l.

En el total de muestreos realizados se presentaron valores de sustancias activas al azul de metileno menores a 0.3 mg/l, que corresponde al límite mínimo de detección del método analítico utilizado.

Sólidos

Sólidos totales es la expresión que se aplica a los residuos de material que quedan en un recipiente después de la evaporación de una muestra de agua y su consecutivo secado a temperatura definida. Los sólidos totales incluyen los sólidos suspendidos totales, o porción de sólidos totales retenida por un filtro, y los sólidos disueltos totales, o porción que atraviesa el filtro. La estimación de los sólidos presentes en el agua y que tienen la capacidad de sedimentar (Sedimentables) se evalúan en función del tiempo y se expresan en ml/l.

Los sólidos en sus diferentes formas son producto de la presencia de iones metálicos naturales (hierro y manganeso), de humus y turbas, de plancton, de restos vegetales y de residuos industriales. Los sólidos pueden afectar negativamente a la calidad del agua, tanto en el aspecto biológico como en su aceptación y uso tanto en fuente de abastecimiento de agua y en uso agrícola o pecuario.

Los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CCA-001-89 establecen valores límite de sólidos de la siguiente forma:

- Para sólidos totales de 1000 mg/l para fuente de abastecimiento público.
- Para sólidos disueltos totales de 500 mg/l para fuente de abastecimiento, de 1000 mg/l para uso pecuario y de 500 mg/l para riego agrícola. La concentración de

sólidos disueltos que no tiene efectos nocivos en ningún cultivo es de 500 mg/l , en cultivos sensibles es de entre 500 y 1000 mg/l en muchas cosechas que requieren de manejo especial es de entre 1000 y 2000 mg/l y para cultivos de plantas tolerantes en suelos permeables es de entre 2000 y 5000 mg/l , requiriendo de un manejo especial.

- Para sólidos suspendidos totales de 500 mg/l para fuente de abastecimiento, y de 50 mg/l para riego agrícola. Los sólidos suspendidos (incluyendo sedimentables) en combinación con el color, no deben reducir la profundidad del nivel de compensación de la luz para la actividad fotosintética en más de 10% a partir del valor natural.

En la Norma Oficial Mexicana de "Uso y consumo humano-limites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización", solo establece un valor limite para sólidos disueltos totales de 1000 mg/l.

Los resultados estimados en el seguimiento muestran un valor promedio de sólidos totales totales en el agua del lago de 663.4 ± 45.68 mg/l, lo que permite su utilización como fuente de abastecimiento, tabla 34.

Tabla 34. Concentración promedio de Sólidos Totales Totales por muestreo

Sólidos Totales Totales mg/l				
Septiembre 1996	Octubre 1996	Diciembre 1996	Febrero 1997	Junio 1997
670.0	617.8	630.5	664.1	734.6

Para sólidos disueltos totales los valores promedio estimados muestran un valor promedio de 633.3 ± 27.1 mg/l, por lo que de acuerdo a los niveles permitidos, no es apta para su uso como fuente de abastecimiento, ni para riego agrícola, tabla 35.

Tabla 35. Concentración promedio de Sólidos Disueltos Totales por muestreo

Sólidos Disueltos Totales mg/l				
Septiembre 1996	Octubre 1996	Diciembre 1996	Febrero 1997	Junio 1997
644.6	606.8	625.8	614.7	674.6

Para sólidos suspendidos totales los valores promedio (Tabla 36) en el seguimiento muestran un valor promedio de 32.6 ± 21.0 mg/l, por lo que su utilización para fuente de abastecimiento es permisible, hay que señalar que en los muestreos 4 y 5 se presentan valores que sobrepasan a los límites permitidos para su utilización en riego agrícola, presentando valores máximos cercanos a la desembocadura del río Lerma.

Tabla 36. Concentración promedio de Sólidos Suspendidos Totales por muestreo

Sólidos Suspendidos Totales mg/l				
Septiembre 1996	Octubre 1996	Diciembre 1996	Febrero 1997	Junio 1997
25.3	10.9	17.8	49.2	60.0

La interpretación y clasificación del agua a partir de los sólidos suspendidos se muestra en la tabla 37 (Nisbex y Verneaux, 1970).

Tabla 37. Clasificación del agua a partir de la concentración de Sólidos en Suspensión

Sólidos en suspensión	Clase	Interpretación
$S < 10$	1	Situación muy buena
$10 < S < 25$	2	Situación normal
$25 < S < 50$	3	Buena situación
$50 < S < 75$	4	Buena situación
$75 < S < 150$	5	Situación media
$150 < S < 300$	6	Situación mediocre, agua contaminada
$300 < S < 500$	7	Situación anormal, productividad piscícola mínima
$S > 500$	8	Estado crítico de contaminación

Aun cuando los valores de sólidos obtenidos en esta investigación permiten su utilización para diversos usos, la Cámara de Comercio de Guadalajara, en 1986, menciona que los problemas que existen en el lago están directamente relacionados con los sedimentos y algunos otros elementos aportados por los desagües naturales, esto también implica una relación particular con la turbiedad.

Sulfatos

El sulfato se distribuye ampliamente en la naturaleza y su presencia en el agua puede presentar concentraciones que van desde unos pocos a varios miles de miligramos por

litro. Las principales formas son los sulfatos de sodio, calcio, magnesio, potasio y aluminio, y muchos de estos ejercen una acción catalítica en diversos procesos biológicos y biogeoquímicos.

Los principales aportes de sulfatos ocurren con los procesos de lixiviación de cuencas altamente sulfatadas y carbonatadas, así como los vertidos de aguas residuales industriales y de procesos extractivos en minería.

La interpretación y clasificación del agua a partir de los sulfatos se muestra en la tabla 38 (Nisbex y Verneaux, 1970).

Tabla 38. Clasificación del agua a partir de la concentración de Sulfatos

Sulfatos	Clase	Interpretación
$S < 10$	1	Situación muy buena
$10 < S < 20$	2	Situación normal
$20 < S < 40$	3	Situación especial:
$40 < S < 60$	4	Aguas contaminadas
$60 < S < 120$	5	o selenitosas
$120 < S < 250$	6	Limite de potabilidad, aguas muy selenitosas
$S > 250$	7	Estado crítico de contaminación

Los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CCA-001-89 establecen valores limite de sulfatos de 500 mg/l para fuente de abastecimiento público, y de 130 mg/l para riego agrícola.

La Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización", establece un valor limite para sulfatos de 400 mg/l.

Los resultados estimados en el seguimiento muestran un valor promedio de sulfatos en el agua del lago de 89.71 ± 12.10 mg/l, lo que permite su utilización como fuente de abastecimiento y para el riego agrícola, tabla 39.

Tabla 39. Concentración promedio de Sulfatos por muestreo

Sulfatos mg/l				
Septiembre 1996	Octubre 1996	Diciembre 1996	Febrero 1997	Junio 1997
80.83	83.25	82.20	92.59	109.72

Los resultados obtenidos en el presente estudio muestran su promedio mas alto de sulfatos en el muestreo 5, con una concentración de 109.72 mg/l, estos datos difieren de los reportados por la GEMS/WATER en el periodo de 1991 a 1996 los cuales mantienen concentraciones promedio de 176 a 192 mg/l.

Temperatura

Tabla 40. Concentración promedio de Temperatura, por muestreo

Temperatura °C				
Septiembre 1996	Octubre 1996	Diciembre 1996	Febrero 1997	Junio 1997
24.2	21.1	19.5	20.9	24.3

La temperatura osciló entre 19.5 la mínima y 24.3 la máxima, durante todo el periodo de estudio, estos resultados difieren en un rango de 2 a 4 grados de los reportados por la GEMS/WATER durante 1991-1996, mismos que reportan promedio de 26.1 a 28 °C, no teniendo reporte de la máximas y mínimas registradas durante el periodo mencionado con anterioridad.

La Universidad de Guadalajara en 1983, menciona que las características físicas del lago son un factor importante para el comportamiento de la calidad del agua, mencionando también que se ha encontrado homogeneidad en sentido vertical en estudios reportados con anterioridad.

Turbiedad

La turbidez es una expresión de la propiedad óptica que origina que la luz se disperse y absorba en vez de transmitirse en línea recta a través del agua. La turbidez del agua es

producida por materias en suspensión, como arcilla, cieno o materias orgánicas e inorgánicas finamente divididas, compuestos orgánicos solubles coloreados, plancton y otros microorganismos. La correlación de la turbidez con la concentración en peso de los sólidos en suspensión es difícil de establecer, ya que en la dispersión luminosa también intervienen el tamaño, la forma y el índice de refracción de las partículas. La turbiedad es un factor importante en los cuerpos de agua, ya que determina la extensión de superficie fótica aprovechable en actividades fotosintéticas, al establecer un gradiente de dispersión de la luz a través de la columna de agua, determinando la capacidad productiva del cuerpo o curso de agua. La transparencia del agua es importante para la elaboración de productos destinados a consumo humano y para numerosos usos industriales.

Los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CCA-001-89 solo establecen valores límite de turbiedad para acuicultura de la especie tilapia en 100 UTN.

La Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 "Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización", establece un límite de 5 UTN.

Los resultados estimados en el seguimiento muestran un valor promedio de turbiedad en el agua del lago de 32.12 ± 9.1 UTN, por lo que no permite su utilización como fuente de abastecimiento de forma directa ya que presenta valores 6 veces mayores, para acuicultura y riego agrícola cumple con la normativa antes señalada, tabla 41.

Tabla 41. Concentración promedio de Turbiedad, por muestreo

Turbiedad UTN				
Septiembre 1996	Octubre 1996	Diciembre 1996	Febrero 1997	Junio 1997
21.2	31.8	26.4	36.2	45.0

La importancia de este parámetro radica principalmente en su relación con la productividad algal, Dávalos y Lind en 1992, mencionan que la producción de fitoplancton en el lago de Chapala está limitada por la alta turbidez arcillosa.

Turbiedad Secchi

La turbiedad estimada con el disco de secchi estima la extensión de penetración de la luz, permite establecer la extensión de la zona fótica de una columna de agua, la cual esta condicionada por la concentración de sólidos en suspensión, disueltos y materia orgánica. Dependiendo del estado trófico se observa como al aumentar éste disminuye la turbiedad secchi medida como profundidad en cm. A mayor turbiedad secchi, mayor extensión de la zona fótica, por lo tanto, la capacidad fotosintética y productiva es mayor (Condicionada por la presencia de Nutrientes).

Los resultados obtenidos en el seguimiento efectuado en el lago de Chapala muestran que son característicos de un sistema eutrófico, ya que la turbiedad secchi alcanza un valor promedio (Tabla 42) de 32.14 ± 7.1 UTN, limitando la actividad productiva a una extensión muy reducida con respecto del total, esto se explica por las altas concentraciones presentes de sólidos totales y disueltos, principalmente.

Tabla 42. Concentración promedio de Turbiedad Secchi, por muestreo

Turbiedad Secchi cm				
Septiembre 1996	Octubre 1996	Diciembre 1996	Febrero 1997	Junio 1997
27.2	25.6	40.6	39.3	28.0

Las gráficas de los resultados de variabilidad de los parámetros y fecha de muestreo, se presentan en el anexo 2.

Evaluación del perfil de Oxígeno Disuelto:

Para la evaluación de la distribución vertical (Perfil) del oxígeno disuelto en el lago de Chapala, se realizaron mediciones de oxígeno con un intervalo de profundidad de 1 m iniciando en la superficie y hasta profundidad máxima. La determinación se realizó por un método electrométrico, para el cual se utilizó un equipo portátil con electrodo de vidrio multiparamétrico, con el cual se midió la temperatura, pH, oxígeno disuelto y potencial

redox, además de la conductividad. Las valoraciones se realizaron *"in situ"* por profesionales del Instituto de Limnología de la Universidad de Guadalajara.

Los perfiles de profundidad máxima evaluados en cada estación de muestreo y por muestreo se presentan en la tabla 43:

Tabla 43. Valores de Oxígeno Disuelto por estación y profundidad

Muestreo 1

ESTACION	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
PROFUNDIDAD	3.90	4.00	6.00	4.00	4.17	4.75	4.00	3.15	5.10	5.30	2.90	2.80	2.30	1.60	0.80	3.00

Muestreo 2

ESTACION	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
PROFUNDIDAD	5.00	4.00	6.00	5.00	4.50	4.00	5.50	3.50	5.50	5.00	4.20	2.60	2.50	1.50	1.00	3.50

Muestreo 3

ESTACION	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
PROFUNDIDAD	4.60	3.80	5.10	3.70	4.00	3.50	4.80	3.30	5.30	5.40	3.65	2.40	2.30	1.50	0.90	3.50

Muestreo 4

ESTACION	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
PROFUNDIDAD	4.80	3.80	5.00	3.40	4.00	3.10	4.40	3.00	5.10	4.80	3.10	2.20	2.20	1.50	0.60	3.05

Muestreo 5

ESTACION	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
PROFUNDIDAD	3.50	3.40	4.50	2.70	3.10	2.15	3.60	2.15	4.60	4.60	4.50	2.50	1.50	1.55	0.47	2.10

La evaluación de oxígeno disuelto y la concentración promedio en la columna de agua realizada en el muestreo 1 en cada una de las estaciones de muestreo se presenta en la tabla 44:

Tabla 44. Concentración promedio de Oxígeno Disuelto, muestreo 1

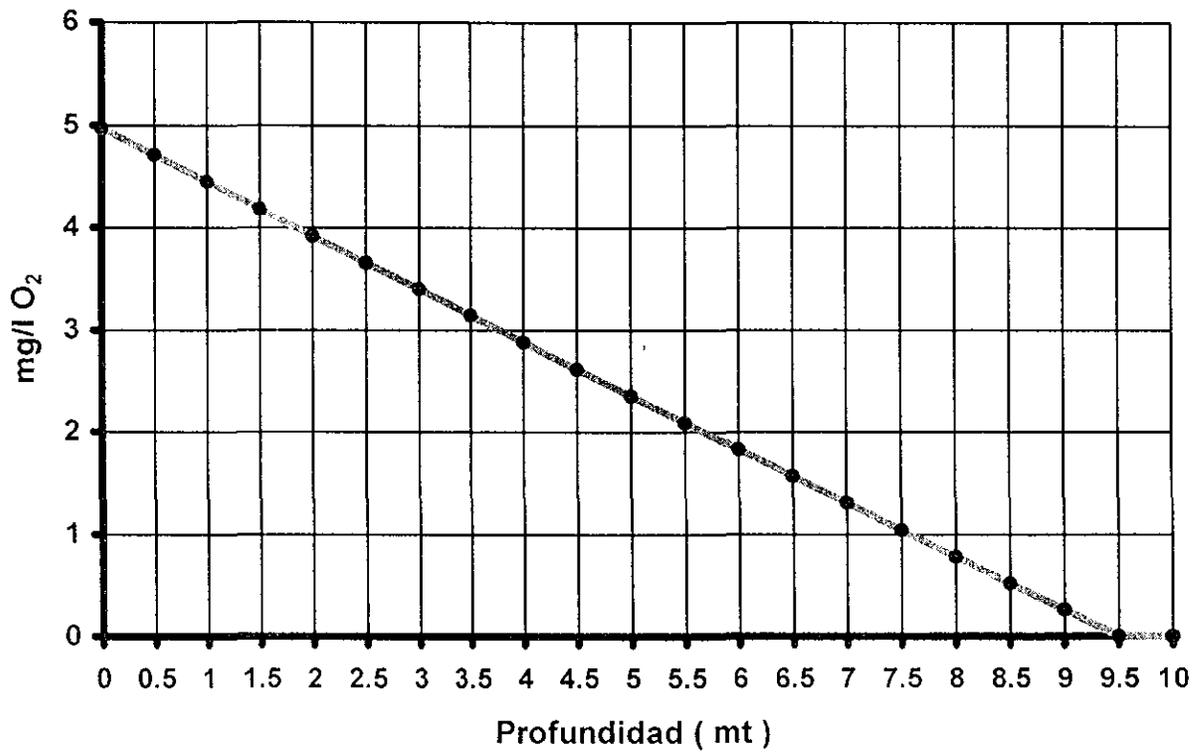
PROFUNDIDAD mt	ESTACION							
	1	2	3	4	5	6	7	8
0.0	5.00	5.20	6.38	4.57	4.47	5.00	5.59	8.16
1.0	4.29	4.77	5.00	5.50	4.23	4.48	5.49	7.69
2.0	3.98	4.32	4.00	4.90	3.81	3.05	5.20	7.18
3.0	3.38	3.64	2.00	4.90	3.34	2.98	4.90	6.80
4.0	2.83	3.13	1.80	4.14	3.07	2.71	4.31	
5.0			1.55			1.90		
6.0			1.23					

PROFUNDIDAD mt	ESTACION							
	9	10	11	12	13	14	15	16
0.0	4.86	4.50	4.68	4.21	3.40	4.60	3.96	3.43
1.0	4.28	3.75	4.45	3.95	3.34	4.42	3.50	3.14
2.0	3.84	3.32	3.82	3.48	2.67	3.20		2.89
3.0	3.40	2.86	2.25	2.25				2.12
4.0	2.91	2.55						
5.0	2.64	2.05						
6.0		2.00						

	PROFUNDIDAD mt					
	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
X	4.87	4.51	4.03	3.44	3.08	2.03
SD	1.14	1.08	1.14	1.37	0.82	0.45
X+ SD	6.02	5.60	5.18	4.82	3.90	2.48
X-SD	3.72	3.43	2.88	2.06	2.25	1.58
n	16	16	14	13	9	4
X= MEDIA ARITMETICA SD= DESVIACION ESTANDAR n= NUMERO DE DATOS						

Aplicando un análisis de correlación y regresión lineal simple a los datos de concentración de oxígeno disuelto en función de la profundidad se obtienen los siguientes valores de la ecuación de la recta $Y = a + b(x)$: $a = 4.9735$; $b = -0.5233$; $r = -0.6153$; $n = 75$, aplicando dichos valores se obtiene la estimación teórica del perfil de oxígeno disuelto para el muestreo 1, los resultados se presentan en la gráfica 2:

Gráfica 2. Perfil teórico de Oxígeno Disuelto, muestreo 1



La relación matemática proporcional de disminución de concentración de oxígeno disuelto en función de la profundidad es de $0.52 \text{ mg/O}_2/\text{mt}$.

La evaluación de oxígeno disuelto y la concentración promedio en columna de agua realizada en el muestreo 2 en cada una de las estaciones de muestreo se presenta en la tabla 45:

Tabla 45. Concentración promedio de Oxígeno Disuelto, muestreo 2

PROFUNDIDAD mt	ESTACION							
	1	2	3	4	5	6	7	8
0.0	2.28	2.14	2.00	2.00	6.76	2.30	6.77	4.68
1.0	2.10	2.00	1.48	1.85	7.32	2.40	6.28	4.45
2.0	1.98	1.79	1.50	1.75	7.04	1.96	6.00	4.28
3.0	1.76	1.70	1.34	1.90	6.71	1.83	5.75	3.88
4.0	1.98	1.55	1.22	1.75	6.61	1.73	5.55	3.90
5.0	1.48		1.29	1.52	6.28		5.20	
6.0			1.14				5.12	

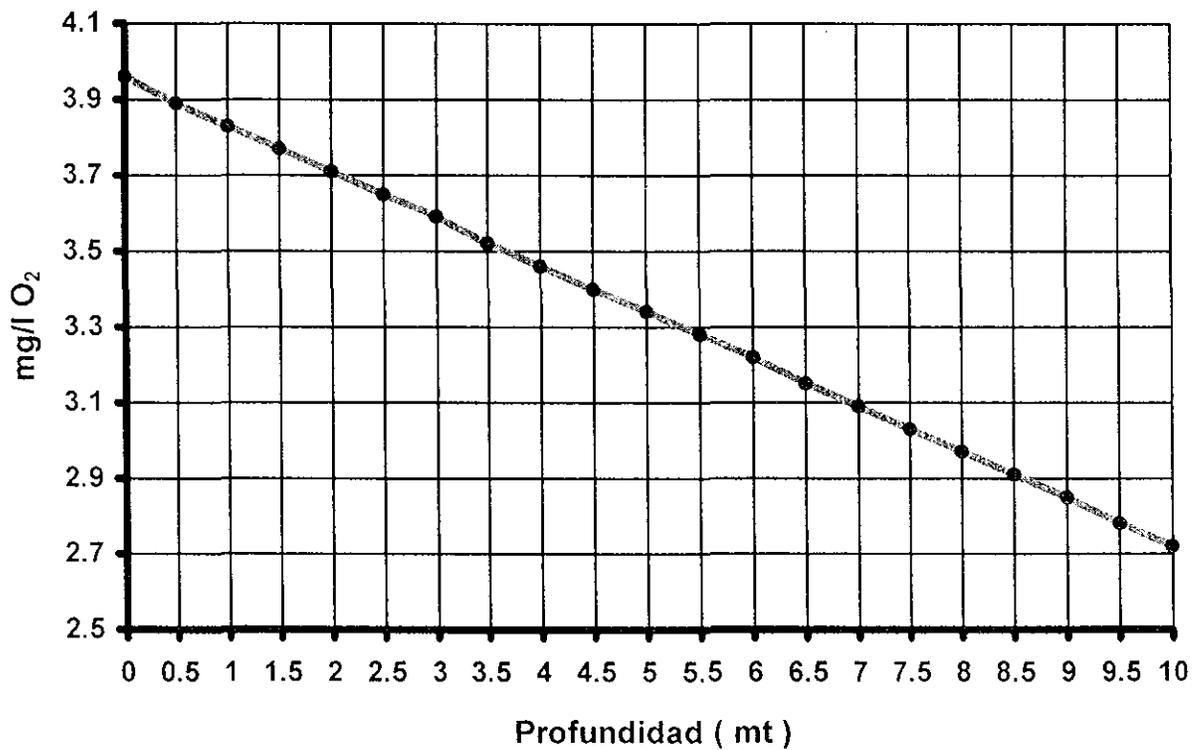
PROFUNDIDAD mt	ESTACION							
	9	10	11	12	13	14	15	16
0.0	5.61	4.71	4.97	4.42	3.93	3.60	4.11	3.63
1.0	5.48	4.80	4.68	4.23	3.83	3.63	3.93	3.20
2.0	5.29	4.78	4.35	4.00	3.65	3.26	4.04	2.85
3.0	5.13	4.60	4.14	3.94	3.62			2.59
4.0	4.97	4.52	3.88					
5.0	4.76	4.05	3.75					
6.0	4.61							

	PROFUNDIDAD mt					
	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
X	3.98	3.88	3.65	3.51	3.35	3.51
SD	1.58	1.65	1.68	1.68	1.79	2.05
X+ SD	5.57	5.54	5.33	5.19	5.14	5.56
X-SD	2.40	2.23	1.97	1.83	1.55	1.45
n	16	16	15	14	12	7

X= MEDIA ARITMETICA
 SD= DESVIACION ESTANDAR
 n= NUMERO DE DATOS

Aplicando un análisis de correlación y regresión lineal simple a los datos de concentración de oxígeno disuelto en función de la profundidad se obtienen los siguientes valores de la ecuación de la recta $Y = a + b(x)$: $a = 3.9615$; $b = -0.1234$; $r = -0.1265$; $n = 85$, aplicando dichos valores se obtiene la estimación teórica del perfil de oxígeno disuelto para el muestreo 2, los resultados se presentan en la gráfica 3.

Gráfica 3. Perfil teórico de Oxígeno Disuelto, muestreo 2



La relación matemática proporcional de disminución de concentración de oxígeno disuelto en función de la profundidad es de $0.12 \text{ mg/O}_2/\text{mt}$.

La evaluación de oxígeno disuelto y la concentración promedio en la columna de agua realizada en el muestreo 3 en cada una de las estaciones de muestreo se presenta en la tabla 46.

Tabla 46. Concentración promedio de Oxígeno Disuelto, muestreo 3

PROFUNDIDAD mt	ESTACION							
	1	2	3	4	5	6	7	8
0.0	6.97	6.25	6.50	6.43	7.29	6.60	6.58	6.58
1.0	6.32	5.90	6.33	5.90	6.48	6.28	6.46	6.36
2.0	6.05	5.83	6.17	5.77	6.25	6.24	6.19	6.25
3.0	5.76	5.50	6.15	5.70	6.23	6.20	6.19	6.15
4.0	5.73	5.40	6.00	5.60	6.03	6.00	6.19	6.03
5.0	5.58		5.56				6.00	
6.0								

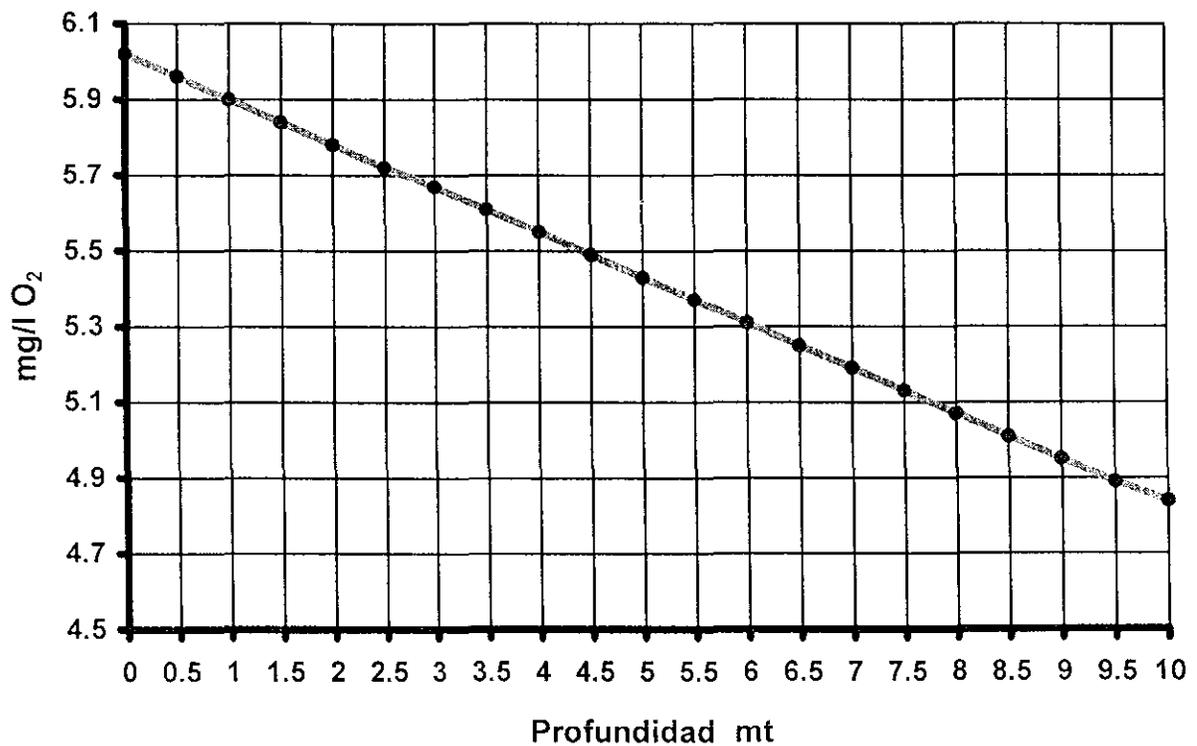
PROFUNDIDAD mt	ESTACION							
	9	10	11	12	13	14	15	16
0.0	6.87	6.49	7.40	6.50	6.80	6.10	5.40	1.58
1.0	6.46	6.22	6.40	6.16	6.56	5.50	5.20	0.63
2.0	6.37	6.16	6.33	6.10	6.38	5.28		0.20
3.0	6.25	6.16	6.13	5.85	4.73			0.11
4.0	6.21	6.08	5.70					0.08
5.0	6.16	6.08						
6.0	5.89	5.80						

	PROFUNDIDAD mt					
	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
X	6.27	6.16	6.16	6.03	5.89	5.87
SD	1.33	0.38	0.18	0.25	0.27	0.28
X+ SD	7.60	6.55	6.34	6.29	6.16	6.16
X-SD	4.93	5.78	5.97	5.78	5.62	5.59
n	16	15	13	11	10	5

X= MEDIA ARITMETICA
 SD= DESVIACION ESTANDAR
 n= NUMERO DE DATOS

Aplicando un análisis de correlación y regresión lineal simple a los datos de concentración de oxígeno disuelto en función de la profundidad se obtienen los siguientes valores de la ecuación de la recta $Y = a + b(x)$: $a = 6.0258$; $b = -0.1185$; $r = -0.1297$; $n = 80$, aplicando dichos valores se obtiene la estimación teórica del perfil de oxígeno disuelto para el muestreo 3, los resultados se presentan en la gráfica 4.

Gráfica 4. Perfil teórico de Oxígeno Disuelto, muestreo 3



La relación matemática proporcional de disminución de concentración de oxígeno disuelto en función de la profundidad es de $0.06 \text{ mg/O}_2/\text{m}.$

La evaluación de oxígeno disuelto y la concentración promedio en la columna de agua realizada en muestreo 4 en cada una de las estaciones de muestreo se presenta en la tabla 47.

Tabla 47. Concentración promedio de Oxígeno Disuelto, muestreo 4

PROFUNDIDAD mt	ESTACION							
	1	2	3	4	5	6	7	8
0.0	7.60	7.55	6.64	7.20	8.40	7.40	6.78	6.24
1.0	6.88	6.66	6.68	6.80	6.86	6.86	6.53	6.03
2.0	6.45	6.46	6.28	6.75	6.44	6.72	6.27	5.90
3.0	6.34	6.42	5.43	4.48	6.18	2.81	6.18	3.75
4.0	5.52	6.10	5.00	1.24	5.53		6.10	
5.0	4.30		3.71				1.60	
6.0								

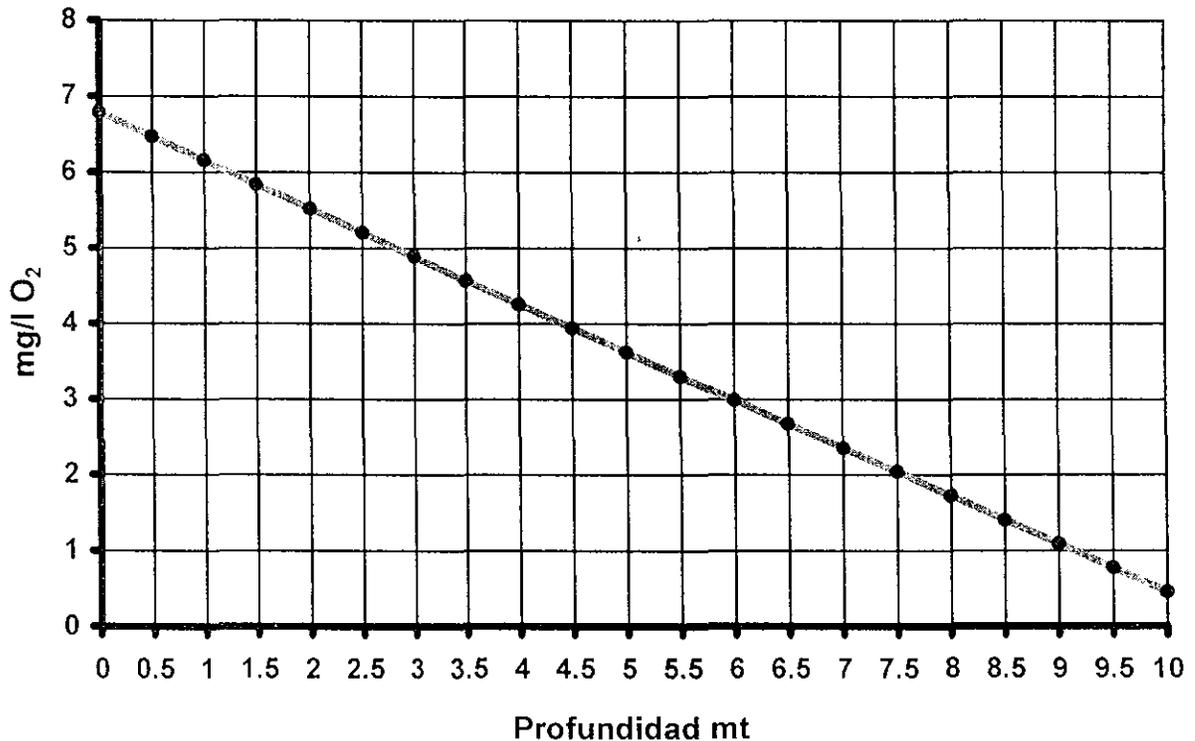
PROFUNDIDAD mt	ESTACION							
	9	10	11	12	13	14	15	16
0.0	6.42	6.50	6.90	5.99	6.41	5.33	6.48	5.14
1.0	6.39	5.82	6.03	5.86	5.96	4.82	5.21	4.74
2.0	6.22	5.74	5.83	5.60	4.15	4.0		4.73
3.0	6.18	5.71	2.15	5.15				0.71
4.0	6.16	5.50						
5.0	1.26	1.40						
6.0								

	PROFUNDIDAD mt					
	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
X	6.68	6.29	6.09	4.69	5.70	2.66
SD	0.83	0.59	0.52	1.92	0.43	1.56
X+ SD	7.52	6.89	6.62	6.61	6.13	4.23
X-SD	5.85	5.69	5.56	2.77	5.26	1.10
n	16	14	14	12	7	4

X= MEDIA ARITMETICA
 SD= DESVIACION ESTANDAR
 n= NUMERO DE DATOS

Aplicando un análisis de correlación y regresión lineal simple a los datos de concentración de oxígeno disuelto en función de la profundidad se obtienen los siguientes valores de la ecuación de la recta $Y = a + b(x)$: $a = 6.7938$; $b = -0.6336$; $r = -0.5996$; $n = 74$, aplicando dichos valores se obtiene la estimación teórica del perfil de oxígeno disuelto para el muestreo 4, los resultados se presentan en la gráfica 5.

Gráfica 5. Perfil teórico de Oxígeno Disuelto, muestreo 4



La relación matemática proporcional de disminución de concentración de oxígeno disuelto en función de la profundidad es de 0.63 mg/O₂/mt.

La evaluación de oxígeno disuelto y la concentración promedio en la columna de agua realizada en el muestreo 5 en cada una de las estaciones de muestreo se presenta en la tabla 48.

Tabla 48. Concentración promedio de Oxígeno Disuelto, muestreo 5

PROFUNDIDAD mt	ESTACION							
	1	2	3	4	5	6	7	8
0.0	7.92	8.81	7.19	7.76	9.66	7.81	8.36	7.45
1.0	7.85	6.91	6.72	6.88	7.51	6.84	7.13	7.11
2.0	6.45	6.50	6.60	6.69	5.99	6.70	6.62	5.88
3.0	6.39	6.40	6.56	4.80	5.57	2.45	6.56	2.10
4.0	2.60	1.33	6.53		5.17		6.40	
5.0			3.10					
6.0								

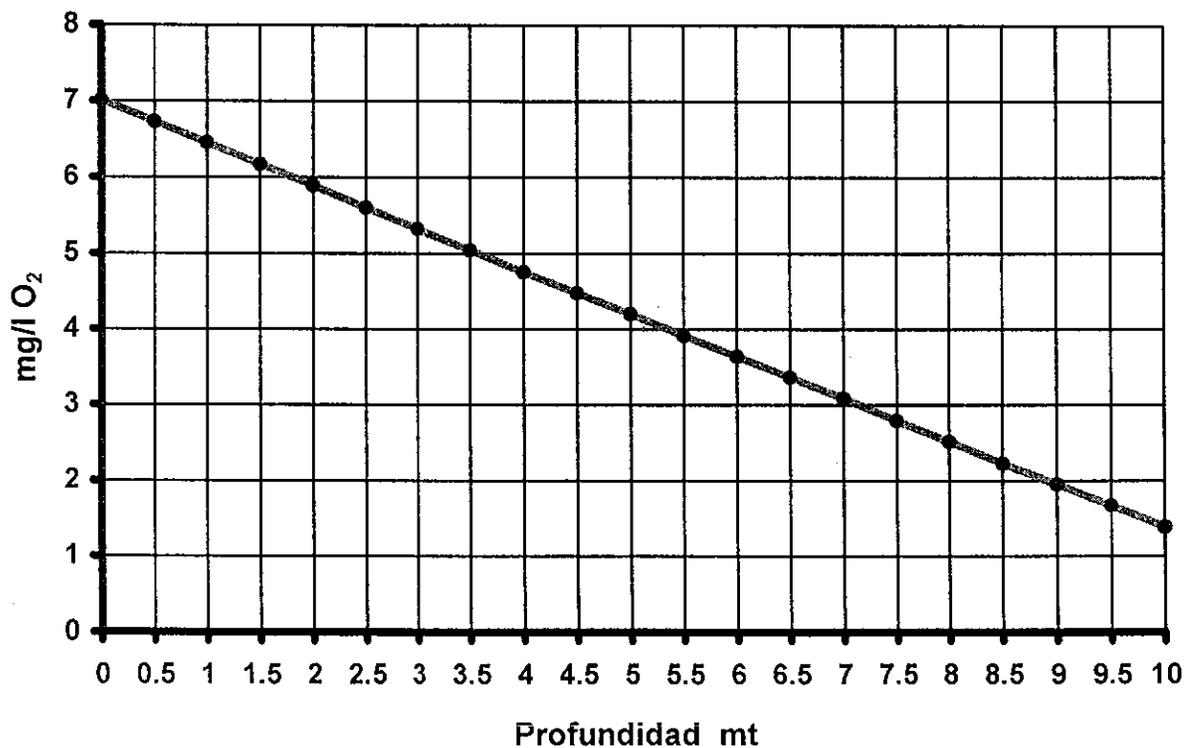
PROFUNDIDAD mt	ESTACION							
	9	10	11	12	13	14	15	16
0.0	7.77	7.38	11.40	7.10	6.96	6.20	5.65	0.37
1.0	6.89	6.73	6.65	6.20	5.90	5.30	4.79	0.36
2.0	6.79	6.60	6.50	6.21	4.98			0.35
3.0	6.66	6.60	5.90					
4.0	6.60	6.54						
5.0	5.12	3.31						
6.0								

	PROFUNDIDAD mt					
	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
X	7.36	6.40	5.97	6.19	5.56	3.84
SD	2.29	1.80	1.79	0.66	1.97	1.11
X+ SD	9.65	8.21	7.76	6.85	7.54	4.95
X-SD	5.06	4.60	4.18	5.53	3.58	1.11
n	16	14	12	8	4	3

X= MEDIA ARITMETICA
 SD= DESVIACION ESTANDAR
 n= NUMERO DE DATOS

Aplicando un análisis de correlación y regresión lineal simple a los datos de concentración de oxígeno disuelto en función de la profundidad se obtienen los siguientes valores de la ecuación de la recta $Y = a + b(x)$: $a = 7.0142$; $b = -0.5620$; $r = -0.3761$; $n = 67$, aplicando dichos valores se obtiene la estimación teórica del perfil de oxígeno disuelto para el muestreo 5, los resultados se presentan en la gráfica 6.

Gráfica 6. Perfil teórico de Oxígeno Disuelto, muestreo 5

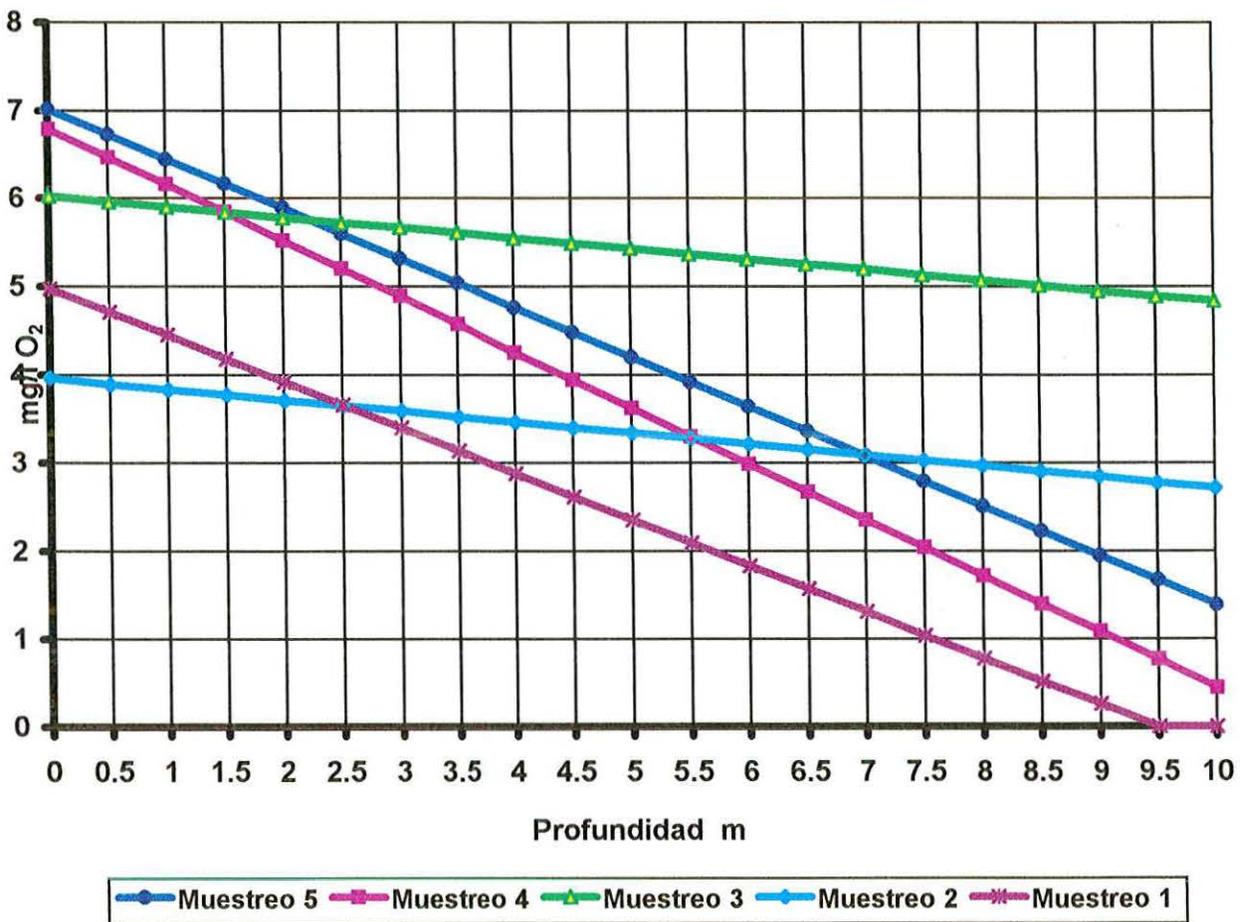


La relación matemática proporcional de disminución de concentración de oxígeno disuelto en función de la profundidad es de 0.56 mg/O₂/mt.

La dinámica de oxígeno disuelto estimada por correlación y regresión lineal simple en los cinco muestreos se comparan en la gráfica 7.

Se aprecia como en los muestreos 2 y 3 existe una distribución homogénea y relativamente alta en la columna de agua de oxígeno disuelto, mientras que en los muestreos 1, 4 y 5 se presenta ya procesos de estratificación y de concentración en función de la profundidad.

Gráfica 7. Perfil teórico de Oxígeno Disuelto



El enriquecimiento de nutrientes en lagos y presas origina su eutroficación, que puede manifestarse en diferentes formas: exceso de algas o macrofitas, reducción en la concentración de oxígeno disuelto, cambios en la población de peces y olor y sabor en el agua, entre otras. Estas manifestaciones afectan los usos que se hacen del cuerpo de agua y consecuentemente su importancia económica.

El buen funcionamiento de un ecosistema acuático se revela a simple vista por el aspecto del agua, si no lleva sólidos en suspensión y mediante un examen en el laboratorio, un equilibrio entre los gases disueltos: el O_2 y el CO_2 que señalan el adecuado balance entre fotosíntesis y respiración. Las aguas bien oxigenadas permiten un buen desarrollo de la fauna acuática. En términos de limnología este sería un lago oligotrófico.

Cuando existe exceso de materia orgánica que contenga nutrientes, se produce una proliferación de microorganismos anaerobios. Los precipitados inertes al depositarse modifican las dinámicas metabólicas de los organismos del fondo. Dentro de estos materiales se incluyen arcillas o arenas provenientes de la erosión de rocas materiales provenientes de minas o de operaciones en canteras, de lavados de carbón, de los desechos de los aserraderos, o precipitados insolubles así como compuestos provenientes de la industria química.

Dentro de los organismos vulnerables se incluyen los que constituyen una fuente importante de alimento para los peces, como son larvas de insectos y caracoles, huevos de peces, algas que viven en el fondo (diatomeas) y otros organismos. En los peces, también se pueden causar daños físicos a las delicadas membranas de los ojos y de las agallas.

Los materiales en suspensión y colorantes reducen la penetración de la luz, limitan la fotosíntesis y por lo tanto la productividad biológica. También se interfiere en la visión de los peces y otros organismos, por lo que reducen la eficiencia de la utilización de los alimentos.

La falta de oxígeno causa la muerte de muchos organismos. La materia orgánica requiere oxígeno para su degradación, por lo que el aumento de esta contribuye a la muerte de los organismos al agotar la disponibilidad de oxígeno disuelto libre en el cuerpo de agua. Algunas especies pueden sobrevivir durante un corto periodo a las concentraciones mínimas de OD. Las variaciones de temperatura influyen en la

concentración de OD, cuando este es abatido puede ser mortal para las especies, a este valor se le llama OD "Crítico".

A medida que la concentración de OD se aproxima a su valor crítico, el tiempo de supervivencia se aproxima a cero. Los valores absolutos para obtener una respuesta varían con cada especie y con otros factores. El límite encontrado como mínimo permisible para mantener una población sana de peces durante todo el año, es de 5 mg de O₂/litro. También las concentraciones bajas de oxígeno aumentan la toxicidad de ciertas sustancias químicas (Margalef, 1984).

En el lago de Chapala se presentan importantes dinámicas productivas, el nivel productor principal siempre está representado por la fotosíntesis que hace la vegetación desde el microscópico fitoplancton, hasta varias clases de plantas tanto bentónicas como flotantes.

El plancton del lago, tanto el productor que hace fotosíntesis como el consumidor, que no la produce, presenta variaciones de lugar y de profundidad (estratificación), así como también en las distintas estaciones del año y en la secuencia del tiempo en que se han realizado los muestreos, ya que la contaminación en sus tres aspectos, física, química y biológica, que sufre el lago, van modificando la composición en especies de esta microflora y micro fauna (Guzmán, 1992).

El lago de Chapala presenta concentraciones de oxígeno disuelto aceptables durante todas las estaciones del año en el nivel superficial, y es importante señalar que en todo el estudio no se encontraron condiciones de anoxia en el fondo del lago, lo cual podría responder a una elevada producción de oxígeno por parte de la abundancia de organismos planctónicos y a una adecuada oxigenación del lago por condiciones hidrometeorológicas.

7.2 Cálculo del Índice de Calidad del Agua (ICA)

El aumento en los niveles de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas ha generado la necesidad de cuantificar y evaluar la calidad de los cuerpos de agua. Por otra parte, debido a las diferencias de interpretación entre los encargados de tomar decisiones, los expertos en el tema y del público en general, existe un esfuerzo creciente para desarrollar un sistema indicador que agrupe los parámetros contaminantes más representativos dentro de un marco de referencia unificado.

El Índice de Calidad del Agua (ICA), como forma de agrupación simplifica algunos parámetros, indicadores de un deterioro en calidad del agua, es una manera de comunicar y evaluar la calidad de los cuerpos de agua. Sin embargo, para que dicho índice sea práctico debe reducir la enorme cantidad de parámetros a una forma más simple y durante el proceso de simplificación algo de información se sacrifica. Por otro lado si el diseño del ICA es adecuado, el valor obtenido puede ser representativo e indicativo del nivel de contaminación y comparable con otros para enmarcar rangos y detectar tendencias (León, 1997).

El Índice de Calidad del Agua (WQI) Water Quality Index de la National Sanitation Foundation, U.S.A., 1970. Donde la selección de los parámetros, curvas de calidad y pesos se llevan a cabo por el método DELPHI, desarrollado con personas expertos en calidad del agua. Se han desarrollado algunos otros métodos como el Índice de Janardan y Schaeffer (1975) y el Índice de Neweron (1977).

El promedio de la evaluación del Índice de Calidad del Agua (ICA) que se obtuvo para los muestreo, (excluyéndose del promedio la estación 16 río Lerma), se presentan los resultados en la tabla 49.

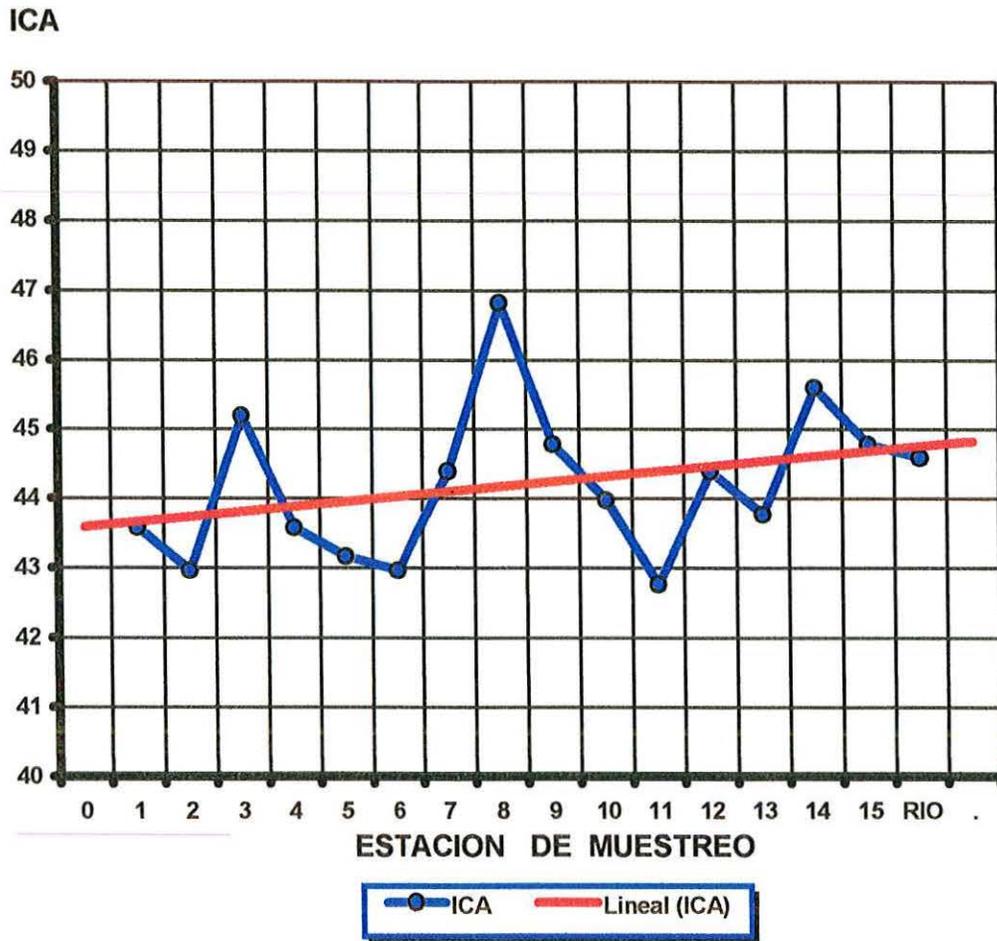
Tabla 49. Valores promedio de la evaluación de Índices de Calidad del Agua, en los 5 muestreos

Índice de Calidad del Agua ICA				
Septiembre 1996	Octubre 1996	Diciembre 1996	Febrero 1997	Junio 1997
44.14	43.25	45.95	43.91	44.57
(+) 1.15	(+) 1.63	(+) 1.58	(+) 2.65	(+) 4.02

Se observa como en el muestreo 1 y 2 la calidad del agua presenta serias deficiencias de Oeste a Este, mientras que en el muestreo 3,4 y 5 la calidad del agua es mucho mas aceptable siguiendo la dirección de Oeste a Este, debido principalmente a la carga contaminante que ingresa al lago y que tiene un área de influencia limitada en la masa de agua del lago de Chapala, debido a menores procesos de mezclado, dilución y/o aportes fluviales que impacten en zonas alejadas de la desembocadura del río Lerma.

En las siguientes gráficas se presentan los promedios obtenidos de los 5 muestreos en el calculo de los Índices de Calidad del Agua.

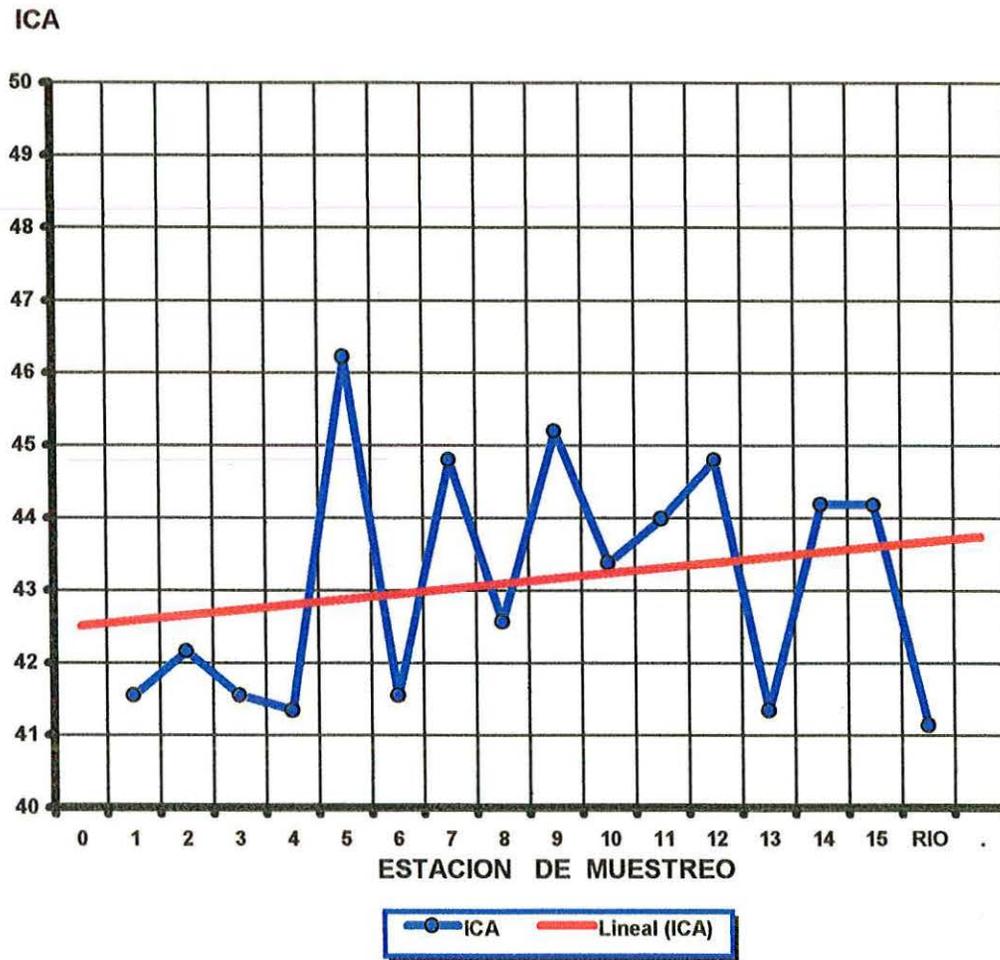
Gráfica 8. Índice de Calidad del Agua, muestreo 1



Índice de Calidad del Agua ICA.

Estación	ICA	Estación	ICA
1	43.58	9	44.79
2	42.97	10	43.98
3	45.20	11	42.77
4	43.58	12	44.39
5	43.17	13	43.78
6	42.97	14	45.60
7	44.39	15	44.79
8	46.82	Río	44.59

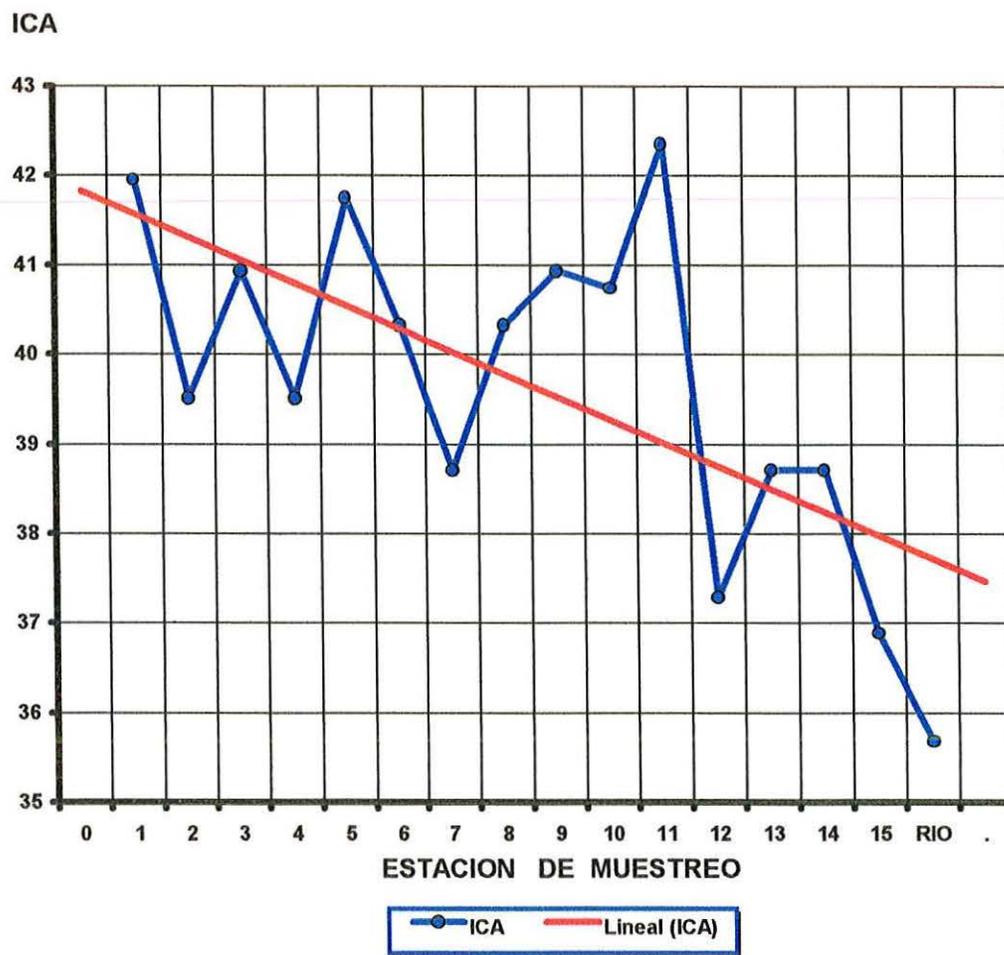
Gráfica 9. Índice de Calidad del Agua, muestreo 2



Índice de Calidad del Agua ICA.

Estación	ICA	Estación	ICA
1	41.55	9	45.20
2	42.16	10	43.38
3	41.55	11	43.99
4	41.35	12	44.80
5	46.22	13	41.35
6	41.55	14	44.19
7	44.80	15	44.18
8	42.57	Río	41.14

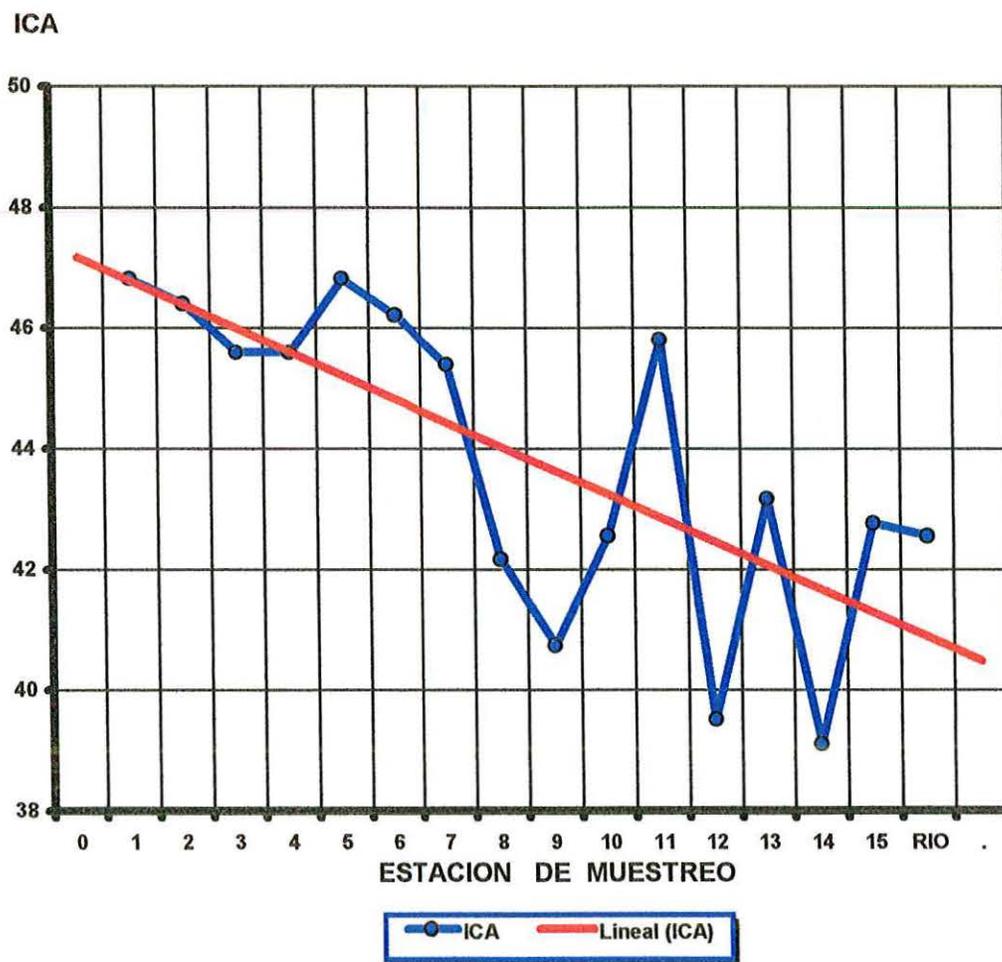
Gráfica 10. Índice de Calidad del Agua, muestreo 3



Índice de Calidad del Agua ICA.

Estación	ICA	Estación	ICA
1	47.43	9	47.02
2	45.60	10	46.82
3	47.02	11	48.44
4	45.60	12	43.37
5	47.83	13	44.79
6	46.41	14	44.79
7	44.79	15	42.97
8	46.41	Río	41.75

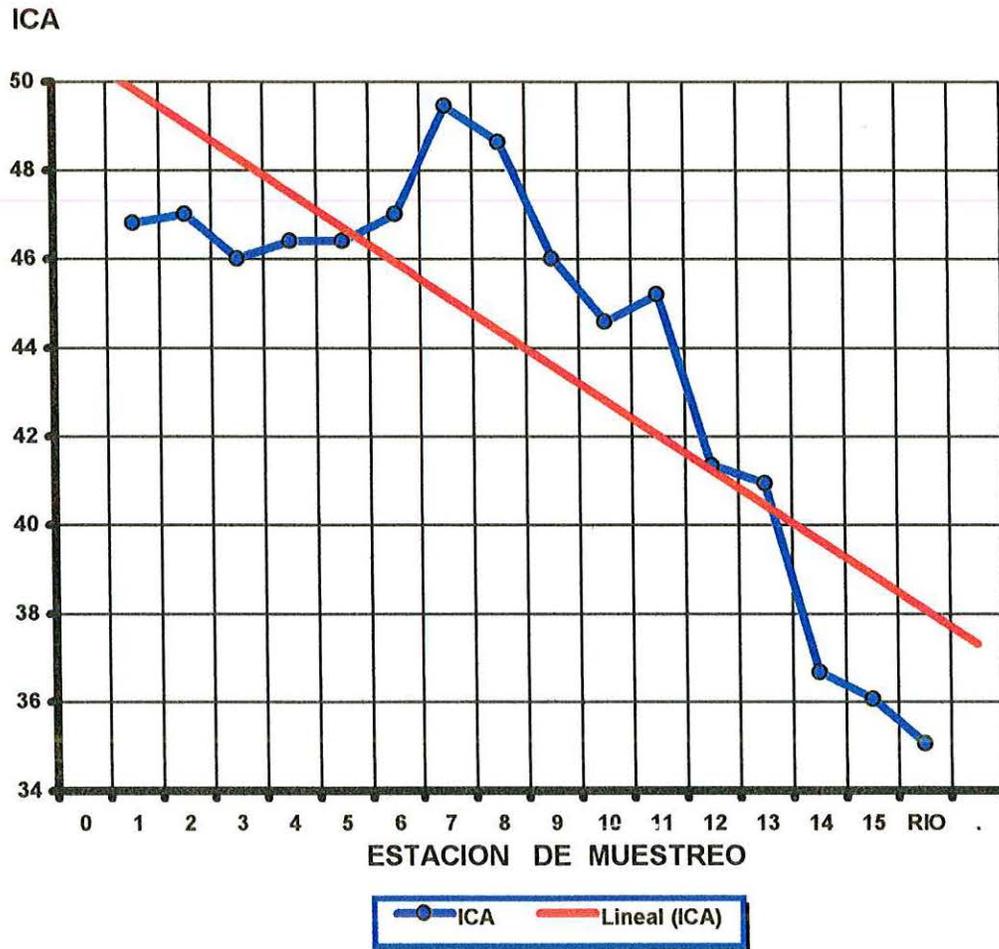
Gráfica 11. Índice de Calidad del Agua, muestreo 4



Índice de Calidad del Agua ICA

Estación	ICA	Estación	ICA
1	46.82	9	40.74
2	46.41	10	42.56
3	45.60	11	45.81
4	45.60	12	39.52
5	46.82	13	43.17
6	46.21	14	39.12
7	45.40	15	42.77
8	42.16	Río	42.56

Gráfica 12. Índice de Calidad del Agua, muestreo 5



Indice de Calidad del Agua ICA

Estación	ICA	Estación	ICA
1	46.82	9	46.01
2	47.02	10	44.59
3	46.01	11	45.20
4	46.41	12	41.35
5	46.41	13	40.94
6	47.02	14	36.68
7	49.45	15	36.08
8	48.64	Río	35.06

Los valores obtenidos en el cálculo del ICA en esta investigación, coincide con el valor mas bajo obtenido por León en 1990, en el lago, donde el promedio menor fue de 34, y el mayor de 75, y para el presente estudio el valor mas bajo fue de 35.06 y el alto de 49.45, sin embargo es importante mencionar que las técnicas utilizadas en el cálculo del ICA son diferentes en los dos casos, esta radica básicamente en el peso otorgado a cada parámetro y la inclusión o exclusión de alguno de ellos.

Utilizando la gráfica de criterios generales presentada por León en 1990, con los resultados de los ICA obtenidos en este trabajo, las condiciones de la calidad del agua del lago presenta serias deficiencias, ya que pasaría de inaceptable para consumo a dudoso para consumo (uso: agua potable), lo que significa en la escala de calidad del agua, como excesiva contaminación y fuerte contaminación, respectivamente.

7.3 Correlación entre parámetros y factores evaluados (ICA-diversidad)

Ryding y Rast , 1992, en experimentos han demostrado el importante papel del fósforo y el nitrógeno en la dinámica de las poblaciones de algas, tanto lo que respecta a las concentraciones de algas como a la composición de las distintas especies. Recientemente se ha comprobado experimentalmente en un lago en Canadá la importancia del papel de los nutrientes. Así limitar la entrada de estos "macronutrientes" supone la primera opción para controlar la eutroficación.

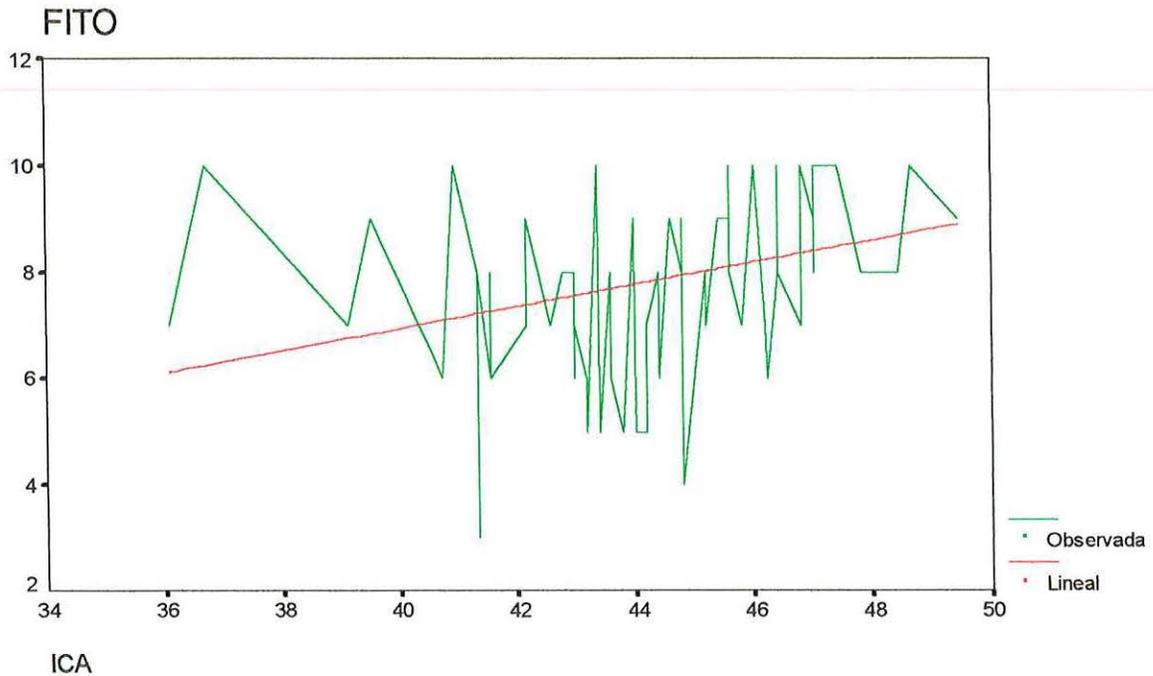
Barnes y Mann, 1980, mencionan como el clima puede influir en la productividad de un lago, al afectar la entrada anual de energía y agua, la hidrología del área de captación, la velocidad de desagüe y el transporte de nutrientes y sedimentos a la masa de agua. Los tipos y modelos climáticos pueden ser distintos en función de la localización (latitud, longitud) y la altitud. El clima puede afectar sucesivamente a la temperatura anual del agua, la duración de la estación de crecimiento, la dirección y velocidad de los vientos, la cantidad de precipitaciones y la estructura térmica de la masa de agua. La disponibilidad de energía solar es un factor muy importante para controlar la producción de fitoplancton durante la estación de crecimiento.

Uttormark, 1979, identificó que el factor o nutriente limitante al crecimiento algal es fundamental para las etapas subsecuentes de preservación o restauración de cuerpos interiores de agua. En la mayoría de lagos y presas estudiados el fósforo o el nitrógeno han mostrado ser los nutrientes limitantes.

Sin embargo, Dávalos y Doyle, 1989, determinaron en experimentos de laboratorio los factores limitantes en la producción de fitoplancton en el lago de Chapala, encontraron que el crecimiento o aumento de fitoplancton no es gobernado por algún nutriente, sino por las condiciones de alta turbidez en el mismo, es decir, el factor limitante es la iluminación.

Con base en el análisis de la correlación entre los valores del ICA y la frecuencia en la aparición de 10 géneros de fitoplancton, (Anexo 3) en las 16 estaciones, durante los 5 muestreos, se correlacionaron 75 pares de datos donde se obtuvo una correlación positiva, con una $r=0.314$, significativa al 0.01, entre estas dos variables. Los resultados muestran una pequeña tendencia, es decir, a mayor contaminación (valores de ICA), la diversidad disminuye. Los resultados se presentan en la gráfica 13.

Gráfica 13. Correlación ICA-Diversidad (Fitoplancton)



Bavor y Mitchell (1994), mencionan la importancia de algunos microorganismos en los ecosistemas acuáticos, específicamente aquellos que nos sirven para identificar las características de calidad o contaminación de un cuerpo de agua.

Los datos de diversidad que se tomaron para realizar la correlación con los ICA fueron identificados hasta género, es importante mencionar que dentro de un mismo género pueden existir especies que sean indicadores de calidad o ausencia de la misma en un cuerpo de agua. Por lo que la tendencia obtenida en los resultados no puede ser totalmente específica.

7.4 Limitantes de uso del agua

Con base en los resultados obtenidos en el análisis de los diferentes parámetros físico químicos, y considerando los lineamientos técnicos establecidos en la Norma oficial Mexicana: NOM-127-SSA1-1994 Y CE-CCA-001-89

Se identificaron los parámetros que exceden a los límites máximos. Los resultados se presentan en la tabla 50.

Tabla 50. Evaluación de parámetro que exceden los límites máximos permisibles, establecidos en la CE-CCA-001-89

PARÁMETRO	UNIDAD	DOMEST.	AGRÍCOLA	VIDA SILVESTRE	PECU.
Alcalinidad total	mg/l CaCO ₃	SI	---	---	---
Cloruros	mg/l	SI	SI	---	---
Color	Esc. Pt.Co.	NO	NO	---	---
Cromo hexavalente	mg/l	SI	SI	---	SI
Fósforo total	mg/l P-PO ₄	NO	NO	NO	
Nitrógeno	mg/l N-NO ₃	SI	---	---	SI
Oxígeno disuelto	mg/l	SI	---	---	---
pH	pH	NO	NO		---
S.A.A.M (Detergentes)	mg/l	SI	SI	---	---
Sólidos totales	mg/l	SI		---	---
Sólidos disueltos	ml/l	NO	NO	---	NO
Sólidos suspendidos totales	mg/l	SI	SI	---	NO
Sulfatos	mg/l SO ₄	SI	SI	---	---

Tabla 51. E valuación de parámetro que exceden los límites máximos permisibles, establecidos en la NOM-127-SSA1-1994

PARAMETRO	UNIDAD	DOMESTICO
Color	Esc. Pt.Co.	NO
Demanda quim. de oxígeno	mg/l	---
Dureza total	mg/l CaCO ₃	SI
Nitrógeno	mg/l N-NO ₃	SI
Oxígeno disuelto	mg/l	SI
pH	pH	NO
Sólidos disueltos	ml/l	SI
Sulfatos	mg/l SO ₄	SI
Turbiedad		NO

- SI: Dentro de norma
- *NO: Fuera de norma

Tabla 52. Criterios de Calidad del Agua
American Petroleum Institute

INDICADOR	UNIDAD	LIMITES PARA DISTINTOS USOS			
		Recreo	Vida acuática	Ganado y vida silvestre	Riego
Temperatura máxima	°C	35	34	35	35
Oxígeno disuelto	Mg/l	-----	1	Algo	Algo
Acidez	PH	5-9	6-9	5-9	5-9
Sólidos disueltos	Mg/l		10.000	7.000	1.000-3.000
Fosfatos	Mg/l		Beneficioso en pequeñas cantidades		Beneficioso
Nitrógeno amoniacal	Mg/l		1.5	5.000	Beneficioso
Color, olor, turbidez, sólidos en suspensión		No perceptibles notoriamente			

Tabla 53. Calidad del agua para diferentes usos
Normas U.S.A.

Calidad del agua	Recreo y estética	ABASTECIMIENTO DE AGUAS		VIDA PISICOLA Y VIDA ANIMAL LIBRE			AGRICULTURA		
		Permisible	Deseable	Organismos de aguas limpias	Vida libre	Organismos marinos esturianos	Abastecimiento de aguas para granjas	Animales	Riegos
Color		75	< 10						
Temperatura	< 29°C	< 29°C	< 29°C	28-35°C					13-29°C
Alcalinidad p.p.m.		30-500	30-500		35-200	35-200			
Cloruros p.p.m.		250	25						
O. D. p.p.m.		> 3.0	Cerca de la saturación	> 4.0	Fondo aeróbico	- 4.0			
Dur. Cálctica p.p.m.		300-500	60-120						
Nitratos p.p.m.		10.0 (N) Ind. NO ₃	Virtualmente ausente						
PH	5.0-9.0	6.0-8.5		6-9	7.0-9.2	6.5-8.5	6.0-8.5		4.5-9.0
Sulfatos p.p.m.		250	50						
STD p.p.m.		500	200						
Turbidez p.p.m.			Virtualmente ausente	10-50					

Tabla 54. Reglamento técnico-sanitario sobre la calidad de las aguas potables
España

	ORIENTADORES DE CALIDAD (1)	TOLERABLES (2)
Olor y sabor	Sin olores ni sabores	Ligero olor y/o sabor
Color	Hasta 10 mg/l	Hasta 10 mg/l
Turbidez	Hasta 10 UNT	Hasta 5 UNT
PH	7-8	6.5-9.5
Conductividad	400 mg/l	Hasta mineralización del agua
Cloruros	25 mg/l	350 mg/l
Sulfatos	25 mg/l	400 mg/l
Dureza cálcica	100 mg/l	200 mg/l
Dureza magnésica	30 mg/l	50 mg/l
Dureza total	130 mg/l	---
Nitratos	25 mg/l	50 mg/l
Nitritos	Ausencia	0.1 mg/l
Fósforo	170 µg/l	2.150 µg/l
Ortofosfatos	400 µg/l	5.000 µg/l

De acuerdo a estos límites máximos permisibles o Normas Oficiales, que establecen algunas Instituciones, o bien algunos países, los parámetros en los que no se cumple, son en general los sólidos, y algunos otros parámetros que tienen relación directa con los mismos, como el color y la turbidez.

7.4.1 Toxicidad de elementos

Los resultados de la evaluación teórica y toxicidad de elementos, se presenta en el anexo 4.

Es importante señalar que en este apartado se mencionan las características de algunos parámetros que se evaluaron en esta investigación, con énfasis en los posibles efectos a la salud humana y al ambiente. Esta recopilación se realizó con la finalidad de mostrar de manera específica las características de los elementos analizados, según diversos autores.

7.5 Mapas de distribución de ICA y Diversidad

Es importante mencionar que los valores obtenidos en el cálculo del ICA, fueron tomados en rangos de 1-1 para que la distribución de los colores en los mapas se identificara con mayor precisión logrando exponer las zonas de mayor riesgo para las poblaciones ribereñas.

Por otro lado los mapas donde se muestra la distribución de la diversidad de fitoplancton, nos orientan acerca de las zonas que mayor producción de microorganismos se presenta a lo largo del lago, durante el ciclo anual de estudio.

Se observa como en la mayoría de las fechas de muestreo particularmente la zona de entrada del río Lerma, que según el cálculo de ICA es también la zona más contaminada, es donde menos diversidad fitoplanctónica se detectó, esto reafirma la correlación encontrada al analizar ICA-Diversidad, que puede ser de gran importancia para las comunidades de microorganismos que habitan en el lago de Chapala.

Los resultados se presentan en el anexo 5.

7.6 Análisis Estadístico

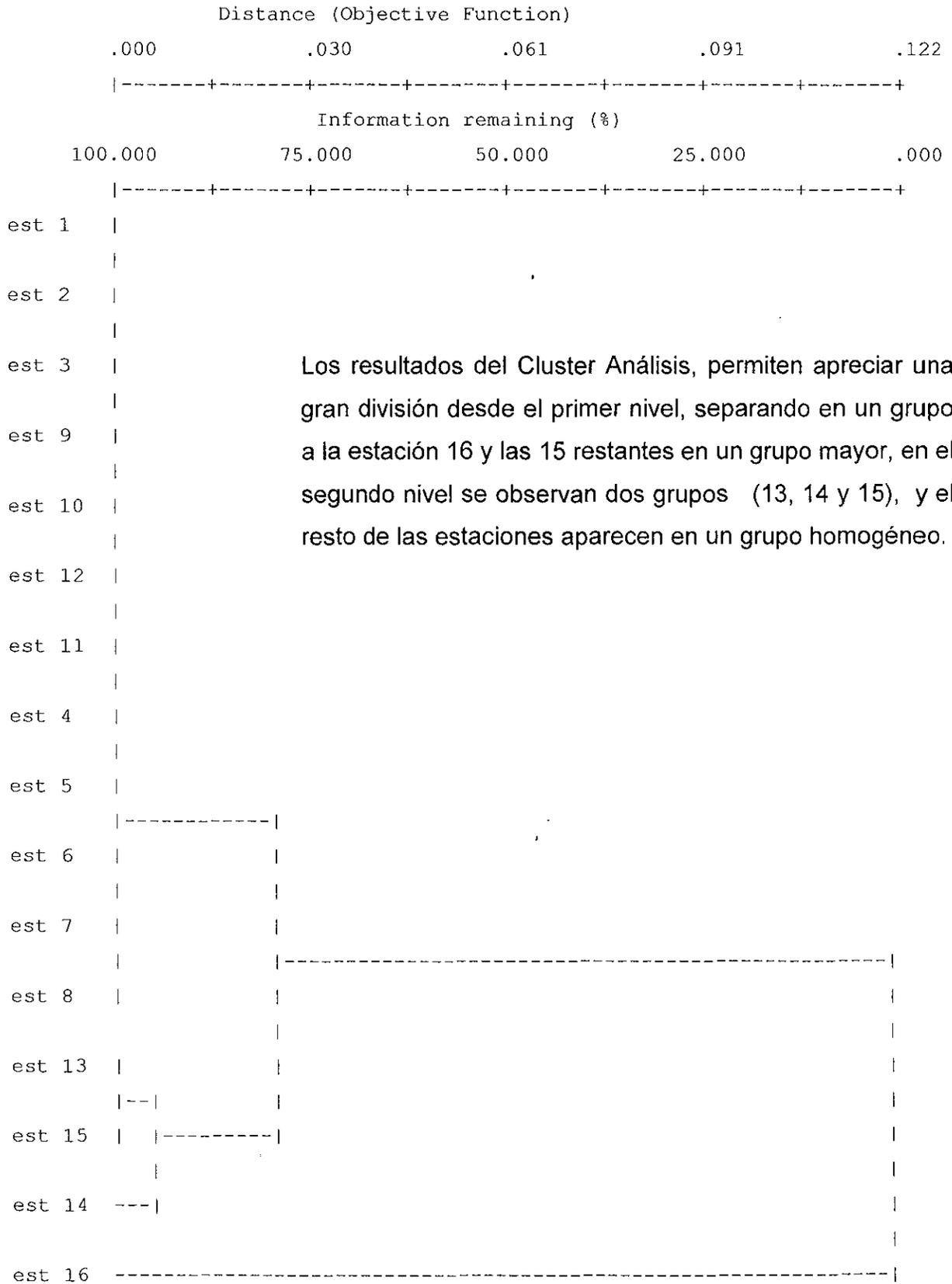
7.6.1 Cluster Análisis

Este procedimiento estadístico que identifica grupos homogéneos o conglomerados de casos en función de los valores de un conjunto de variables, el dendograma es una representación visual de los pasos de una solución de conglomerados jerárquica que muestra los conglomerados combinados y los valores de los coeficientes de distancia en cada paso. Los pasos agrupados se indican mediante líneas verticales conectadas entre sí. El dendograma no muestra las distancias reales, sino que les aplica un cambio de escala para que sus valores estén comprendidos entre 0 y 25. Así se conserva la proporción entre las distancias de un paso a otro. La escala que aparece en la parte superior de la figura corresponde a estas distancias reescaladas.

Los resultados del Cluster Análisis se presentan en las siguientes figuras:

Figura 9.

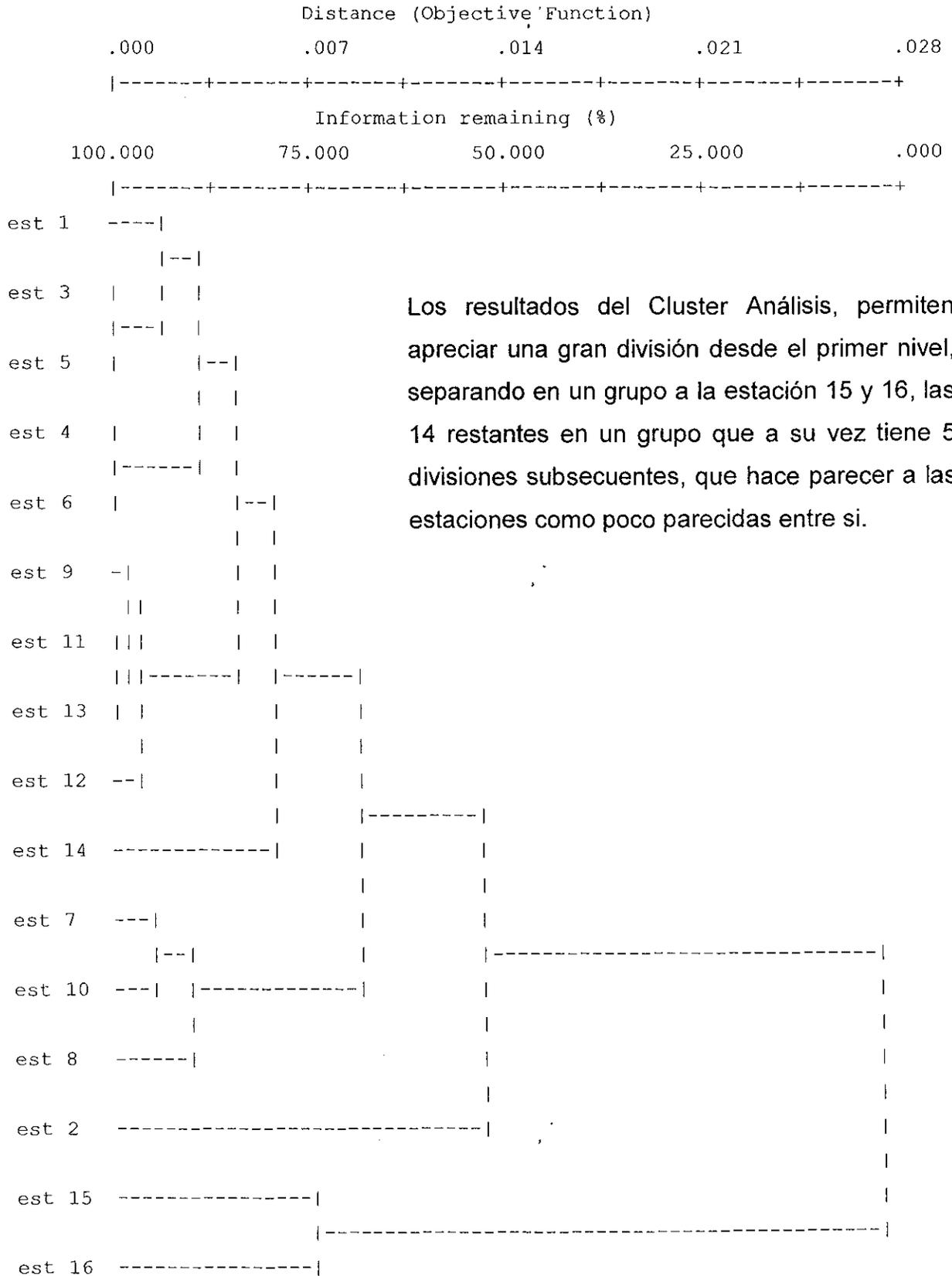
Muestreo 1



Los resultados del Cluster Análisis, permiten apreciar una gran división desde el primer nivel, separando en un grupo a la estación 16 y las 15 restantes en un grupo mayor, en el segundo nivel se observan dos grupos (13, 14 y 15), y el resto de las estaciones aparecen en un grupo homogéneo.

Figura 10.

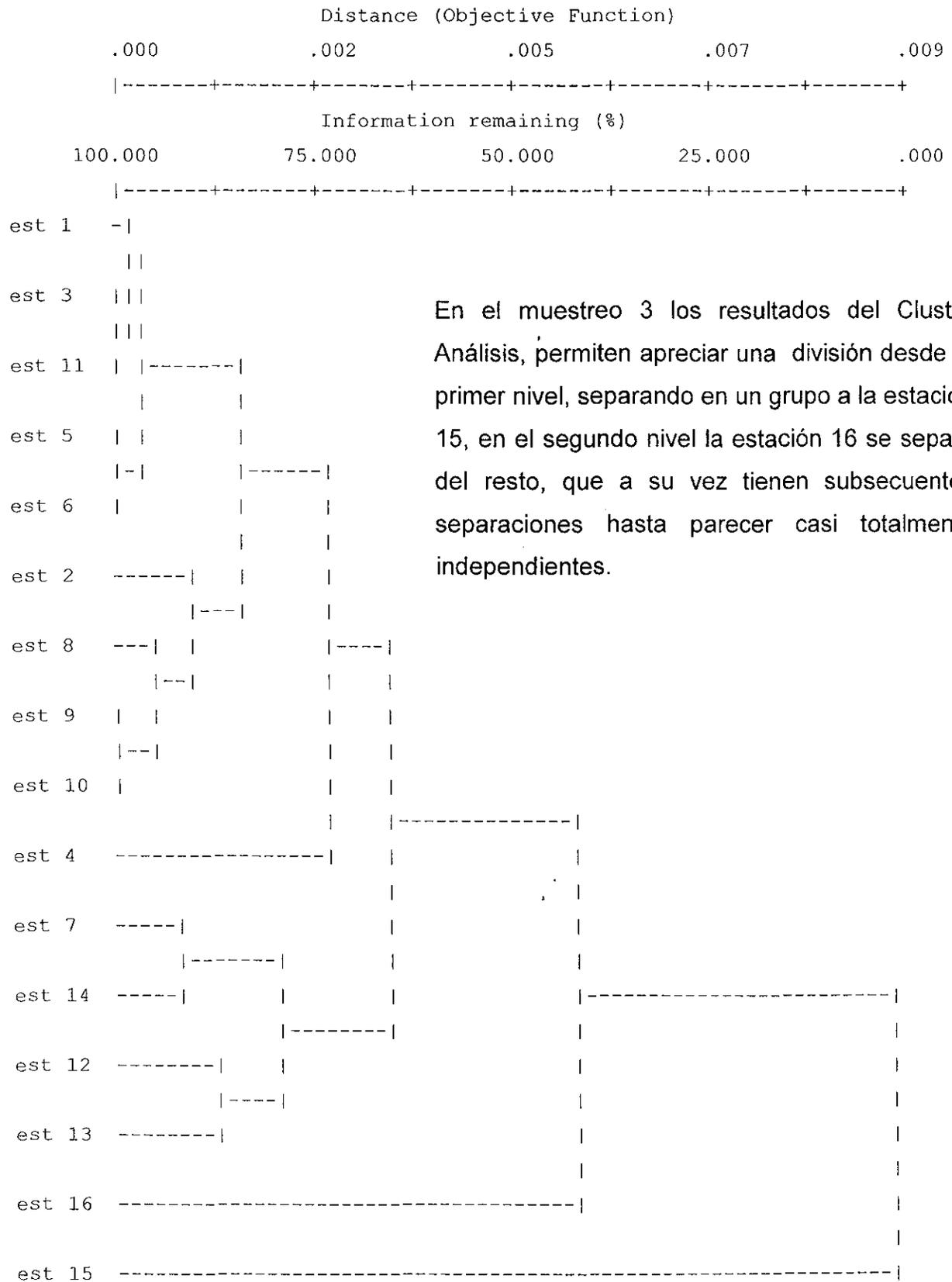
Muestreo 2



Los resultados del Cluster Análisis, permiten apreciar una gran división desde el primer nivel, separando en un grupo a la estación 15 y 16, las 14 restantes en un grupo que a su vez tiene 5 divisiones subsecuentes, que hace parecer a las estaciones como poco parecidas entre si.

Figura 11.

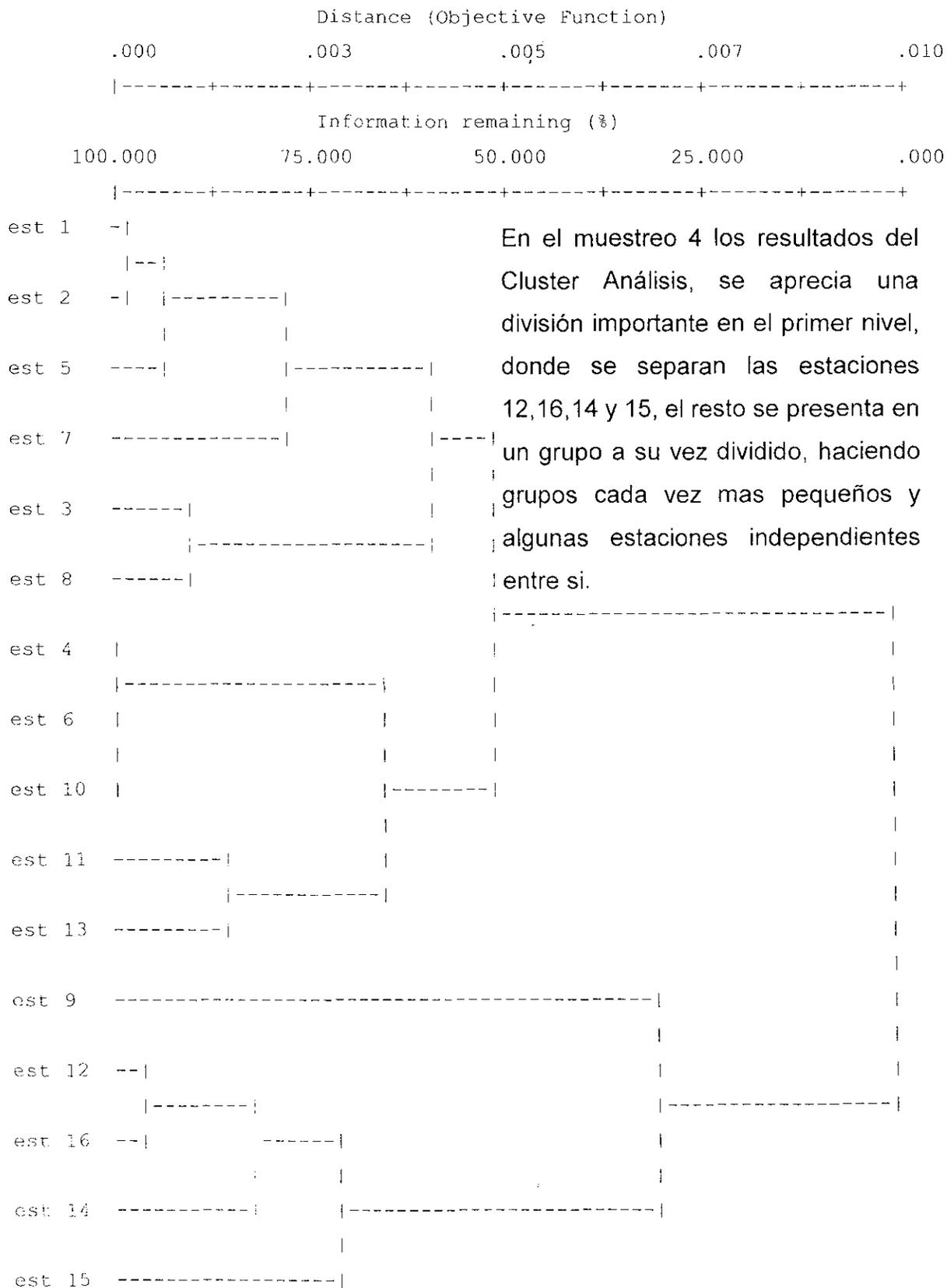
Muestreo 3



En el muestreo 3 los resultados del Cluster Análisis, permiten apreciar una división desde el primer nivel, separando en un grupo a la estación 15, en el segundo nivel la estación 16 se separa del resto, que a su vez tienen subsecuentes separaciones hasta parecer casi totalmente independientes.

Figura 12.

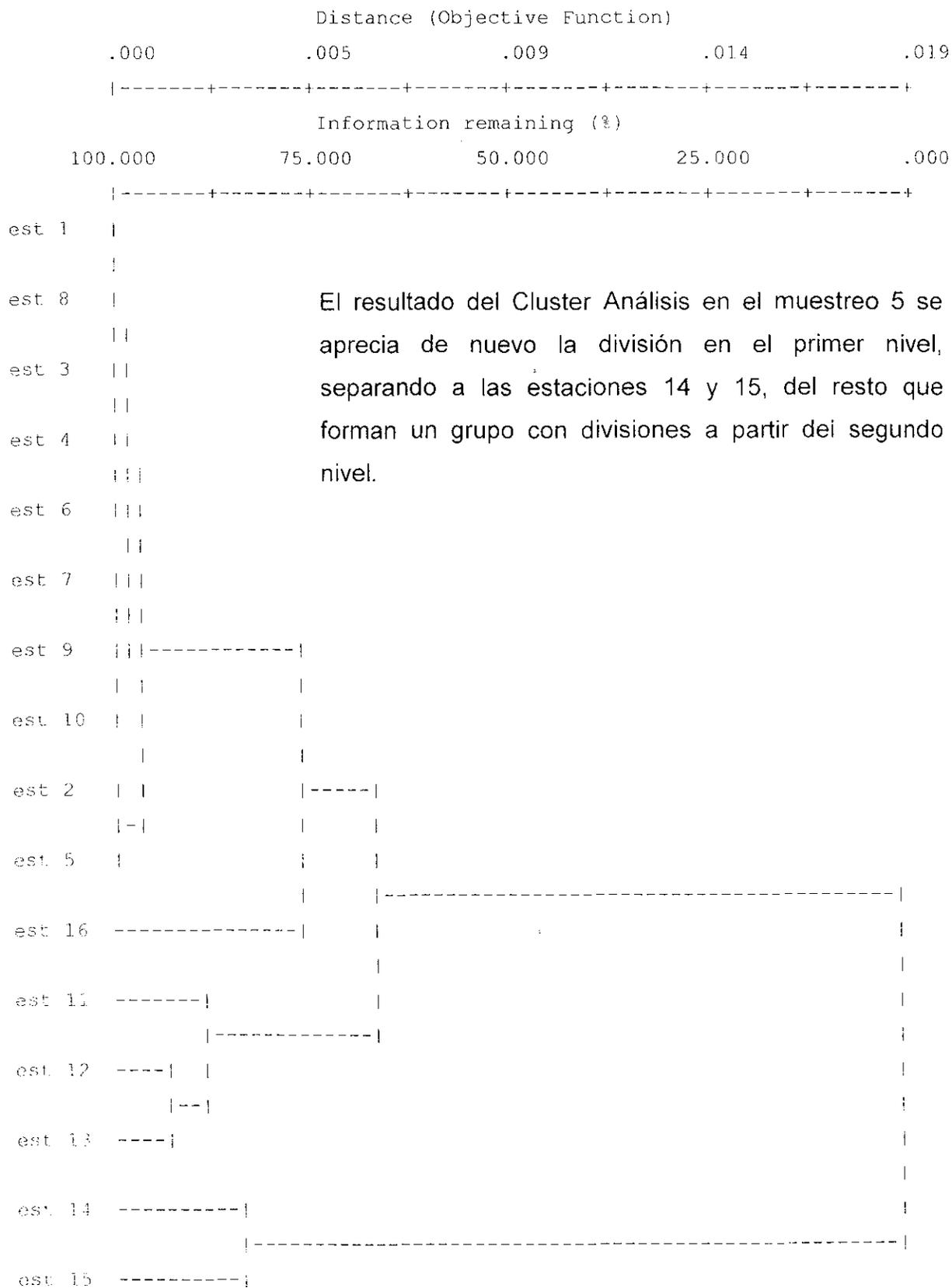
Muestreo 4



En el muestreo 4 los resultados del Cluster Análisis, se aprecia una división importante en el primer nivel, donde se separan las estaciones 12,16,14 y 15, el resto se presenta en un grupo a su vez dividido, haciendo grupos cada vez mas pequeños y algunas estaciones independientes entre si.

Figura 13.

Muestreo 5



El resultado del Cluster Análisis en el muestreo 5 se aprecia de nuevo la división en el primer nivel, separando a las estaciones 14 y 15, del resto que forman un grupo con divisiones a partir del segundo nivel.

La separación o en su caso el agrupamiento de los sitios de muestreo que se presenta en las figuras, esta determinado en su totalidad por la concentración de los parámetros evaluados, los parámetros que presentaron concentraciones mas parecidas entre si, son los que determinan el agrupamiento o separación de los sitios de muestreo en la representación gráfica (figuras).

7.6.2 Ordenación Bray y Curtis

Es importante señalar que por lo menos para el caso del lago de Chapala, no existen trabajos, en que se utilice el análisis multivariable como herramienta, a pesar de tratarse de un lago que ha sido estudiado bajo distintos enfoques y con diferentes y con diferentes objetivos y de que las técnicas multivariadas han demostrado ser herramientas efectivas en el análisis de datos ecológicos (Beals, 1984).

El resultado de las ordenaciones por fecha se presenta a continuación:

Ordenación Muestreo 1

La ordenación de B y C mostró que las variables consideradas explican el 98.99% de la variación total de los datos de las estaciones de muestreo. El eje 1 explicó el 70.44%, el eje 2 explicó el 23.99%, mientras que el eje 3 explicó el 4.56%. Tabla 55.

El eje 1 muestra correlaciones altas con color, dureza magnésica, ortofosfatos, sólidos suspendidos totales y sólidos totales totales ($r= 0.31$, $r= 0.37$, $r=-0.37$, $r=0.34$, $r=0.32$, $p<0.05$) respectivamente. Tabla 56.

Los diagramas de ordenación (Figuras 14 y 15) evidencian que el eje 1 es el que mayormente influye en la dispersión de los datos de las estaciones de muestreo, en estos se puede apreciar que las estaciones 15 y 6 correlacionaron positivamente con el eje 1 y es en este donde los valores de las variables color, dureza magnésica, sólidos suspendidos totales, y sólidos totales totales, son más altos. Mientras que la estación 13 se ubica del lado izquierdo de la gráfica donde las variables sólidos suspendidos totales, y sólidos totales totales, obtuvieron sus valores más bajos en este sitio.

El eje 2 muestra correlaciones altas con sólidos suspendidos totales, sólidos totales totales, temperatura y turbiedad secchi ($r= 0.54$, $r=0.49$, $r=0.59$, $r=-0.82$, $r= -0.34$, $p<0.05$) respectivamente. Tabla 56.

El diagrama de ordenación muestra que el eje 2 tiene menor influencia sobre la dispersión de los datos, en este se observa una correlación positiva con la estación 4 de muestreo, donde los valores de las variables sólidos suspendidos totales, sólidos totales totales son más altos. Mientras que las estaciones 11 tuvieron correlación negativa, donde los valores de las variables sólidos suspendidos totales, sólidos totales totales son más bajos.

Tabla 55. Porcentaje explicado por ejes en ByC, muestreo 1

	EJE 1	EJE 2	EJE 3	ACUMULADO
MUESTREO 1	70.44%	23.99%	4.56%	98.99%

Tabla 56. Correlación entre parámetros y ejes de ordenación, muestreo 1

PARAMETRO	EJE 1 (r)	EJE 2 (r)	EJE 3 (r)
ALCFEN	0.08204539	-0.28232022	0.14115393
ALCTOT	0.24338722	-0.04097696	0.53928202
CLORUR	0.2297373	-0.05666783	0.5280583
COLOR	0.31349724	0.11528597	0.04262549
CONDUC	0.18177181	-0.08756198	0.56708567
DQO	0.10855712	-0.11978015	0.40310143
DURCAL	0.23502726	0.04079964	0.50701716
DURMAG	0.37466673	0.05947374	0.13176574
DURTOT	0.22189271	-0.01949973	0.5129262
ORTO	-0.37733031	0.06190536	0.3092086
FOSTOT	0.27323826	-0.20691334	0.12102206
NITRAT	0	0	0
NITRIT	0	0	0
OD	0.25004727	0.12785505	0.22437064
PH	0.20792208	0.02065142	0.4720696
SAAM	0	0	0
SDT	0.1223995	0.16198984	-0.23013592
SSD	0	0	0
SST	0.34745656	0.5489297	-0.0029493
STT	0.32119794	0.49009879	-0.12935355
SULFA	0.09917729	0.2123919	-0.2987261
TEMP	-0.15269572	-0.82212065	0.08636051
TURBIE	-0.15878141	-0.16008332	0.22877546
SECCHI	0.10399645	-0.3403984	0.60555688

Figura 14. Exposición gráfica correlación con ejes, muestreo1

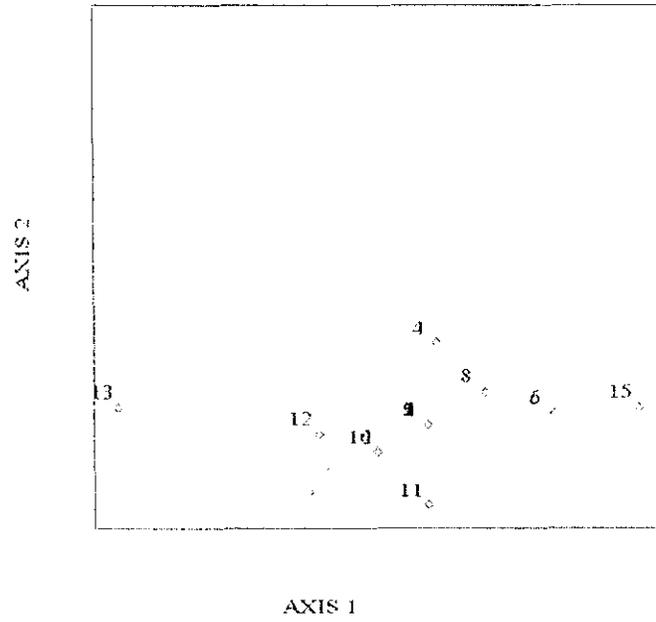
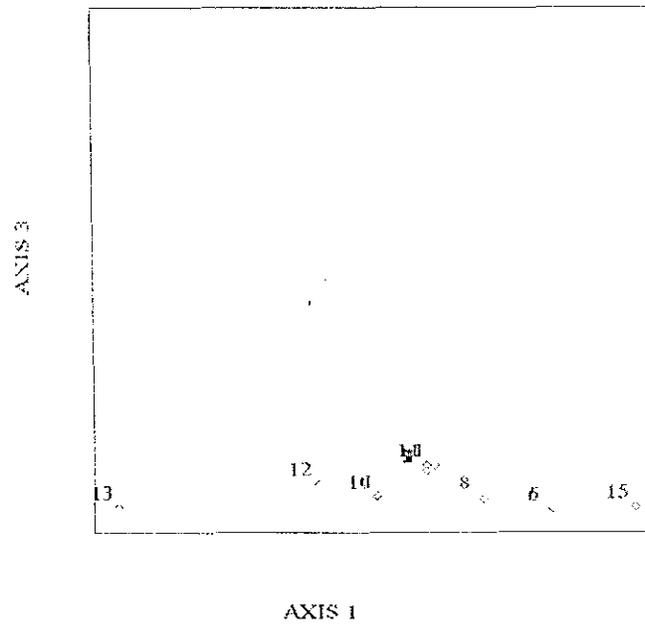


Figura 15. Exposición gráfica correlación con ejes, muestreo1



Ordenación Muestreo 2

La ordenación de B y C mostró que las variables consideradas explican el 95.75% de la variación total de los datos de las estaciones de muestreo. El eje 1 explicó el 73.65%, el eje 2 explicó el 16.87%, mientras que el eje 3 explicó el 5.31%. Tabla 57.

El eje 1 muestra correlaciones altas con alcalinidad a la fenolftaleína, fósforo total, nitratos, pH, sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos totales, sólidos totales totales y sulfatos ($r = -0.71$, $r = -0.47$, $r = -0.63$, $r = -0.36$, $r = -0.41$, $r = -0.35$, $r = -0.45$ y $r = 0.34$, $p < 0.05$) respectivamente. Tabla 58.

Los diagramas de ordenación (Figuras 16 y 17) evidencian que el eje 1 es el que mayormente influye en la dispersión de los datos de las estaciones de muestreo, en estos se puede apreciar que las estaciones 14, 6, 3 y 2 correlacionaron positivamente con el eje 1 y es en este donde los valores de alcalinidad a la fenolftaleína, fósforo total, nitratos, pH, sólidos suspendidos totales, sólidos totales totales y sulfatos son más bajos. Mientras que la estación 13 se ubica del lado izquierdo de la gráfica y es en este sitio donde las variables alcalinidad a la fenolftaleína, fósforo total, nitratos y pH, obtuvieron sus valores más altos.

El eje 2 muestra correlaciones altas con alcalinidad a la fenolftaleína, cloruros, conductividad, dureza calcica, dureza magnésica, dureza total, fósforo total, nitratos, sólidos disueltos totales, sólidos totales totales, sulfatos, temperatura y turbiedad secchi ($r = -0.34$, $r = 0.70$, $r = 0.59$, $r = 0.64$, $r = 0.42$, $r = 0.55$, $r = -0.30$, $r = -0.38$, $r = -0.31$, $r = -0.34$, $r = 0.45$, $r = 0.63$ y $r = 0.49$, $p < 0.05$) respectivamente. Tabla 58.

El diagrama de ordenación muestra que el eje 2 tiene menor influencia sobre la dispersión de los datos, en este se observa una correlación positiva con la estación 1 de muestreo, donde los valores de las variables cloruros, conductividad, dureza cálcica, dureza total, sulfatos, temperatura y turbiedad secchi son mas altos. Mientras que las estaciones 12 y 15 tuvieron correlación negativa, mismas donde los valores de las

variables conductividad, dureza cálcica, dureza magnésica, dureza total y turbiedad secchi son mas bajos.

Tabla 57. Porcentaje explicado por ejes en ByC, muestreo 2

	EJE 1	EJE 2	EJE 3	ACUMULADO
MUESTREO 2	73.65%	16.87%	5.31%	95.75%

Tabla 58. Correlación entre parámetros y ejes de ordenación, muestreo 2

PARAMETRO	EJE 1 (r)	EJE 2 (r)	EJE 3 (r)
ALCFEN	-0.71197844	-0.34607945	0.11703494
ALCTOT	-0.19908538	0.28242565	0.00783461
CLORUR	0.09701662	0.70571568	0.0955652
COLOR	0.1832517	0.18075733	-0.23025656
CONDOC	-0.03908526	0.59950663	0.11271336
DQO	0.02076017	-0.17626352	0.24360781
DURCAL	0.01882826	0.64549342	-0.06882091
DURMAG	-0.02137754	0.42291818	0.05872369
DURTOT	-0.00141474	0.5588754	0.01489304
ORTO	0.09590834	-0.13110359	-0.30534665
FOTOT	-0.47202294	-0.3072905	0.10491104
NITRAT	-0.62821653	-0.38976288	-0.04064865
NITRIT	0	0	0
OD	-0.07617684	-0.23716278	-0.05908031
PH	-0.35936098	0.14117376	-0.09548089
SAAM	0	0	0
SDT	-0.41330422	-0.31332665	-0.11354267
SSD	0	0	0
SST	-0.35491112	-0.24552454	-0.19056422
STT	-0.45443462	-0.34053547	-0.14054963
SULFA	0.34468445	0.4589681	0.41509182
TEMP	0.24208128	0.63802824	0.20569959
TURBIE	0.18312473	0.24407738	-0.03320666
SECCHI	-0.15244158	0.49089893	0.41798262

Figura 16. Exposición gráfica correlación con ejes, muestreo 2

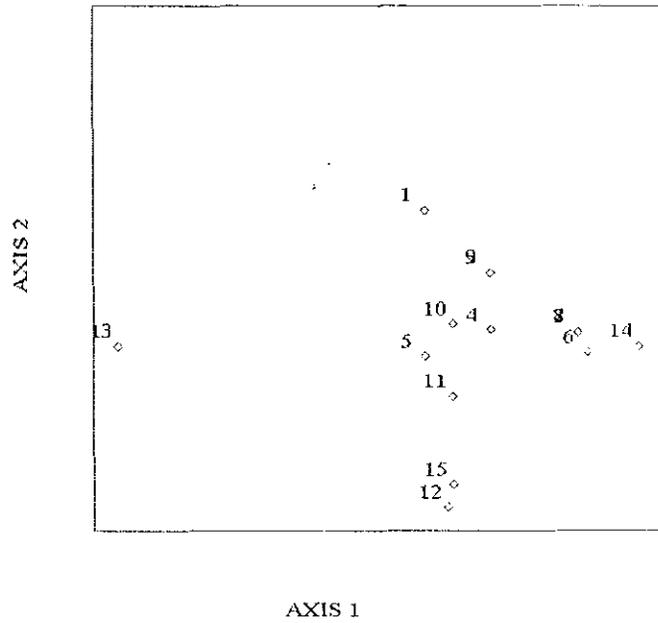
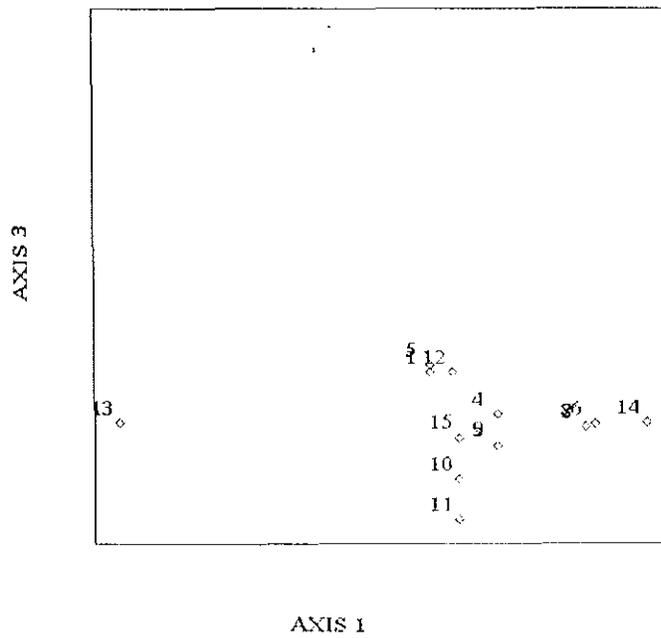


Figura 17. Exposición gráfica correlación con ejes, muestreo 2



Ordenación Muestreo 3

La ordenación de B y C mostró que las variables consideradas explican el 91.91% de la variación total de los datos de las estaciones de muestreo. El eje 1 explicó el 69.22%, el eje 2 explicó el 18.67%, mientras que el eje 3 explicó el 4.02%. Tabla 59.

El eje 1 muestra correlaciones altas con alcalinidad a la fenolftaleína, alcalinidad total, cloruros, color, conductividad, nitratos, oxígeno disuelto, pH, sólidos suspendidos totales, turbiedad y turbiedad secchi ($r= 0.56$, $r=0.77$, $r=0.54$, $r=-0.44$, $r=0.66$, $r=-0.37$, $r=0.45$, $r=0.77$, $r=0.29$, $r=-0.40$ y $r=0.42$ $p<0.05$) respectivamente. Tabla 60.

Los diagramas de ordenación (Figuras 18 y 19) evidencian que el eje 1 es el que mayormente influye en la dispersión de los datos de las estaciones de muestreo, en estos se puede apreciar que la estación 13 correlaciona positivamente con el eje 1 y es en este donde los valores de variables alcalinidad a la fenolftaleína, alcalinidad total, cloruros, conductividad, oxígeno disuelto, pH, sólidos suspendidos totales y turbiedad secchi, son más altos. Mientras que la estación 15 se ubica del lado izquierdo de la gráfica lo que representa que las variables alcalinidad a la fenolftaleína, alcalinidad total, cloruros, conductividad, oxígeno disuelto, pH, sólidos suspendidos totales y turbiedad secchi, obtuvieron sus valores más bajos en este sitio.

El eje 2 muestra correlaciones altas con alcalinidad a la fenolftaleína, oxígeno disuelto, sulfatos, temperatura y turbiedad secchi ($r= -0.39$, $r= -0.41$, $r= 0.42$, $r= -0.38$, $r= -0.41$, $p<0.05$) respectivamente. Tabla 60.

El diagrama de ordenación muestra que el eje 2 tiene menor influencia sobre la dispersión de los datos, en este se observa una correlación positiva con la estación 8 de muestreo, donde los valores de la variable sulfatos tiene el valor mas alto. Mientras que las estaciones 9 y 11 tuvieron correlación negativa, misma donde los valores de las variables alcalinidad a la fenolftaleína, oxígeno disuelto, temperatura y turbiedad secchi tuvieron los valores mas altos.

Tabla 59. Porcentaje explicado por ejes en ByC, muestreo 3

	EJE 1	EJE 2	EJE 3	ACUMULADO
MUESTREO 3	70.44 %	18.67%	4.02%	91.91%

Tabla 60. Correlación entre parámetros y ejes de ordenación, muestreo 3

PARAMETRO	EJE 1 (r)	EJE 2 (r)	EJE 3 (r)
ALCFEN	0.56813715	-0.39452182	0.3164253
ALCTOT	0.77045406	-0.10224979	0.03039981
CLORUR	0.54247919	-0.14728481	-0.12798254
COLOR	-0.4447486	0.11731292	-0.25552131
CONDUC	0.66903524	-0.06197539	0.09465577
DQO	-0.10394329	-0.26209403	-0.01601716
DURCAL	0.28428321	0.2268345	-0.05702747
DURMAG	0.02236297	0.14940485	0.54145991
DURTOT	0.27627004	0.3202829	0.35890074
ORTO	0.10468573	-0.05193473	-0.04834154
FOSTOT	0.16447076	0.17152991	-0.12730759
NITRAT	-0.37941753	0.27383222	0.14362371
NITRIT	0	0	0
OD	0.4581371	-0.41245153	0.26339034
PH	0.77347293	-0.21769401	0.01774593
SAAM	0	0	0
SDT	0.06738772	0.10975483	-0.26030052
SSD	0	0	0
SST	0.29950292	-0.35154026	0.17061164
STT	0.13433587	0.03772932	-0.24672315
SULFA	0.21038213	0.42904997	0.06624628
TEMP	0.14827266	-0.38503587	-0.12566061
TURBIE	-0.40149392	0.12727279	-0.28978626
SECCHI	0.42407635	-0.4105931	0.01313084

Figura 18. Exposición gráfica correlación con ejes, muestreo 3

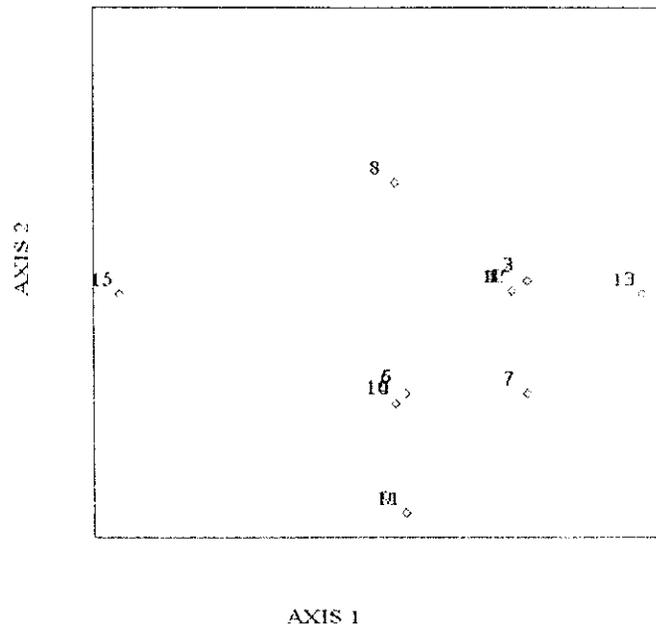
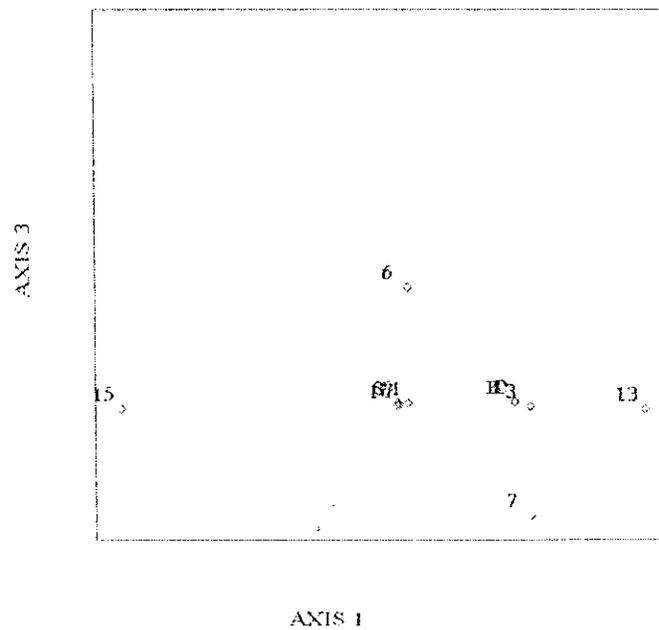


Figura 19. Exposición gráfica correlación con ejes, muestreo 3



Ordenación Muestreo 4

La ordenación de B y C mostró que las variables consideradas explican el 92.50% de la variación total de los datos de las estaciones de muestreo. El eje 1 explicó el 70.44%, el eje 2 explicó el 17.90%, mientras que el eje 3 explicó el 4.17%. Tabla 61.

El eje 1 muestra correlaciones altas con dureza total, nitratos, pH y sólidos disueltos totales ($r=-0.38$, $r=-0.37$, $r=0.48$, y $r=-0.31$, $p<0.05$) respectivamente. Tabla 62.

Los diagramas de ordenación (Figuras 20 y 21) evidencian que el eje 1 es el que mayormente influye en la dispersión de los datos de las estaciones de muestreo, en estos se puede apreciar que la estación 13 correlaciona positivamente con el eje 1 y es en este donde los valores de la variable pH es más altos. Mientras que la estación 14 se ubica del lado izquierdo de la gráfica lo que representa que las variables dureza total, nitratos y sólidos disueltos totales obtuvieron sus valores más altos en este sitio.

El eje 2 muestra correlaciones altas con cloruros, conductividad, dureza cálcica, dureza total, nitritos, sulfatos y temperatura ($r= -0.41$, $r= 0.47$, $r= 0.52$, $r= 0.41$, $r= 0.30$, $r= -0.52$ y $r= -0.49$, $p<0.05$) respectivamente. Tabla 62.

El diagrama de ordenación muestra que el eje 2 tiene menor influencia sobre la dispersión de los datos, en este se observa una correlación positiva con las estaciones 3,4 y 8 de muestreo, donde los valores de las variables dureza cálcica, dureza total, nitritos, son mas altos. Mientras que las estaciones 1 y 10 tuvieron correlación negativa, misma donde los valores de las variables dureza total, nitritos, son mas bajas.

Tabla 61. Porcentaje explicado por ejes en ByC, muestreo 4

	EJE 1	EJE 2	EJE 3	ACUMULADO
MUESTREO 4	70.44%	17.90%	4.17%	92.50%

Tabla 62. Correlación entre parámetros y ejes de ordenación, muestreo 4

PARAMETRO	EJE 1 (r)	EJE 2 (r)	EJE 3 (r)
ALCFEN	-0.16022962	0.23566689	0.17166241
ALCTOT	-0.27281379	0.22821207	0.15092865
CLORUR	-0.18153085	-0.41043184	-0.43768247
COLOR	-0.05416564	-0.18820866	-0.50647782
CONDUC	-0.23681033	0.47457227	0.10723923
DQO	0.04692023	0.16457099	0.22743937
DURCAL	-0.29527054	0.5235889	-0.00573345
DURMAG	-0.26709306	0.13351712	-0.12421243
DURTOT	-0.38319156	0.41853474	-0.09876832
ORTO	-0.18166037	-0.05425235	-0.18313448
FOSTOT	-0.26577041	-0.22623927	0.12295456
NITRAT	-0.3755673	-0.09403897	-0.06148282
NITRIT	-0.07490707	0.3078675	0.00493279
OD	0.09990147	0.16031248	0.30463204
PH	0.48740176	-0.3255453	0.1210839
SAAM	0	0	0
SDT	-0.31525675	-0.05345121	-0.17420961
SSD	0	0	0
SST	-0.12775812	-0.10946644	-0.19221875
STT	-0.28509005	-0.0929143	-0.22357325
SULFA	0.03632049	-0.52812334	-0.00132107
TEMP	-0.17353834	-0.49853402	0.01020267
TURBIE	-0.03814006	-0.16285353	-0.46059182
SECCHI	0.07199712	0.07362115	-0.0734442

Figura 20. Exposición gráfica correlación con ejes, muestreo 4

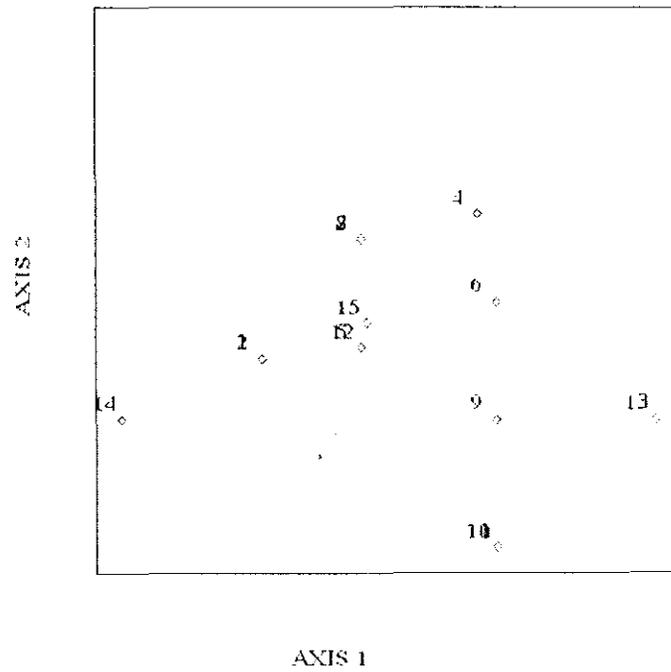
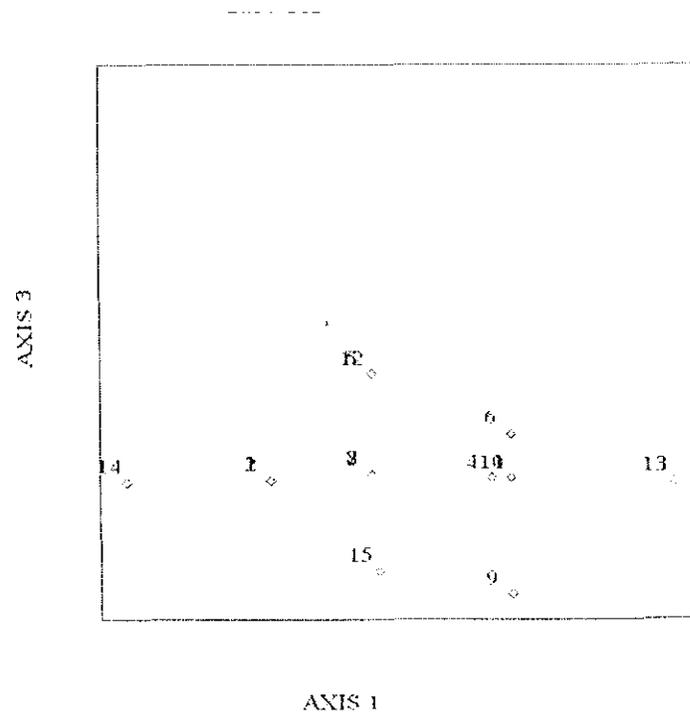


Figura 21. Exposición gráfica correlación con ejes, muestreo 4



Ordenación Muestreo 5

La ordenación de B y C mostró que las variables consideradas explican el 98.99% de la variación total de los datos de las estaciones de muestreo. El eje 1 explicó el 70.44%, el eje 2 explicó el 23.99%, mientras que el eje 3 explicó el 4.56%. Tabla 63.

El eje 1 muestra correlaciones altas con cloruros, conductividad, dureza total, ortofosfatos, fósforo total, nitratos, nitritos, oxígeno disuelto, sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos totales, sólidos totales totales, sulfatos y turbiedad ($r=-0.47$, $r=-0.88$, $r=-0.65$, $r=0.30$, $r=-0.59$, $r=0.36$, $r=-0.41$, $r=0.40$, $r=-0.63$, $r=-0.39$, $r=-0.47$ $r=0.45$ y $r=-0.46$, $p<0.05$) respectivamente. Tabla 64.

Los diagramas de ordenación (Figuras 22 y 23) evidencian que el eje 1 es el que mayormente influye en la dispersión de los datos de las estaciones de muestreo, en estos se puede apreciar que la estación 12 correlaciona positivamente con el eje 1 y es en este donde los valores de las variables ortofosfatos, nitritos, oxígeno disuelto y sulfatos son más altos. Mientras que la estación 15 se ubica del lado izquierdo de la gráfica lo que representa que las variables cloruros, conductividad, dureza total, fósforo total, nitratos, sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos totales, sólidos totales totales y turbiedad obtuvieron sus valores más altos en este sitio.

El eje 2 muestra correlaciones altas con alcalinidad a la fenolftaleína, alcalinidad total, demanda química de oxígeno, dureza cálcica, dureza magnésica, dureza total, ortofosfatos, nitratos, oxígeno disuelto, pH, temperatura y turbiedad secchi ($r=0.56$, $r=0.41$, $r=-0.46$, $r=0.45$, $r=0.30$, $r=0.72$ $r=0.60$, $r=0.59$, $r=-0.69$, $r=-0.66$, $r=0.53$, $r=-0.80$ y $r=0.31$, $p<0.05$) respectivamente. Tabla 64.

El diagrama de ordenación muestra que el eje 2 tiene menor influencia sobre la dispersión de los datos, en este se observa una correlación positiva con la estación 10 de muestreo, donde los valores de las variables alcalinidad a la fenolftaleína, alcalinidad total, dureza cálcica, dureza magnésica, dureza total, ortofosfatos, pH, temperatura y

turbiedad secchi, son mas altos.. Mientras que la estación 11 tuvo correlación negativa, misma donde los valores de las variables demanda química de oxígeno, nitratos y oxígeno disuelto son más bajos.

Tabla 63. Porcentaje explicado por ejes en ByC, muestreo 5

	EJE 1	EJE 2	EJE 3	ACUMULADO
MUESTREO 5	70.44%	23.99%	4.56%	98.99%

Tabla 64. Correlación entre parámetros y ejes de ordenación, muestreo 5

PARAMETRO	EJE 1 (r)	EJE 2 (r)	EJE 3 (r)
ALCFEN	0.12907562	0.5619473	-0.18836208
ALCTOT	-0.64012085	0.4170279	-0.07693709
CLORUR	-0.47477865	-0.17204736	-0.16350527
COLOR	-0.49436	-0.10045434	-0.1490382
CONDOC	-0.88803586	-0.03049073	0.04474918
DQO	-0.15189548	-0.46316214	-0.2536633
DURCAL	-0.7908196	0.45265361	0.15943012
DURMAG	-0.35954761	0.72555638	0.10076249
DURTOT	-0.65439305	0.60683652	0.14456307
ORTO	0.30873155	0.59921546	0.72647901
FOSTOT	-0.59526478	0.07619127	-0.01429936
NITRAT	0.3618182	-0.69177537	-0.75809186
NITRIT	-0.41224562	0.06699307	0.02185146
OD	0.40137173	-0.66158678	-0.10048666
PH	0.09448751	0.53577841	-0.14184444
SAAM	0	0	0
SDT	-0.63204788	0.08045044	-0.14053587
SSD	0	0	0
SST	-0.39508161	-0.14029938	-0.11545667
STT	-0.47032234	-0.07087397	-0.15759217
SULFA	0.45836887	0.04874194	-0.22131699
TEMP	0.29840405	-0.80450317	-0.40895838
TURBIE	-0.46124964	-0.12511246	-0.16058721
SECCHI	0.22082306	0.31216448	0.22597294

Figura 22. Exposición gráfica correlación con ejes, muestreo 5

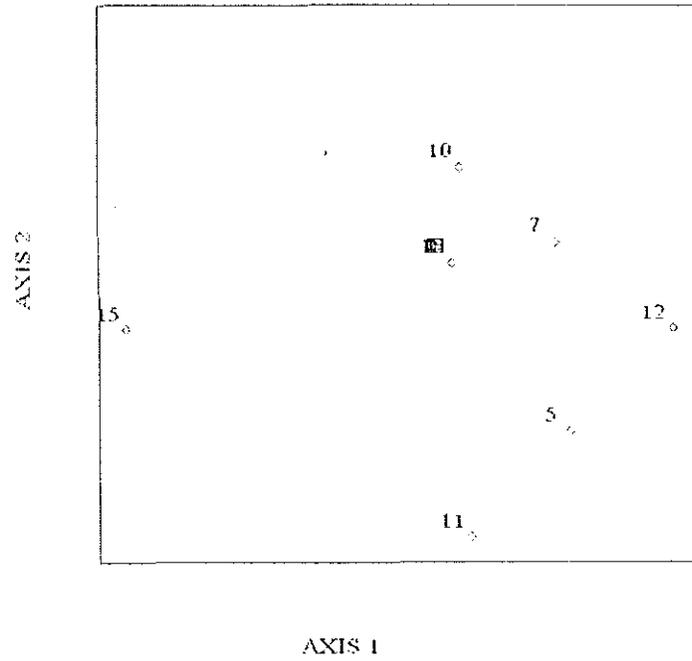
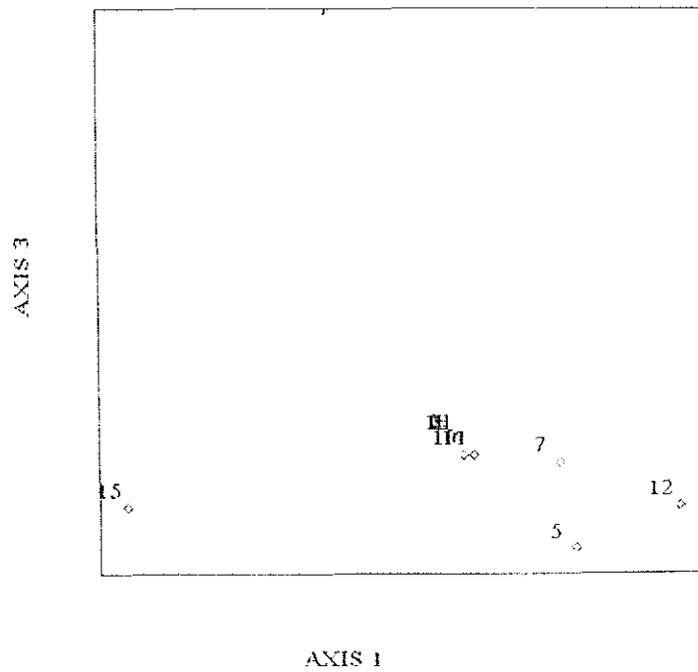


Figura 23. Exposición gráfica correlación con ejes, muestreo 5



El resultado de la Ordenación de Bray y Curtis, determina la importancia del eje 1, que a lo largo de los 5 muestreos presenta mayor porcentaje en la explicación del comportamiento de los sitios de estudio o dispersión de los datos, los parámetros que correlacionaron con el eje 1 y que aparecen con mayor frecuencia a lo largo de los 5 muestreos son los siguientes:

Si la correlación del parámetro con el eje, es positiva o negativa, no demerita la importancia en el comportamiento del sitio de estudio, respecto a la matriz principal de datos, representada por la diversidad fitoplanctónica.

1. Sólidos suspendidos totales (4)*
2. Nitratos(4)
3. Sólidos disueltos totales (3)
4. Sólidos totales totales (3)
5. Oxígeno disuelto (3)
6. pH (3)
7. Color (2)
8. Ortofosfatos (2)
9. Alcalinidad a la Fenolftaleína (2)
10. Fósforo total (2)
11. Sulfatos (2)
12. Cloruros (2)
13. Conductividad (2)
14. Turbiedad (2)
15. Dureza total (2)

* Número de apariciones.

Se ha de suponer que los primeros 5 elementos mencionados arriba son que tienen mayor influencia sobre la diversidad de fitoplancton en el lago de Chapala a lo largo del ciclo de estudio.

CAPITULO VIII

CONCLUSIONES

1. Los resultados de calidad del agua muestran serias deficiencias en el lago de Chapala, además de que se presenta variabilidad estacional y espacial.
2. La realización de este estudio contribuye al seguimiento estacional de las condiciones de calidad del agua en el lago de Chapala.
3. Los valores de ICA encontrados corroboran las condiciones de calidad existentes en el lago, la aplicación de esta técnica con elementos más rigurosos que los aplicados con anterioridad, ofrecen una visión con criterios más estrictos de evaluación de la calidad del agua al lago de Chapala.
4. La representación espacial de los resultados obtenidos en el ICA, proporciona una visión objetiva de la distribución de la calidad del agua a lo largo del lago, durante el ciclo de estudio, esta representación contribuye en la interpretación y definición de las zonas de mayor riesgo o limitantes de uso para las poblaciones establecidas en la ribera del lago.
5. La representación espacial de la diversidad fitoplanctónica, contribuye al conocimiento de la distribución y abundancia durante el ciclo de estudio y su correlación con el ICA.
6. El análisis estadístico a incluido la totalidad de variables analizadas y sitios de estudio, permitiendo en su interpretación, identificar elementos de apoyo para la toma de decisiones referente a sucesivos estudios en el lago, ya que la interpretación de los resultados permite orientar sobre las variables de mayor importancia que determinan el comportamiento de un sitio (estación de muestreo) de estudio.

CAPITULO IX**BIBLIOGRAFIA**

- Adami G., P. Barbieri, S. Predonzani, E. Reisenhofer. 1997. Heavy metals in sediments of marano lagoon and their relevance on clam hatcheries - a chemometric investigation *Annali di Chimica*. 87(11-12):709-720.
- Agenda 21, Febrero de 1994.
- American Society for Testing and Materials. 1982. Manual de aguas para usos industriales. Philadelphia, Pennsylvania. Editorial Limusa.
- Ankley GT., DM. Ditoro, DJ. Hansen, WJ. Berry. 1996. Assessing the ecological risk of metals in sediments. *Environmental Toxicology & Chemistry*. 15(12):2053-2055.
- Ansola G. y E. Luis. 1994. Concentración de nutrientes en helófitos acuáticos utilizados en depuración de agua residual. *Limnetica* 10 (1): 33-36
- Barnes y Mann, 1980. Environmental indices theory and practice. AA Science, Ann Arbor. Michiga.
- Bavor H.J. y D.S. Mitchell. 1995. Wetland systems in water pollution control. *Wat. Sci. Tech.* 29 (4).
- Becker DS., TC. Ginn. 1995. Effects of storage time on toxicity of sediments from puget sound. Washington. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 14(5): 829-835.
- Berná L.N. 1990. Caracterización microbiológica del proceso de depuración de aguas residuales por lagunaje profundo. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia.
- Brito-Castillo L., A. Leyva-Contreras, VA. Shelutko. 1999. Determination of decadal climatic cycles in runoff fluctuation of a hydrologic unit. *Atmósfera*. 12(1):27-42.
- Breslin VT., SA. Sanudo-Wilhelmy. 1999. High spatial resolution sampling of metals in the sediment and water column in port jefferson harbor, New York. *Estuaries*. 22(3A):669-680.
- Bretado A.. 1989. Teoría y Técnica Para el Cálculo de Biomasa Fitoplanctónica. Instituto de Limnología, Chapala, Jalisco. U. de G.
- Bruggemann R., E. Halfon. 1997. Comparative analysis of nearshore contaminated sites in lake ontario - ranking for environmental hazard. *Journal of Environmental Science & Health, Part A: Environmental Science & Engineering & Toxic & Hazardous Substance Control*. 32(1):277-292.

- Brown R. 1970. "A Water Quality Index-Do We Dare", *Water Sewage Works* 11, pp. 339-343.
- Brylinsky y Mann, 1973. Comparison of several water quality indices. *Water pollution control Fed.* 48(5), pp. 954-958.
- Canadian Forestry Service, 1969.
- Cámara de Comercio de Guadalajara. 1986
- Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud. 1988. Evaluación epidemiológica de riesgos causados por agentes químicos ambientales. Editorial Limusa, México. D.F.
- CINC-DJ 1989
- C.N.A. 1999. Centro de Información.
- Conesa V., y V. Fernández. 1993. Guía Metodológica Para la Evaluación del Impacto Ambiental, Ediciones Mundiprensa, Madrid.
- Cruz, T.; M. E. Reyes-González; I. G. Núñez-Márquez y M. R. Mora-Navarro. 1994. Fitoplancton de la laguna de Zapotlán, Jalisco, México. División Ciencias Biológicas. U de G.
- Curso de aguas residuales, 1992. Universidad de Valencia. España.
- Dávalos, O.L. Lind, O.T. y Doyle, R.D. 1989. Evaluation of phytoplankton limiting factors in Lake Chapala, México. Turbidity and spatial and temporal variation in algal assay response, *Lake and Reservoir Manag.*
- Dávalos y Lind, 1992. Association of turbidity and organic carbon with bacterial abundance and cell size in a large, turbid, tropical lake. *Limnology and oceanography*. Vol. 36, no. 6, pp. 1200-1208.
- Desbordes M., J.C. Deutsh y A. Fréront. 1990. El agua en las ciudades. *Mundo científico* (10):752-759.
- De Anda J. Quinones-Cisneros SE. French RH. Guzman. 1998. Hydrologic balance of lake Chapala (México). *Journal of the American Water Resources Association*. 34(6):1319-1331.
- Díaz M.M., 1995. Biomonitorio en sistemas lénticos. *Zoología informa ENCB-IPN* (31):17-35.
- Dinius, S.H., 1987. "Desig of a Water Quality Index", *W.R. Bolletin*,

- Doyle, R.D. 1985. Phytoplankton productivity of tropical Lake Chapala, México. M.S. Thesis Baylor Univ. Waco, Texas.
- Eastman, J.R. 1993. IDRISI. ver. 4.1. Technical reference. Clark University-Graduate School of Geografy. 229 p.
- Gauch, H.G. 1982. Multivariate analisis in c ommunity ecology. Cambridge University Press. New York. 298 p.
- UNAM, 1995. Testimonios de Guadalajara. pp. 44-49
- McCune, B. And M.J. Mefford. 1995. PC-Ord. Multivariate Análisis of Ecological Data. Versión 2.05. MjM Software, Gleneden Beach, Oregon, U.S.A..
- Beals, E.W. 1984. Bray y Curtis ordination: an effective strategy for analisis of multivariate ecological data. *Advances in Ecological Research*. 14: 1-55
- Egeberg PK., JT. Hakedal. 1998. The effect of river liming on the trace metal budgets of a down stream lake. *Water, Air, & Soil Pollution*.
- Environmental Science & Health Part A-Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering*. 35(3):313-325.
- Esparza M.L., 1995-1998. Calidad de agua. Chile, Ecuador, México. PNUMA/VORPALC. Año 1. Número 2. Agosto de 1995.
- Estrada, F.E., E.T. Flores, J. E. R. Michel. 1983. Lago de Chapala. Investigación Actualizada. Instituto de Geografía y Estadística., Instituto de Astonomía y Metereología, U. de G. 67 pp.
- Estudio Sanitario del Agua, 1995, Universidad de Valencia. España.
- Falkenmark M. 1988. Disminución de la demanda de agua, resultado del programa Sueco contra la contaminación. *Ambio. El agua*. Blume ecología: 126-134 .
- Feachem, R.G. et al. 1980. Appropriate technology for water supply and sanitation. Washington, D.C. Banco Mundial.
- Ferreiro D. 1991. Depuración de lagunaje de aguas residuales. Manual de operadores. Monografías de la Secretaría de Estado para Políticas del agua y del medio ambiente. MOPT.
- Ford TE., Ika R., Shine J., Lind LD., O.Lind. 2000. Trace metal concentrations in chirostoma sp from lake Chapala, Mexico: elevated concentrations of mercury and public health implications. *Journal of Enviromental*.

- García, E. 1975. Modificación a la clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía, UNAM. 75 pp.
- García, 1975. Instituto Panamericano de Geografía e Historia. 1987. Recursos Mundiales.
- Gurrieri JT. 1998. Distribution of metals in water and sediment and effects on aquatic biota in the upper Stillwater river basin, Montana.
- Guzmán, A.M. 1989. El recurso natural agua. Seminario internacional de eutrofización de Lagos y embalses. Universidad de Guadalajara. Sria. Des. Urb. Ecol. México 25 pp.
- Guzmán, A. M. 1990. La fauna acuática de la nueva Galicia. Una aproximación a la problemática de su estudio y conservación. Tiempos de Ciencia. Universidad de Guadalajara 20. 146 pp.
- Guzmán Arroyo, M y Merino Nambo, E. 1992. El Lago de Chapala, Información Básica, Instituto de Limnología, Chapala Jalisco. U. de G. 14pp.
- Hall NE., JF. Fairchild, T W. Lapoint, PR. Hein, DS. Ruessler, CG. Ingersoll. 1996. Problems and recommendations in using algal toxicity testing to evaluate contaminated sediments. Journal of Great Lakes Research. 22(3):545-556.
- Hutchinson, 1957. Eutrophication: The Scientific background of a contemporary practical problem. American Scientist. 61:269-179.
- Instituto de Ingeniería, UNAM. 1974. Estudio Limnológico. Dirección General de usos del agua y prevención de la Contaminación, Secretaría de Recursos Hidráulicos, México, D.F. Vol. 1.
- Janardan K.G. y Schaeffer D.J., 1975. Illinois Water Quality Inventory Report. Illinois Environmental Protection Agency Chicago.
- Lamanchand F. 1990. Los nitratos y los plaguicidas se infiltran en el agua del grifo. Mundo Científico (10): 796.
- Lambarri M. 1987. Calidad y cantidad del agua en México. Universo veintiuno, primera edición. México.
- La Riviere J.W.M. 1989. Los recursos hídricos amenazados. Investigación y Ciencia 158: 54-62.
- Landwehr J.M., 1974. "Water Quality Indices- Construction and Analysis", Ph. D. Thesis, Univ. of Michigan, Ann Arbor, Michigan.

- Landwehr J., R. Denninger. 1976. "Comparison of Several Water Quality Indices", *Water Pollution Control Fed.* 48(5), pp. 954-958.
- Lean DRS. 2000. Some secrets of a great river: an overview of the st. Lawrence river supplement. *Canadian Journal of Fisheries & Aquatic Sciences.* 57(Suppl 1):1-6.
- León, 1990. *Indicadores de Calidad del Agua, formas de estimarlos y aplicación en la Cuenca Lerma-Chapala.* Instituto Tecnológico del Agua. Morelos, México.
- Liebman H., 1969. "Atlas of Water Quality: Methods and Practical Conditions", R. Oldenbrough, Munich.
- Limon Macias, J.G. Lind, O.T 1990. The management of lake Chapala (México): considerations after significant changes in the water regime. *Lake & Reservoir Management.* vol. 6, no. 1, pp. 61-70.
- Limón M.J. G. Quijano, L. 1982. Estudio preliminar de mezclado en el Lago de Chapala mediante isótopos ambientales. *Memorias del Tercer Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.* Acapulco, Gro. Vol. V.
- Limón M., J.G. Jaramillo, J.N. 1985. Evaluación de Información de la Calidad del Agua del Lago de Chapala en el Estado de Jalisco. *Secretaría de Ecología, Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación del Agua.*
- Limón M., J.G. Lind, O.T. Vodopich, D.S. Doyle, R. Trotter, B.G. 1989. Long-and short - term variation in the physical and chemical limnology of a large, shallow, turbid tropical lake (Lake Chapala, Mexico). *Journal article. Analytical article. Archiv fur Hydrobiologie Supplementband.* 1989. vol. 83. no.1, pp. 57-81.
- Lind, O.T., R. Doyle, D.S. Vodopich, B.G. Trotter, G. Limon, J. Dávalos-Lind. 1992. Clay turbidity: regulation of phytoplankton production in a large, nutrient-rich tropical lake *Limnology & Oceanography.* Vol. 37, no. 3, pp. 549-565.
- Lind O.T., L.O. Dávalos-Lind, T.H Chrzanowski, J.G. Limon. 1994 Inorganic turbidity and the failure of fishery models. [Book. Analytical article. Conference proceedings, meeting reports, papers presented] *Internationale Revue der Gesamten Hydrobiologie.* vol. 79, no. 1. Available as: reservoir fishery management and tropical limnology. pp. 7-16.
- Lyons, J. Gutiérrez-Hernández, A. Diaz-Pardo, E. Soto-Galera, E. Medina-Nava M. Pineda-López R. 2000. Development of a preliminary index of biotic integrity (ibi) based on fish assemblages to assess ecosystem condition in the lakes of Central Mexico. *Hydrobiologia.* 418:57-72.
- Maitland, N.J. 1990. Phenotypic variation of the mexican duck in Mexico. *Condor.* Vol. 86. no. 3. pp. 266-274.

- Manual de contaminación ambiental, 1994. Universidad de Valencia. España.
- Margalef, Ramón., 1984. Limnología. Ediciones Omega. Barcelona.
- Martínez de Bascarán, G., 1979. Establecimiento de una Metodología para conocer la Calidad del Agua. Bol. Inf. Medio Ambiente, 9, Pag. 30-51.
- Métodos Normalizados Para el Análisis de Aguas Potables y Residuales, 1992, APHA, AWWA-WDCF, Editorial Díaz de Santos, 17a. Edición, Madrid.
- Mc Junkin, 1980. Water Quality Criteria Washington, D.C. Federal Water Pollution Control Administration.
- Miracle, M.R. 2000. Consideraciones y casos en torno al agua.<http://habitat.aq.upm.es/cs/p3/a010.html>
- Mora, Navarro., Guzmán Arroyo. 2001. IBUC.
- Mora Navarro., Vázquez García. 2000. Revista Hidrobiológica.
- Nemerov, N.L.. 1977. Aguas residuales. Blume. Madrid.
- Nisbet, M.; Verneaux, J. 1970. Composantes Chimiques des Eaux Courantes. Ann. Limnol. 2.
- Ott, W.R. 1978. "Environmental Indices, Theory and Practice", AA Science, Ann Arbor, Michigan.
- Organización Mundial de la Salud. 1970. European Standard for drinking water. Ginebra. Segunda edición.
- Parlamento Europeo. Fichas Técnicas. 1999. Contaminación del agua.
- Patti, L., R. Pavanello., 1971. "Assesment of Surface Water Quality by a Single Index of Pollution", Water Resources Research, Vol.5, May 1971, pp. 456-467.
- Rodiek y Reckhow, 1980. Limnología. Ed. Omega. Barcelona Co. pp. (Trad. De "Limnology", W. B. Saunders.
- Ryding y Rast, 1992. El control de la eutroficación en lagos y pantanos. UNESCO. Edit. Piramide, Madrid. 365 p.
- Sandoval, 1999. CESELCH, 1990
- Schaeffer, M. 1994. Salud, medio ambiente y desarrollo, enfoques para la preparación de estrategias a nivel de países, para el bienestar humano, según la Agenda 21. Whashington, D.C., OPS/OMS.

- Scott, N.J., Jr. Reynolds. Phenotypic variation of the mexican duck (*anas platyrhynchos diazi*) in Mexico
- Shutes R.B., J.B. Ellis; D.M. Revitt y T.T. Zang. 1993. The use of *typha latifolia* for heavy metal pollution control in urban Wtlands.
- Simons, 1984. European Drinking Water Standard. Journal AWWA.
- Soto Galera E., J. Barragan, E. López López, 1991. Effects of the environmental damage on the fish distribution in the Lerma river basin Universidad y Ciencia. Tabasco.vol. 1, no. 4, pp. 61-68.
- SRH, 1973^a.
- Stoker, H. 1968. Química Ambiental, Contaminación del aire y del agua. De Blume Ecología España. Primera Edición.
- Suess, M.J. 1982. Examination of Water for pollution control. Oxford. OMS para Europa. Vol 3.
- Turk, A. 1984. Ecología Contaminación, Medio Ambiente, México D.F. Interamericana.
- Universidad de Guadalajara. 1983. El Lago de Chapala. Instituto de Geografía y estadística, Instituto de Astronomía y Meteorología.
- Uttormark, 1979. Appropriate technology for water supply and sanitation. Washington, D.C. Banco Mundial.
- Vivó, 1964. Tratamientos naturales de bajo costo y aprovechamiento. Ingeniería Medioambiental. Ediciones Mundi-prensa.
- Zaret, T.M., A.H. Devol, A. Do Santos. 1981. Nutrient addition experiments in Lago Jacarentinga, Central Amazon basin, Brazil. Verh, Internet. Verein. Limnol.

ANEXO 1

Resultados de parámetros evaluados

A continuación se presentan los resultados de los análisis Físico Químicos

RESULTADOS MUESTREO 1

Los resultados de las estaciones 1-4 del muestreo realizado se presentan en la siguiente tabla:

PARAMETRO	UNIDAD	E-1	E-2	E-3	E-4
ALCALINIDAD FENOLFTALEINA	mg/l CaCO ₃	14	10	10	10
ALCALINIDAD TOTAL	mg/l CaCO ₃	343	343	343	339
CLORUROS	mg/l	52	52	52	52
COLOR	Esc. Pt.-Co.	98.5	100.4	96.5	102.5
CONDUCTIVIDAD	µmhos/cm	763	759	753	738
CROMO HEXAVALENTE	mg/l	<0.0100	<0.0100	<0.0100	<0.0100
DEMANDA QUIM. DE OXIGENO	mg/l	34	36	34	37
DUREZA CALCICA	mg/l CaCO ₃	136	132	132	136
DUREZA MAGNESICA	mg/l CaCO ₃	92	94	104	92
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	228	226	236	228
FOSFORO DE ORTOFOSFATOS	mg/l P-PO ₄	0.350	0.350	0.390	0.350
FOSFORO TOTAL	mg/l P-PO ₄	0.549	0.512	0.488	0.469
NITROGENO DE NITRATOS	mg/l N-NO ₃	<0.1000	<0.1000	<0.1000	<0.1000
NITROGENO DE NITRITOS	mg/l N-NO ₂	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
OXIGENO DISULETO	mg/l	5.00	5.20	6.38	4.57
pH	pH	8.96	8.91	8.98	8.97
S.A.A.M. (DETERGENTES)	mg/l	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/l	636	642	631	651
SOLIDOS SEDIMENTABLES	ml/l	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOT.	mg/l	24	18	19	69
SOLIDOS TOTALES TOTALES	mg/l	660	660	650	720
SULFATOS	mg/l SO ₄	79.05	81.50	83.10	78.60
TEMPERATURA	°C	24.22	23.91	23.84	22.52
TURBIEDAD	UTN	19	21	23	21
TURBIEDAD SECCHI	cm	30	30	30	30

RESULTADOS MUESTREO 1

Los resultados de las estaciones 5-8 del muestreo realizado se presentan en la siguiente tabla:

PARAMETRO	UNIDAD	E-5	E-6	E-7	E-8
ALCALINIDAD FENOLFTALEINA	mg/l CaCO ₃	41	16	39	39
ALCALINIDAD TOTAL	mg/l CaCO ₃	334	343	334	322
CLORUROS	mg/l	52	52	52	52
COLOR	Esc. Pt.-Co.	104.0	112.0	106.5	115.5
CONDUCTIVIDAD	µmhos/cm	736	742	725	654
CROMO HEXAVALENTE	mg/l	<0.0100	<0.0100	<0.0100	<0.0100
DEMANDA QUIM. DE OXIGENO	mg/l	39	34	32	34
DUREZA CALCICA	mg/l CaCO ₃	132	136	132	128
DUREZA MAGNESICA	mg/l CaCO ₃	92	100	96	88
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	224	236	228	216
FOSFORO DE ORTOFOSFATOS	mg/l P-PO ₄	0.300	0.350	0.300	0.370
FOSFORO TOTAL	mg/l P-PO ₄	0.514	0.532	0.492	0.485
NITROGENO DE NITRATOS	mg/l N-NO ₃	<0.1000	<0.1000	<0.1000	<0.1000
NITROGENO DE NITRITOS	mg/l N-NO ₂	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
OXIGENO DISULETO	mg/l	4.047	5.00	5.59	8.16
pH	pH	9.01	8.99	8.87	8.97
S.A.A.M. (DETERGENTES)	mg/l	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/l	656	680	666	655
SOLIDOS SEDIMENTABLES	ml/l	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOT.	mg/l	84	20	24	25
SOLIDOS TOTALES TOTALES	mg/l	740	700	690	680
SULFATOS	mg/l SO ₄	77.40	86.10	84.10	82.10
TEMPERATURA	°C	24.25	23.43	23.62	23.58
TURBIEDAD	UTN	18	22	25	21
TURBIEDAD SECCHI	cm	35	30	30	20

RESULTADOS MUESTREO 1

Los resultados de las estaciones 9-12 del muestreo realizado se presentan en la siguiente tabla:

PARAMETRO	UNIDAD	E-9	E-10	E-11	E12
ALCALINIDAD FENOLFTALEINA	mg/l CaCO ₃	39	41	37	45
ALCALINIDAD TOTAL	mg/l CaCO ₃	334	334	314	322
CLORUROS	mg/l	52	52	50	50
COLOR	Esc. Pt.-Co.	95.5	98.5	106.0	98.0
CONDUCTIVIDAD	µmhos/cm	732	733	708	723
CROMO HEXAVALENTE	mg/l	<0.0100	<0.0100	<0.0100	<0.0100
DEMANDA QUIM. DE OXIGENO	mg/l	41	37	39	34
DUREZA CALCICA	mg/l CaCO ₃	132	132	116	128
DUREZA MAGNESICA	mg/l CaCO ₃	92	100	92	96
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	224	232	208	224
FOSFORO DE ORTOFOSFATOS	mg/l P-PO ₄	0.300	0.390	0.350	0.390
FOSFORO TOTAL	mg/l P-PO ₄	0.472	0.478	0.498	0.468
NITROGENO DE NITRATOS	mg/l N-NO ₃	<0.1000	<0.1000	<0.1000	<0.1000
NITROGENO DE NITRITOS	mg/l N-NO ₂	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
OXIGENO DISULETO	mg/l	4.86	4.50	4.68	4.21
pH	pH	8.99	9.00	9.00	8.97
S.A.A.M. (DETERGENTES)	mg/l	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/l	624	636	654	622
SOLIDOS SEDIMENTABLES	ml/l	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOT.	mg/l	26	14	6	18
SOLIDOS TOTALES TOTALES	mg/l	650	650	660	640
SULFATOS	mg/l SO ₄	80.10	79.60	77.40	76.40
TEMPERATURA	°C	24.10	24.08	28.14	23.61
TURBIEDAD	UTN	18	22	23	25
TURBIEDAD SECCHI	cm	40	30	45	30

RESULTADOS MUESTREO 1

Los resultados de las estaciones 13-16 del muestreo realizado se presentan en la siguiente tabla:

PARAMETRO	UNIDAD	E-13	E-14	E-15	E-16
ALCALINIDAD FENOLFTALEINA	mg/l CaCO ₃	0	0	0	0
ALCALINIDAD TOTAL	mg/l CaCO ₃	77	188	86	130
CLORUROS	mg/l	23	37	23	27
COLOR	Esc. Pt.-Co.	92.5	90.5	89.5	76.5
CONDUCTIVIDAD	µmhos/cm	267	473	238	327
CROMO HEXAVALENTE	mg/l	<0.0100	<0.0100	<0.0100	<0.0100
DEMANDA QUIM. DE OXIGENO	mg/l	31	29	29	21
DUREZA CALCICA	mg/l CaCO ₃	52	80	52	60
DUREZA MAGNESICA	mg/l CaCO ₃	40	60	40	52
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	92	140	92	112
FOSFORO DE ORTOFOSFATOS	mg/l P-PO ₄	0.390	<0.01	<0.01	0.400
FOSFORO TOTAL	mg/l P-PO ₄	0.458	0.498	0.451	0.564
NITROGENO DE NITRATOS	mg/l N-NO ₃	<0.1000	<0.1000	<0.1000	<0.1000
NITROGENO DE NITRITOS	mg/l N-NO ₂	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
OXIGENO DISULETO	mg/l	3.40	4.60	3.96	3.43
pH	pH	7.60	7.12	7.52	7.24
S.A.A.M. (DETERGENTES)	mg/l	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/l	655	634	628	152
SOLIDOS SEDIMENTABLES	ml/l	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOT.	mg/l	5	16	12	8
SOLIDOS TOTALES TOTALES	mg/l	660	650	640	160
SULFATOS	mg/l SO ₄	83.10	81.40	82.50	40.50
TEMPERATURA	°C	24.44	26.65	23.85	25.80
TURBIEDAD	UTN	21	18	21	16
TURBIEDAD SECCHI	cm	10	14	5	25

RESULTADOS MUESTREO 2

Los resultados de las estaciones 1-4 del muestreo realizado se presentan en la siguiente tabla:

PARAMETRO	UNIDAD	E-1	E-2	E-3	E-4
ALCALINIDAD FENOLFTALEINA	mg/l CaCO ₃	0	8	4	10
ALCALINIDAD TOTAL	mg/l CaCO ₃	300	343	330	341
CLORUROS	mg/l	56	49	53	53
COLOR	Esc. Pt.-Co.	123	155.3	124.5	169.1
CONDUCTIVIDAD	µmhos/cm	733	739	715	691
CROMO HEXAVALENTE	mg/l	<0.0100	<0.0100	<0.0100	<0.0100
DEMANDA QUIM. DE OXIGENO	mg/l	34	28	34	29
DUREZA CALCICA	mg/l CaCO ₃	122	130	130	118
DUREZA MAGNESICA	mg/l CaCO ₃	98	98	94	98
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	220	228	224	216
FOSFORO DE ORTOFOSFATOS	mg/l P-PO ₄	0.3324	0.3053	0.3518	0.3240
FOSFORO TOTAL	mg/l P-PO ₄	0.4262	0.3791	0.4619	0.3951
NITROGENO DE NITRATOS	mg/l N-NO ₃	<0.1000	<0.1000	<0.1000	<0.1000
NITROGENO DE NITRITOS	mg/l N-NO ₂	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
OXIGENO DISULETO	mg/l	2.28	2.14	2.00	2.00
pH	pH	8.37	8.44	8.43	8.45
S.A.A.M. (DETERGENTES)	mg/l	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/l	585	635	628	587
SOLIDOS SEDIMENTABLES	ml/l	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOT.	mg/l	5	15	12	13
SOLIDOS TOTALES TOTALES	mg/l	590	650	640	600
SULFATOS	mg/l SO ₄	87.40	95.15	79.56	79.01
TEMPERATURA	°C	21.98	21.88	21.88	21.54
TURBIEDAD	UTN	35	28	20	38
TURBIEDAD SECCHI	cm	50	20	25	20

RESULTADOS MUESTREO 2

Los resultados de las estaciones 5-8 del muestreo realizado se presentan en la siguiente tabla:

PARAMETRO	UNIDAD	E-5	E-6	E-7	E-8
ALCALINIDAD FENOLFTALEINA	mg/l CaCO ₃	4	0	8	8
ALCALINIDAD TOTAL	mg/l CaCO ₃	330	300	320	318
CLORUROS	mg/l	53	49	53	55
COLOR	Esc. Pt.-Co.	123	172.2	261.3	320
CONDUCTIVIDAD	µmhos/cm	705	691	637	664
CROMO HEXAVALENTE	mg/l	<0.0100	<0.0100	<0.0100	<0.0100
DEMANDA QUIM. DE OXIGENO	mg/l	42	29	34	39
DUREZA CALCICA	mg/l CaCO ₃	120	120	130	122
DUREZA MAGNESICA	mg/l CaCO ₃	96	96	94	94
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	216	216	224	216
FOSFORO DE ORTOFOSFATOS	mg/l P-PO ₄	0.4585	0.3705	0.3439	0.3705
FOSFORO TOTAL	mg/l P-PO ₄	0.5494	0.4524	0.4124	0.4101
NITROGENO DE NITRATOS	mg/l N-NO ₃	<0.1000	<0.1000	<0.1000	<0.1000
NITROGENO DE NITRITOS	mg/l N-NO ₂	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
OXIGENO DISULETO	mg/l	6.76	2.30	6.77	4.68
pH	pH	8.43	8.39	8.42	8.43
S.A.A.M. (DETERGENTES)	mg/l	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/l	622	561	584	611
SOLIDOS SEDIMENTABLES	ml/l	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOT.	mg/l	8	9	6	9
SOLIDOS TOTALES TOTALES	mg/l	630	570	590	620
SULFATOS	mg/l SO ₄	91.82	89.55	82.87	75.12
TEMPERATURA	°C	22.04	21.38	21.10	20.74
TURBIEDAD	UTN	25	30	50	67
TURBIEDAD SECCHI	cm	50	25	30	25

RESULTADOS MUESTREO 2

Los resultados de las estaciones 9-12 del muestreo realizado se presentan en la siguiente tabla:

PARAMETRO	UNIDAD	E-9	E-10	E-11	E12
ALCALINIDAD FENOLFTALEINA	mg/l CaCO ₃	0	10	39	31
ALCALINIDAD. TOTAL	mg/l CaCO ₃	300	320	320	288
CLORUROS	mg/l	53	49	53	48
COLOR	Esc. Pt.-Co.	172.2	258.2	129.19	121.51
CONDUCTIVIDAD	µmhos/cm	693	699	681	672
CROMO HEXAVALENTE	mg/l	<0.0100	<0.0100	<0.0100	0.0114
DEMANDA QUIM. DE OXIGENO	mg/l	29	39	29	34
DUREZA CALCICA	mg/l CaCO ₃	120	122	122	112
DUREZA MAGNESICA	mg/l CaCO ₃	96	94	102	100
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	216	216	222	212
FOSFORO ORTOFOSFATOS	mg/l P-PO ₄	0.3606	0.3642	0.4524	0.3030
FOSFORO TOTAL	mg/l P-PO ₄	0.3701	0.3997	0.4781	0.4136
NITROGENO DE NITRATOS	mg/l N-NO ₃	<0.1000	<0.1000	<0.1000	<0.1000
NITROGENO DE NITRITOS	mg/l N-NO ₂	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
OXIGENO DISULETO	mg/l	5.61	4.71	4.97	4.42
pH	pH	8.32	8.42	8.95	8.73
S.A.A.M. (DETERGENTES)	mg/l	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/l	613	570	640	622
SOLIDOS SEDIMENTABLES	ml/l	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOT.	mg/l	11	20	10	18
SOLIDOS TOTALES TOTALES	mg/l	624	590	650	640
SULFATOS	mg/l SO ₄	78.75	82.71	77.02	73.13
TEMPERATURA	°C	21.48	20.90	21.00	20.35
TURBIEDAD	UTN	20	47	23	21
TURBIEDAD SECCHI	cm	20	20	30	20

RESULTADOS MUESTREO 2

Los resultados de las estaciones 13-16 del muestreo realizado se presentan en la siguiente tabla:

PARAMETRO	UNIDAD	E-13	E-14	E-15	E-16
ALCALINIDAD FENOLFTALEINA	mg/l CaCO ₃	43	0	0	0
ALCALINIDAD. TOTAL	mg/l CaCO ₃	326	296	127	165
CLORUROS	mg/l	49	49	38	25
COLOR	Esc. Pt.-Co.	178.37	129.19	129.2	187.59
CONDUCTIVIDAD	µmhos/cm	687	622	367	296
CROMO HEXAVALENTE	mg/l	<0.0100	<0.0100	<0.0100	<0.0100
DEMANDA QUIM. DE OXIGENO	mg/l	29	32	39	29
DUREZA CALCICA	mg/l CaCO ₃	128	120	86	78
DUREZA MAGNESICA	mg/l CaCO ₃	94	84	50	50
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	222	204	136	128
FOSFORO DE ORTOFOSFATOS	mg/l P-PO ₄	0.3248	0.3951	0.3892	0.4723
FOSFORO TOTAL	mg/l P-PO ₄	0.5008	0.4285	0.5045	0.5045
NITROGENO DE NITRATOS	mg/l N-NO ₃	0.1198	<0.1000	0.1320	<0.1000
NITROGENO DE NITRITOS	mg/l N-NO ₂	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
OXIGENO DISULETO	mg/l	3.93	3.60	4.11	3.50
pH	pH	8.99	8.32	7.40	7.22
S.A.A.M. (DETERGENTES)	mg/l	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/l	635	585	625	608
SOLIDOS SEDIMENTABLES	ml/l	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOT.	mg/l	15	5	8	12
SOLIDOS TOTALES TOTALES	mg/l	650	590	633	620
SULFATOS	mg/l SO ₄	91.74	79.80	85.12	79.00
TEMPERATURA	°C	20.23	20.52	20.44	22.08
TURBIEDAD	UTN	30	22	22	32
TURBIEDAD SECCHI	cm	25	20	5	10

RESULTADOS MUESTREO 3

Los resultados de las estaciones 1-4 del muestreo realizado se presentan en la siguiente tabla:

PARAMETRO	UNIDAD	E-1	E-2	E-3	E-4
ALCALINIDAD FENOLFTALEINA	mg/l CaCO ₃	53	43	43	49
ALCALINIDAD TOTAL	mg/l CaCO ₃	343	343	335	328
CLORUROS	mg/l	53	53	51	51
COLOR	Esc. Pt.-Co.	98.45	101.52	96.91	113.82
CONDUCTIVIDAD	µmhos/cm	753	738	729	728
CROMO HEXAVALENTE	mg/l	<0.0100	<0.0100	<0.0100	<0.0100
DEMANDA QUIM. DE OXIGENO	mg/l	29	29	29	39
DUREZA CALCICA	mg/l CaCO ₃	132	130	132	188
DUREZA MAGNESICA	mg/l CaCO ₃	110	102	100	90
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	242	232	232	278
FOSFORO DE ORTOFOSFATOS	mg/l P-PO ₄	0.3888	0.4266	0.3988	0.3714
FOSFORO TOTAL	mg/l P-PO ₄	0.4400	0.4600	0.4530	0.4602
NITROGENO DE NITRATOS	mg/l N-NO ₃	<0.1000	0.1250	0.1465	<0.1000
NITROGENO DE NITRITOS	mg/l N-NO ₂	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
OXIGENO DISULETO	mg/l	6.97	6.25	6.50	6.43
pH	pH	8.94	8.96	8.89	8.89
S.A.A.M. (DETERGENTES)	mg/l	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/l	614	666	618	600
SOLIDOS SEDIMENTABLES	ml/l	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOT.	mg/l	16	24	22	20
SOLIDOS TOTALES TOTALES	mg/l	630	690	640	620
SULFATOS	mg/l SO ₄	76.50	89.41	78.57	81.18
TEMPERATURA	°C	21.43	20.04	18.80	18.96
TURBIEDAD	UTN	18	22	18	23
TURBIEDAD SECCHI	cm	45	50	45	45

RESULTADOS MUESTREO 3

Los resultados de las estaciones 5-8 del muestreo realizado se presentan en la siguiente tabla:

PARAMETRO	UNIDAD	E-5	E-6	E-7	E-8
ALCALINIDAD FENOLFTALEINA	mg/l CaCO ₃	73	61	53	53
ALCALINIDAD TOTAL	mg/l CaCO ₃	337	339	343	335
CLORUROS	mg/l	53	52	55	55
COLOR	Esc. Pt.-Co.	124.58	124.58	195.27	101.52
CONDUCTIVIDAD	µmhos/cm	730	740	733	742
CROMO HEXAVALENTE	mg/l	<0.0100	<0.0100	<0.0100	<0.0100
DEMANDA QUIM. DE OXIGENO	mg/l	39	28	37	29
DUREZA CALCICA	mg/l CaCO ₃	130	128	130	134
DUREZA MAGNESICA	mg/l CaCO ₃	104	118	80	110
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	234	246	210	244
FOSFORO DE ORTOFOSFATOS	mg/l P-PO ₄	0.3764	0.4014	0.3898	0.3761
FOSFORO TOTAL	mg/l P-PO ₄	0.4410	0.4728	0.4840	0.4731
NITROGENO DE NITRATOS	mg/l N-NO ₃	0.1237	0.1277	<0.1000	<0.1000
NITROGENO DE NITRITOS	mg/l N-NO ₂	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
OXIGENO DISULETO	mg/l	7.29	6.60	6.58	6.58
pH	pH	8.93	8.91	8.95	8.94
S.A.A.M. (DETERGENTES)	mg/l	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/l	610	615	633	654
SOLIDOS SEDIMENTABLES	ml/l	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOT.	mg/l	20	20	17	6
SOLIDOS TOTALES TOTALES	mg/l	630	630	650	660
SULFATOS	mg/l SO ₄	82.57	81.43	79.00	81.17
TEMPERATURA	°C	20.93	18.75	21.16	17.88
TURBIEDAD	UTN	20	25	33	22
TURBIEDAD SECCHI	cm	40	50	50	30

RESULTADOS MUESTREO 3

Los resultados de las estaciones 9-12 del muestreo realizado se presentan en la siguiente tabla:

PARAMETRO	UNIDAD	E-9	E-10	E-11	E12
ALCALINIDAD FENOLFTALEINA	mg/l CaCO ₃	63	49	61	49
ALCALINIDAD. TOTAL	mg/l CaCO ₃	331	331	333	324
CLORUROS	mg/l	53	52	53	51
COLOR	Esc. Pt.-Co.	107.67	110.75	99.99	209.10
CONDUCTIVIDAD	µmhos/cm	735	726	722	725
CROMO HEXAVALENTE	mg/l	<0.0100	<0.0100	0.01140	<0.0100
DEMANDA QUIM. DE OXIGENO	mg/l	34	39	28	29
DUREZA CALCICA	mg/l CaCO ₃	124	132	132	140
DUREZA MAGNESICA	mg/l CaCO ₃	102	100	98	84
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	226	232	230	224
FOSFORO DE ORTOFOSFATOS	mg/l P-PO ₄	0.3885	0.4014	0.3890	0.3760
FOSFORO TOTAL	mg/l P-PO ₄	0.4821	0.3679	0.4473	0.4788
NITROGENO DE NITRATOS	mg/l N-NO ₃	<0.1000	<0.1000	0.1000	<0.1000
NITROGENO DE NITRITOS	mg/l N-NO ₂	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
OXIGENO DISULETO	mg/l	6.87	6.49	7.40	6.50
pH	pH	8.95	8.97	9.01	8.91
S.A.A.M. (DETERGENTES)	mg/l	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/l	642	635	602	624
SOLIDOS SEDIMENTABLES	ml/l	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOT.	mg/l	18	15	18	16
SOLIDOS TOTALES TOTALES	mg/l	660	650	620	640
SULFATOS	mg/l SO ₄	78.49	84.97	74.24	91.74
TEMPERATURA	°C	20.30	18.47	20.60	19.70
TURBIEDAD	UTN	19	24	23	32
TURBIEDAD SECCHI	cm	45	55	45	30

RESULTADOS MUESTREO 3

Los resultados de las estaciones 13-16 del muestreo realizado se presentan en la siguiente tabla:

PARAMETRO	UNIDAD	E-13	E-14	E-15	E-16
ALCALINIDAD FENOLFTALEINA	mg/l CaCO ₃	61	53	0	0
ALCALINIDAD. TOTAL	mg/l CaCO ₃	339	335	288	335
CLORUROS	mg/l	52	52	46	59
COLOR	Esc. Pt.-Co.	175.29	184.51	302.84	50.81
CONDUCTIVIDAD	µmhos/cm	721	738	648	842
CROMO HEXAVALENTE	mg/l	<0.0100	<0.0100	<0.0100	<0.0100
DEMANDA QUIM. DE OXIGENO	mg/l	23	28	29	37
DUREZA CALCICA	mg/l CaCO ₃	132	140	122	138
DUREZA MAGNESICA	mg/l CaCO ₃	104	68	94	130
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	236	208	216	268
FOSFORO DE ORTOFOSFATOS	mg/l P-PO ₄	0.3888	0.3820	0.3885	0.3761
FOSFORO TOTAL	mg/l P-PO ₄	0.4730	0.4400	0.4633	0.5726
NITROGENO DE NITRATOS	mg/l N-NO ₃	0.2932	<0.1000	0.4818	<0.1000
NITROGENO DE NITRITOS	mg/l N-NO ₂	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
OXIGENO DISULETO	mg/l	6.80	6.10	5.40	1.58
pH	pH	9.00	8.86	8.33	8.02
S.A.A.M. (DETERGENTES)	mg/l	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/l	613	655	607	624
SOLIDOS SEDIMENTABLES	ml/l	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOT.	mg/l	17	25	13	26
SOLIDOS TOTALES TOTALES	mg/l	630	680	620	650
SULFATOS	mg/l SO ₄	89.81	80.35	83.67	74.22
TEMPERATURA	°C	18.91	18.55	19.25	19.80
TURBIEDAD	UTN	36	33	49	10
TURBIEDAD SECCHI	cm	30	35	15	65

RESULTADOS MUESTREO 4

Los resultados de las estaciones 1-4 del muestreo realizado se presentan en la siguiente tabla:

PARAMETRO	UNIDAD	E-1	E-2	E-3	E-4
ALCALINIDAD FENOLFTALEINA	mg/l CaCO ₃	45	43	45	33
ALCALINIDAD. TOTAL	mg/l CaCO ₃	353	357	353	351
CLORUROS	mg/l	51	53	51	51
COLOR	Esc. Pt.-Co.	119.05	131.01	116.06	132.50
CONDUCTIVIDAD	µmhos/cm	829	836	856	780
CROMO HEXAVALENTE	mg/l	0.0100	<0.0100	0.0100	<0.0100
DEMANDA QUIM. DE OXIGENO	mg/l	25	30	20	30
DUREZA CALCICA	mg/l CaCO ₃	156	148	180	154
DUREZA MAGNESICA	mg/l CaCO ₃	112	136	102	126
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	268	284	282	280
FOSFORO DE ORTOFOSFATOS	mg/l P-PO ₄	0.3144	0.3199	0.3254	0.3231
FOSFORO TOTAL	mg/l P-PO ₄	0.4219	0.4375	0.4617	0.4645
NITROGENO DE NITRATOS	mg/l N-NO ₃	0.2842	0.2815	0.3044	0.2838
NITROGENO DE NITRITOS	mg/l N-NO ₂	<0.005	<0.005	0.0075	<0.005
OXIGENO DISULETO	mg/l	7.60	7.55	6.64	7.20
pH	pH	8.70	8.70	8.80	9.00
S.A.A.M. (DETERGENTES)	mg/l	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/l	570	592	628	597
SOLIDOS SEDIMENTABLES	ml/l	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOT.	mg/l	40	38	24	63
SOLIDOS TOTALES TOTALES	mg/l	610	630	652	660
SULFATOS	mg/l SO ₄	87.98	87.53	81.87	93.55
TEMPERATURA	°C	21.40	20.35	19.30	19.22
TURBIEDAD	UTN	29	31	23	37
TURBIEDAD SECCHI	cm	45	50	45	45

RESULTADOS MUESTREO 4

Los resultados de las estaciones 5-8 del muestreo realizado se presentan en la siguiente tabla:

PARAMETRO	UNIDAD	E-5	E-6	E-7	E-8
ALCALINIDAD FENOLFTALEINA	mg/l CaCO ₃	55	38	45	53
ALCALINIDAD. TOTAL	mg/l CaCO ₃	359	352	351	355
CLORUROS	mg/l	51	51	52	51
COLOR	Esc. Pt.-Co.	98.11	129.51	107.08	175.87
CONDUCTIVIDAD	µmhos/cm	859	779	776	862
CROMO HEXAVALENTE	mg/l	0.0228	<0.0100	0.0100	0.0280
DEMANDA QUIM. DE OXIGENO	mg/l	30	20	20	20
DUREZA CALCICA	mg/l CaCO ₃	148	142	148	156
DUREZA MAGNESICA	mg/l CaCO ₃	122	110	104	108
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	270	252	252	264
FOSFORO DE ORTOFOSFATOS	mg/l P-PO ₄	0.3360	0.3371	0.3723	0.3491
FOSFORO TOTAL	mg/l P-PO ₄	0.4767	0.4503	0.4615	0.5736
NITROGENO DE NITRATOS	mg/l N-NO ₃	0.4858	0.2998	0.3907	1.0369
NITROGENO DE NITRITOS	mg/l N-NO ₂	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
OXIGENO DISULETO	mg/l	8.40	7.40	6.78	6.24
pH	pH	8.90	9.01	9.01	8.90
S.A.A.M. (DETERGENTES)	mg/l	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/l	600	619	574	626
SOLIDOS SEDIMENTABLES	ml/l	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOT.	mg/l	20	41	34	34
SOLIDOS TOTALES TOTALES	mg/l	620	660	610	660
SULFATOS	mg/l SO ₄	93.26	92.41	87.70	88.38
TEMPERATURA	°C	23.00	18.66	20.71	17.90
TURBIEDAD	UTN	28	27	22	33
TURBIEDAD SECCHI	cm	45	40	55	35

RESULTADOS MUESTREO 4

Los resultados de las estaciones 9-12 del muestreo realizado se presentan en la siguiente tabla:

PARAMETRO	UNIDAD	E-9	E-10	E-11	E12
ALCALINIDAD FENOLFTALEINA	mg/l CaCO ₃	45	38	39	36
ALCALINIDAD TOTAL	mg/l CaCO ₃	345	353	343	366
CLORUROS	mg/l	53	52	52	52
COLOR	Esc. Pt.-Co.	350.45	159.42	119.05	262.59
CONDUCTIVIDAD	µmhos/cm	813	774	695	730
CROMO HEXAVALENTE	mg/l	0.0342	0.0100	0.0210	0.0367
DEMANDA QUIM. DE OXIGENO	mg/l	20	20	20	30
DUREZA CALCICA	mg/l CaCO ₃	140	148	140	152
DUREZA MAGNESICA	mg/l CaCO ₃	110	110	104	122
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	250	258	244	274
FOSFORO DE ORTOFOSFATOS	mg/l P-PO ₄	0.3699	0.3607	0.3560	0.4021
FOSFORO TOTAL	mg/l P-PO ₄	0.5054	0.5235	0.4981	0.6148
NITROGENO DE NITRATOS	mg/l N-NO ₃	0.3199	0.7954	0.2832	0.2857
NITROGENO DE NITRITOS	mg/l N-NO ₂	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
OXIGENO DISULETO	mg/l	6.42	6.50	6.90	5.99
pH	pH	8.80	9.00	9.30	8.92
S.A.A.M. (DETERGENTES)	mg/l	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/l	604	605	606	625
SOLIDOS SEDIMENTABLES	ml/l	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOT.	mg/l	96	55	24	105
SOLIDOS TOTALES TOTALES	mg/l	700	660	630	730
SULFATOS	mg/l SO ₄	98.48	97.11	96.99	101.41
TEMPERATURA	°C	20.06	19.56	24.00	21.23
TURBIEDAD	UTN	88	33	22	54
TURBIEDAD SECCHI	cm	55	45	45	25

RESULTADOS MUESTREO 4

Los resultados de las estaciones 13-16 del muestreo realizado se presentan en la siguiente tabla:

PARAMETRO	UNIDAD	E-13	E-14	E-15	E-16
ALCALINIDAD FENOLFTALEINA	mg/l CaCO ₃	38	35	36	31
ALCALINIDAD TOTAL	mg/l CaCO ₃	357	356	373	353
CLORUROS	mg/l	51	52	52	54
COLOR	Esc. Pt.-Co.	160.91	250.63	273.06	231.19
CONDUCTIVIDAD	µmhos/cm	712	715	726	717
CROMO HEXAVALENTE	mg/l	0.0240	0.0100	0.0100	<0.0100
DEMANDA QUIM. DE OXIGENO	mg/l	30	20	30	35
DUREZA CALCICA	mg/l CaCO ₃	148	150	160	152
DUREZA MAGNESICA	mg/l CaCO ₃	110	116	146	104
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	258	266	306	256
FOSFORO DE ORTOFOSFATOS	mg/l P-PO ₄	0.2894	0.3543	0.4211	0.2682
FOSFORO TOTAL	mg/l P-PO ₄	0.5021	0.6574	0.4979	0.4814
NITROGENO DE NITRATOS	mg/l N-NO ₃	0.3026	1.0085	0.5419	0.6967
NITROGENO DE NITRITOS	mg/l N-NO ₂	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
OXIGENO DISULETO	mg/l	6.41	5.33	6.48	5.14
pH	pH	8.96	8.89	8.94	8.93
S.A.A.M. (DETERGENTES)	mg/l	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/l	610	693	672	628
SOLIDOS SEDIMENTABLES	ml/l	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOT.	mg/l	30	77	58	92
SOLIDOS TOTALES TOTALES	mg/l	640	770	730	720
SULFATOS	mg/l SO ₄	88.39	98.75	95.14	88.69
TEMPERATURA	°C	22.66	23.91	23.02	20.80
TURBIEDAD	UTN	30	52	45	43
TURBIEDAD SECCHI	cm	20	20	20	20

RESULTADOS MUESTREO 5

Los resultados de las estaciones 1-4 del muestreo realizado se presentan en la siguiente tabla:

PARAMETRO	UNIDAD	E-1	E-2	E-3	E-4
ALCALINIDAD FENOLFTALEINA	mg/l CaCO ₃	37	37	33	33
ALCALINIDAD. TOTAL	mg/l CaCO ₃	363	347	359	343
CLORUROS	mg/l	58	58	58	58
COLOR	Esc. Pt.-Co.	136.90	163.90	163.90	163.90
CONDUCTIVIDAD	µmhos/cm	940	922	941	937
CROMO HEXAVALENTE	mg/l	< 0.0100	< 0.0100	< 0.0100	< 0.0100
DEMANDA QUIM. DE OXIGENO	mg/l	26	37	37	30
DUREZA CALCICA	mg/l CaCO ₃	124	116	124	126
DUREZA MAGNESICA	mg/l CaCO ₃	112	100	112	110
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	236	216	236	236
FOSFORO DE ORTOFOSFATOS	mg/l P-PO ₄	0.2150	0.1720	0.2390	0.2640
FOSFORO TOTAL	mg/l P-PO ₄	0.4060	0.3890	0.4340	0.4060
NITROGENO DE NITRATOS	mg/l N-NO ₃	0.2206	0.2156	0.2583	0.2303
NITROGENO DE NITRITOS	mg/l N-NO ₂	<0.005	0.007	<0.005	<0.005
OXIGENO DISULETO	mg/l	7.92	8.81	7.19	7.76
pH	pH	9.02	9.09	8.88	8.96
S.A.A.M. (DETERGENTES)	mg/l	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/l	646	648	663	652
SOLIDOS SEDIMENTABLES	ml/l	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOT.	mg/l	34	37	37	33
SOLIDOS TOTALES TOTALES	mg/l	680	685	700	685
SULFATOS	mg/l SO ₄	114.52	114.89	104.35	109.23
TEMPERATURA	°C	25.32	24.19	22.60	23.32
TURBIEDAD	UTN	24	30	32	32
TURBIEDAD SECCHI	cm	40	35	45	35

RESULTADOS MUESTREO 5

Los resultados de las estaciones 5-8 del muestreo realizado se presentan en la siguiente tabla:

PARAMETRO	UNIDAD	E-5	E-6	E-7	E-8
ALCALINIDAD FENOLFTALEINA	mg/l CaCO ₃	37	37	33	28
ALCALINIDAD. TOTAL	mg/l CaCO ₃	343	359	351	359
CLORUROS	mg/l	58	58	58	58
COLOR	Esc. Pt.-Co.	188.30	186.30	129.00	148.90
CONDUCTIVIDAD	µmhos/cm	920	939	925	946
CROMO HEXAVALENTE	Mg/l	< 0.0100	< 0.0100	< 0.0100	< 0.0100
DEMANDA QUIM. DE OXIGENO	Mg/l	49	25	49	37
DUREZA CALCICA	Mg/l CaCO ₃	108	126	120	124
DUREZA MAGNESICA	Mg/l CaCO ₃	104	110	112	112
DUREZA TOTAL	Mg/l CaCO ₃	212	236	232	236
FOSFORO DE ORTOFOSFATOS	Mg/l P-PO ₄	0.1430	0.2370	0.2160	0.2490
FOSFORO TOTAL	Mg/l P-PO ₄	0.2770	0.3990	0.3440	0.3970
NITROGENO DE NITRATOS	Mg/l N-NO ₃	1.5543	0.3621	0.5963	0.3225
NITROGENO DE NITRITOS	Mg/l N-NO ₂	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
OXIGENO DISULETO	Mg/l	9.66	7.81	8.36	7.45
pH	PH	9.00	9.00	8.96	8.73
S.A.A.M. (DETERGENTES)	Mg/l	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	Mg/l	635	658	664	656
SOLIDOS SEDIMENTABLES	ml/l	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOT.	Mg/l	45	32	16	24
SOLIDOS TOTALES TOTALES	Mg/l	680	690	680	680
SULFATOS	Mg/l SO ₄	114.31	105.61	111.57	94.97
TEMPERATURA	°C	26.48	22.70	25.22	23.23
TURBIEDAD	UTN	33	37	22	28
TURBIEDAD SECCHI	Cm	35	35	35	30

RESULTADOS MUESTREO 5

Los resultados de las estaciones 9-12 del muestreo realizado se presentan en la siguiente tabla:

PARAMETRO	UNIDAD	E-9	E-10	E-11	E12
ALCALINIDAD FENOLFTALEINA	mg/l CaCO ₃	33	33	16	37
ALCALINIDAD TOTAL	mg/l CaCO ₃	355	357	334	355
CLORUROS	mg/l	58	58	60	60
COLOR	Esc. Pt.-Co.	126.50	134.00	234.10	240.10
CONDUCTIVIDAD	µmhos/cm	932	949	954	904
CROMO HEXAVALENTE	mg/l	< 0.0100	< 0.0100	< 0.0100	< 0.0100
DEMANDA QUIM. DE OXIGENO	mg/l	30	49	89	59
DUREZA CALCICA	mg/l CaCO ₃	124	128	112	116
DUREZA MAGNESICA	mg/l CaCO ₃	112	112	92	106
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	236	240	204	222
FOSFORO DE ORTOFOSFATOS	mg/l P-PO ₄	0.2530	0.2740	0.1670	0.1680
FOSFORO TOTAL	mg/l P-PO ₄	0.3360	0.3790	0.3810	0.4600
NITROGENO DE NITRATOS	mg/l N-NO ₃	0.2670	0.3050	1.0012	1.0484
NITROGENO DE NITRITOS	mg/l N-NO ₂	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
OXIGENO DISULETO	mg/l	7.77	7.38	11.40	7.10
pH	pH	8.88	8.95	8.56	9.01
S.A.A.M. (DETERGENTES)	mg/l	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/l	669	675	656	678
SOLIDOS SEDIMENTABLES	ml/l	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOT.	mg/l	21	15	64	62
SOLIDOS TOTALES TOTALES	mg/l	690	720	740	770
SULFATOS	mg/l SO ₄	107.55	113.35	106.68	117.81
TEMPERATURA	°C	24.23	23.48	28.79	25.20
TURBIEDAD	UTN	24	24	44	52
TURBIEDAD SECCHI	cm	40	30	15	15

RESULTADOS MUESTREO 5

Los resultados de las estaciones 13-16 del muestreo realizado se presentan en la siguiente tabla:

PARAMETRO	UNIDAD	E-13	E-14	E-15	E-16
ALCALINIDAD FENOLFTALEINA	mg/l CaCO ₃	33	33	33	0
ALCALINIDAD TOTAL	mg/l CaCO ₃	351	355	383	375
CLORUROS	mg/l	62	64	64	64
COLOR	Esc. Pt.-Co.	352.20	758.80	639.20	116.00
CONDUCTIVIDAD	µmhos/cm	952	975	1015	1053
CROMO HEXAVALENTE	mg/l	< 0.0100	< 0.0100	< 0.0100	< 0.0100
DEMANDA QUIM. DE OXIGENO	mg/l	59	99	74	84
DUREZA CALCICA	mg/l CaCO ₃	126	116	144	132
DUREZA MAGNESICA	mg/l CaCO ₃	110	108	116	126
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO ₃	236	224	260	258
FOSFORO DE ORTOFOSFATOS	mg/l P-PO ₄	0.2560	0.2790	0.0700	0.5400
FOSFORO TOTAL	mg/l P-PO ₄	0.5220	0.8100	0.8030	0.9110
NITROGENO DE NITRATOS	mg/l N-NO ₃	1.0070	0.2761	0.5508	0.1610
NITROGENO DE NITRITOS	mg/l N-NO ₂	<0.005	0.017	0.009	0.009
OXIGENO DISULETO	mg/l	6.96	6.20	5.65	0.37
pH	pH	8.99	8.98	8.94	7.89
S.A.A.M. (DETERGENTES)	mg/l	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	mg/l	679	757	784	663
SOLIDOS SEDIMENTABLES	ml/l	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOT.	mg/l	91	233	156	37
SOLIDOS TOTALES TOTALES	mg/l	770	990	940	700
SULFATOS	mg/l SO ₄	117.81	111.24	103.54	106.22
TEMPERATURA	°C	24.30	22.54	23.75	26.30
TURBIEDAD	UTN	69	120	105	17
TURBIEDAD SECCHI	cm	15	05	10	20

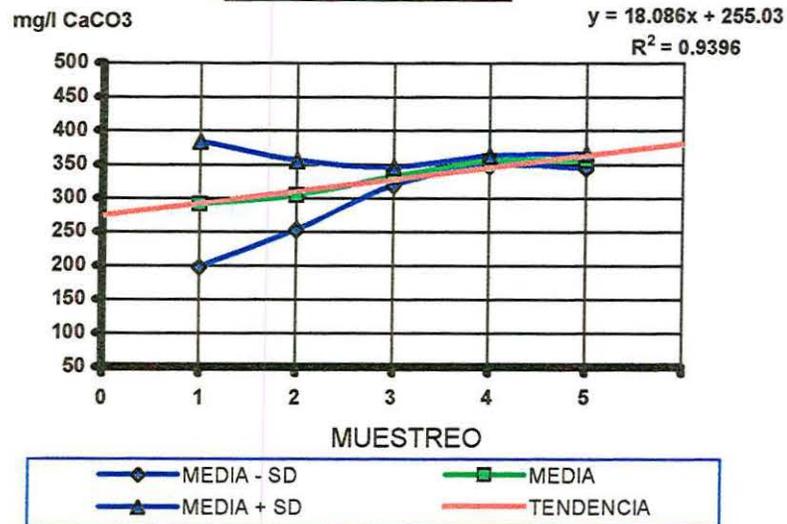
ANEXO 2

Resultados del cálculo de variabilidad por fecha de muestreo
Resultados del cálculo de variabilidad por parámetro

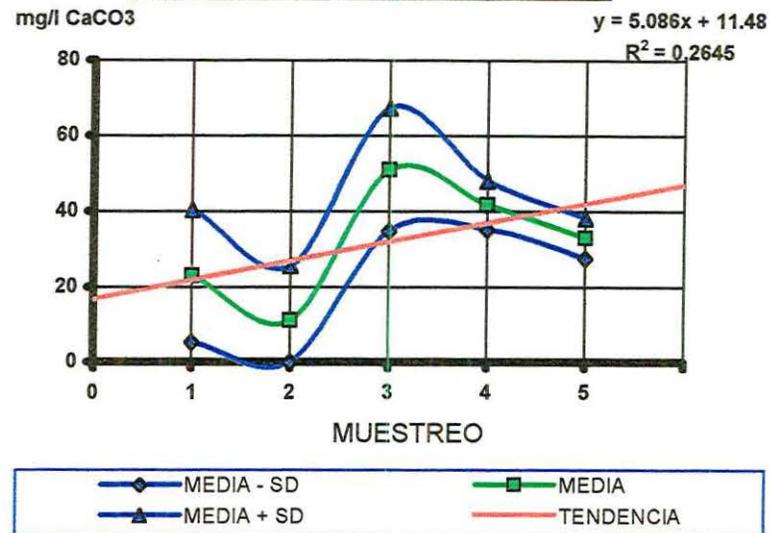
VARIABILIDAD POR MUESTREO

20

ALCALINIDAD TOTAL



ALCALINIDAD A LA FENOLFTALEINA



Alcalinidad Total (mg/l CaCO₃)

Muestreo	X	± SD
1	290.40	93.11
2	303.93	51.67
3	332.26	13.44
4	354.93	7.40
5	355.33	10.67

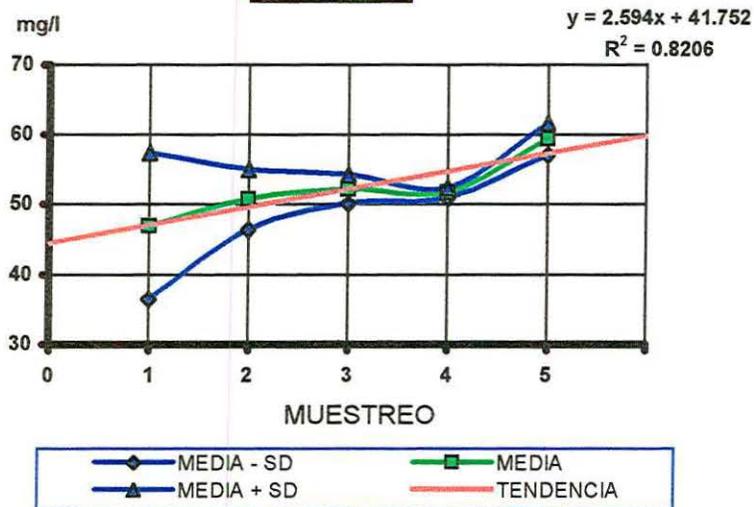
X = Media Aritmética ± SD= Desviación Estándar

Alcalinidad a la Fenolftaleina (mg/l CaCO₃)

Muestreo	X	± SD
1	22.73	17.56
2	11.00	14.49
3	50.93	16.22
4	41.60	6.45
5	32.86	5.30

X = Media Aritmética ± SD= Desviación Estándar

CLORUROS

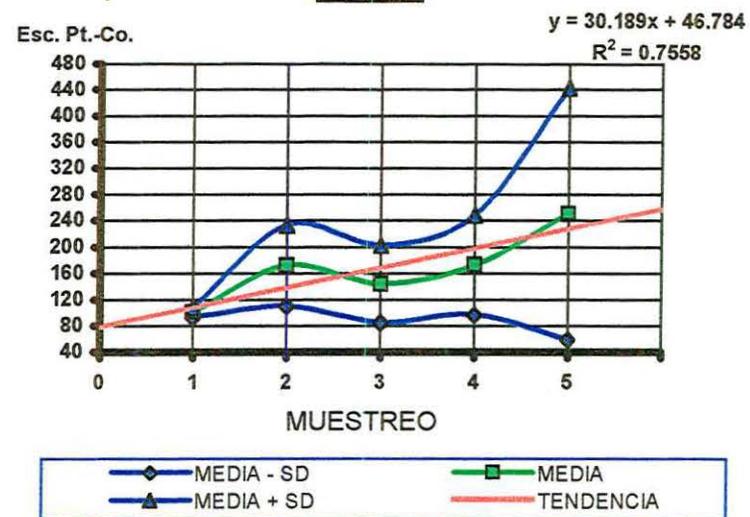


Cloruros (mg/l)

Muestreo	X	± SD
1	46.86	10.41
2	50.66	4.32
3	52.13	2.09
4	51.66	0.72
5	59.33	2.22

X = Media Aritmética ± SD= Desviación Estándar

COLOR

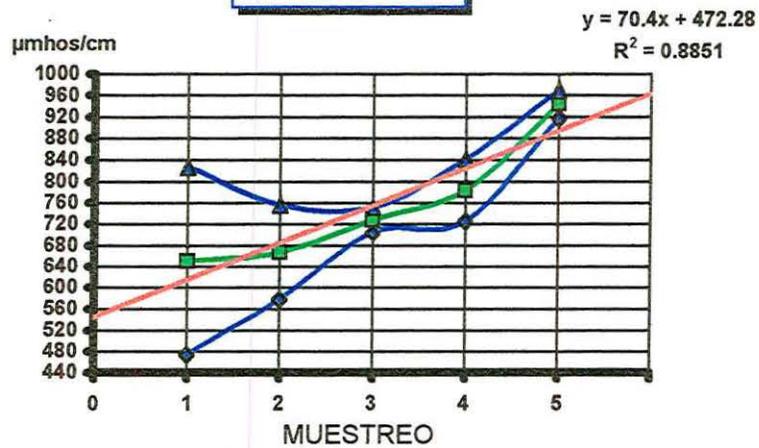


Color (Esc. Pt-Co)

Muestreo	X	± SD
1	100.42	7.46
2	171.07	61.37
3	143.07	58.94
4	172.31	75.67
5	250.73	192.40

X = Media Aritmética ± SD= Desviación Estándar

CONDUCTIVIDAD

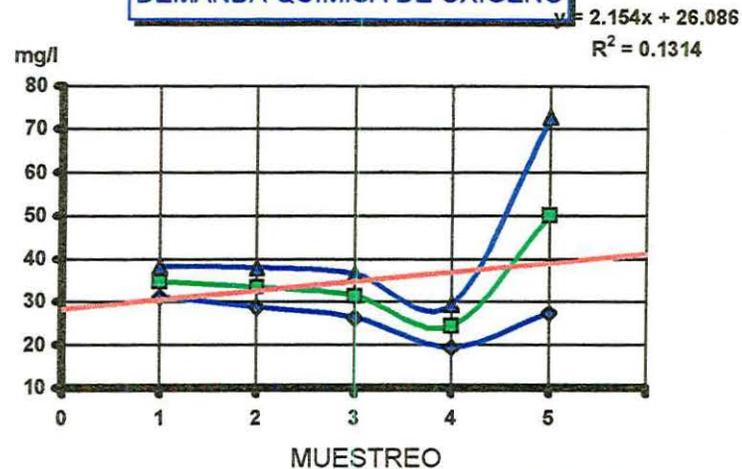


Conductividad (µmhos/cm)

Muestreo	X	± SD
1	649.60	176.18
2	666.40	88.51
3	727.20	23.50
4	782.80	57.81
5	943.40	25.98

X = Media Aritmética ± SD= Desviación Estándar

DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO

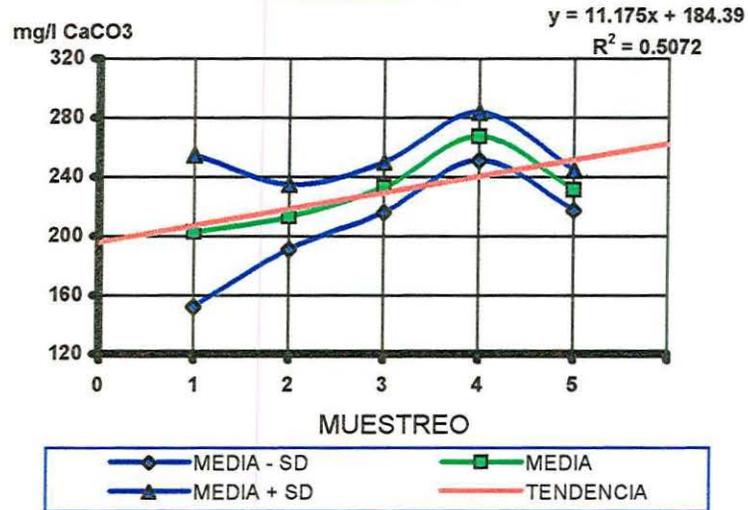


Demanda Química de Oxígeno (D.Q.O.) mg/l

Muestreo	X	± SD
1	34.66	3.55
2	33.33	4.60
3	31.26	5.00
4	24.33	4.95
5	49.93	22.63

X = Media Aritmética ± SD= Desviación Estándar

DUREZA TOTAL

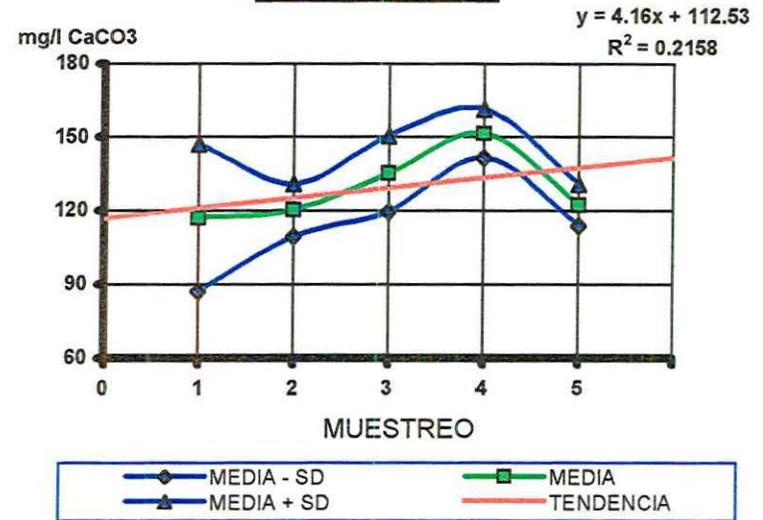


Dureza Total (mg/l CaCO₃)

Muestreo	X	± SD
1	202.26	50.38
2	212.53	21.94
3	232.66	16.88
4	267.20	16.26
5	230.80	13.47

X = Media Aritmética ± SD= Desviación Estándar

DUREZA CALCICA

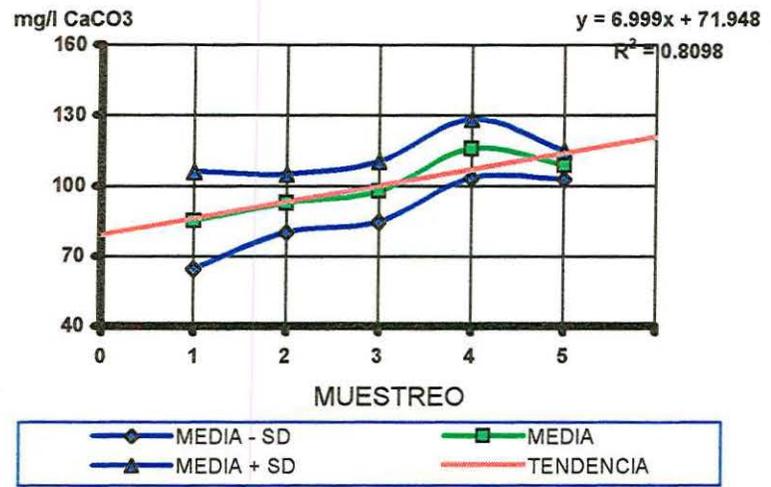


Dureza Cálctica (mg/l CaCO₃)

Muestreo	X	± SD
1	117.06	29.87
2	120.13	10.70
3	135.06	15.39
4	151.33	9.81
5	122.26	8.41

X = Media Aritmética ± SD= Desviación Estándar

DUREZA MAGNESICA

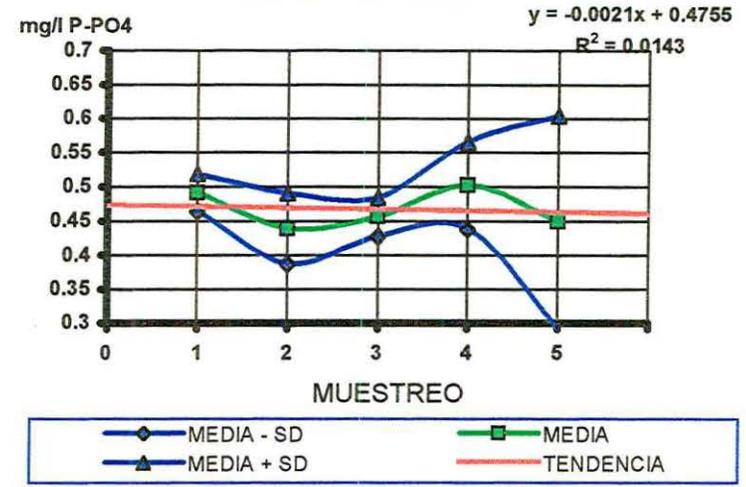


Dureza Magnésica (mg/l CaCO₃)

Muestreo	X	± SD
1	85.20	20.80
2	92.53	12.43
3	97.60	12.81
4	115.86	12.47
5	108.53	6.02

X = Media Aritmética ± SD= Desviación Estándar

FOSFORO TOTAL

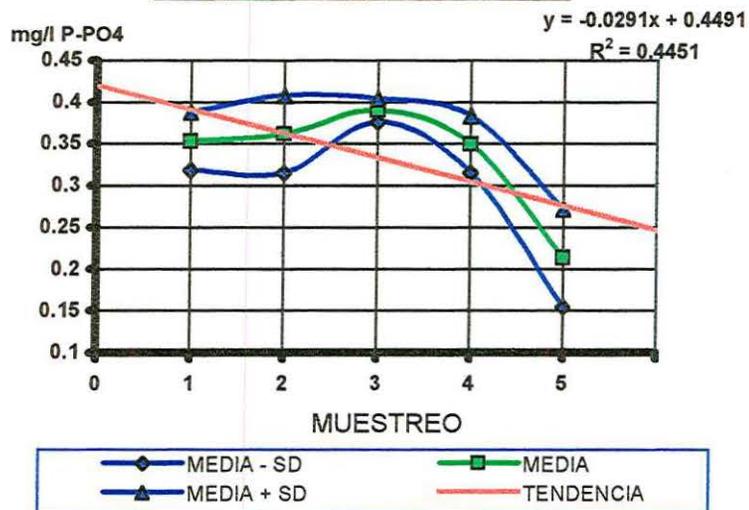


Fósforo Total (mg/l P-PO₄)

Muestreo	X	± SD
1	0.4909	0.0272
2	0.4387	0.0512
3	0.4557	0.0286
4	0.5017	0.0640
5	0.4490	0.1550

X = Media Aritmética ± SD= Desviación Estándar

FOSFORO DE ORTOFOSFATOS

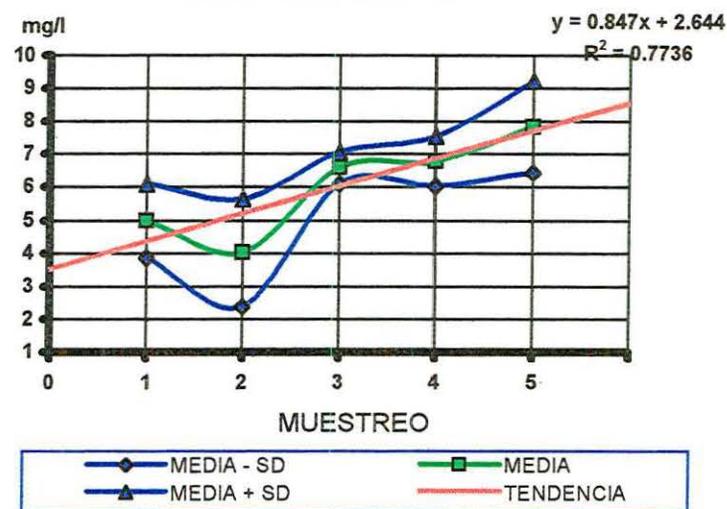


Fósforo de Ortofosfatos (mg/l P-PO₄)

Muestreo	X	± SD
1	0.3523	0.0344
2	0.3608	0.0465
3	0.3895	0.0138
4	0.3487	0.0341
5	0.2130	0.0580

X = Media Aritmética ± SD= Desviación Estándar

OXIGENO DISUELTO

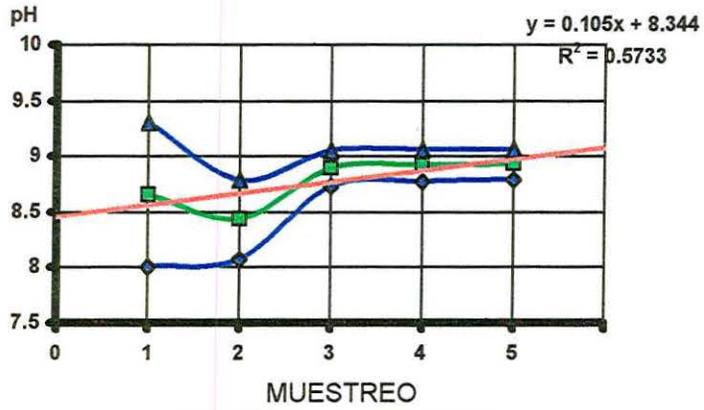


Oxígeno Disuelto (mg/l)

Muestreo	X	± SD
1	4.97	1.11
2	4.01	1.63
3	6.58	0.48
4	6.78	0.75
5	7.82	1.38

X = Media Aritmética ± SD= Desviación Estándar

POTENCIAL HIDROGENO pH



Potencial Hidrógeno (pH)

Muestreo	X	± SD
1	8.65	0.65
2	8.43	0.35
3	8.89	0.16
4	8.92	0.14
5	8.93	0.13

X = Media Aritmética ± SD= Desviación Estándar

SOLIDOS TOTALES TOTALES

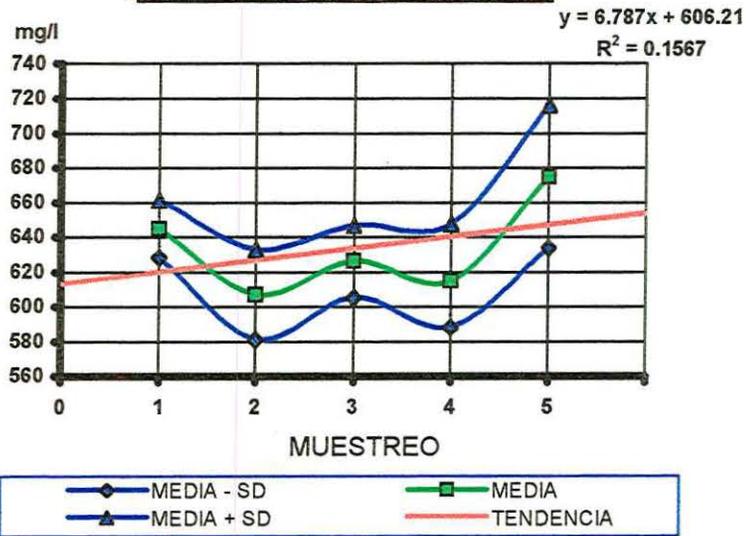


Sólidos Totales Totales (mg/l)

Muestreo	X	± SD
1	670.00	30.00
2	617.80	27.00
3	630.56	27.31
4	664.13	47.88
5	734.66	97.43

X = Media Aritmética ± SD= Desviación Estándar

SOLIDOS DISUELTOS TOTALES

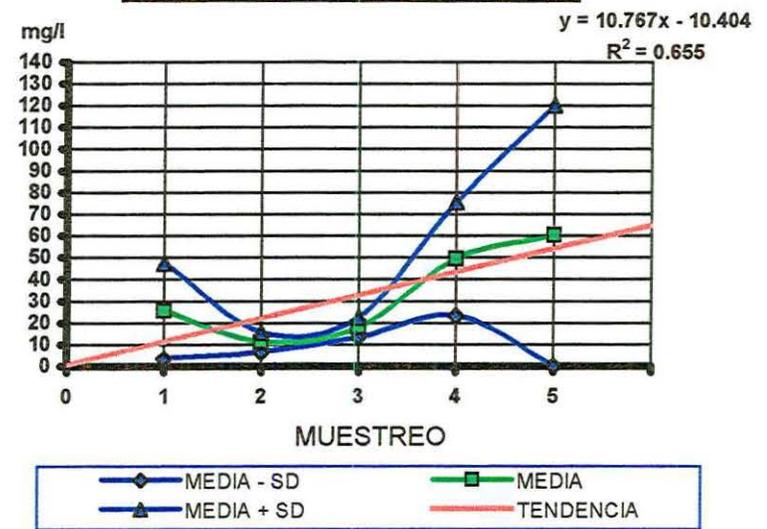


Sólidos Disueltos Totales (mg/l)

Muestreo	X	± SD
1	644.66	16.58
2	606.86	25.78
3	625.75	20.67
4	614.73	32.56
5	674.66	41.09

X = Media Aritmética ± SD= Desviación Estándar

SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES

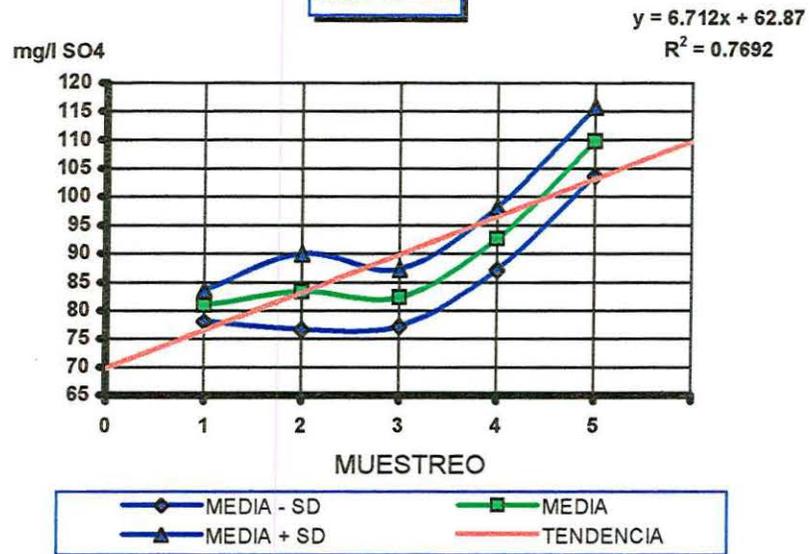


Sólidos Suspendidos Totales (mg/l)

Muestreo	X	± SD
1	25.33	21.89
2	10.93	4.55
3	17.80	4.63
4	49.26	26.19
5	60.00	59.98

X = Media Aritmética ± SD= Desviación Estándar

SULFATOS

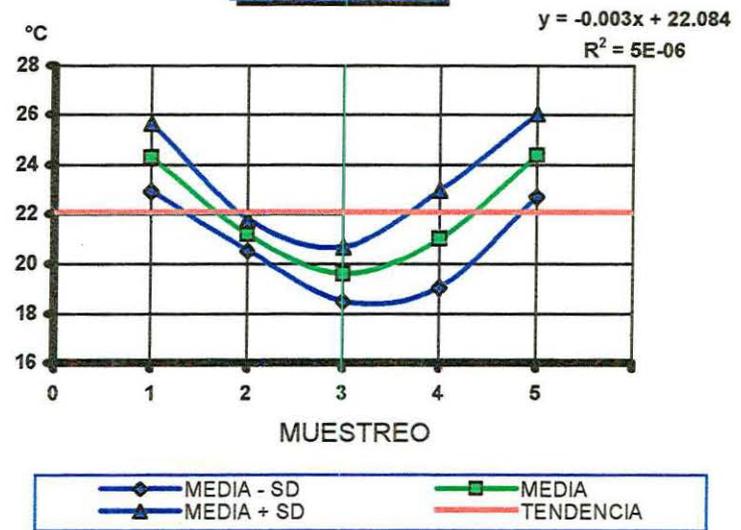


Sulfatos (mg/l)

Muestreo	X	± SD
1	80.83	2.76
2	83.25	6.64
3	82.20	5.00
4	92.59	5.47
5	109.72	6.10

X = Media Aritmética ± SD= Desviación Estándar

TEMPERATURA

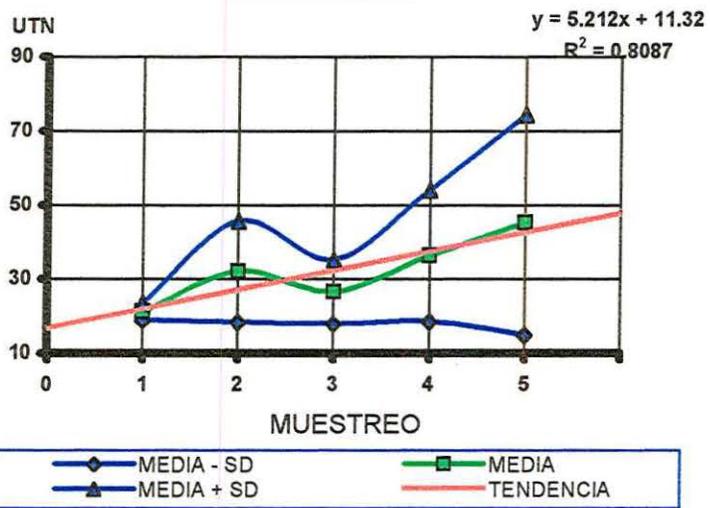


Temperatura (°C)

Muestreo	X	± SD
1	24.28	1.37
2	21.16	0.62
3	19.58	1.10
4	20.99	1.94
5	24.35	1.67

X = Media Aritmética ± SD= Desviación Estándar

TURBIEDAD

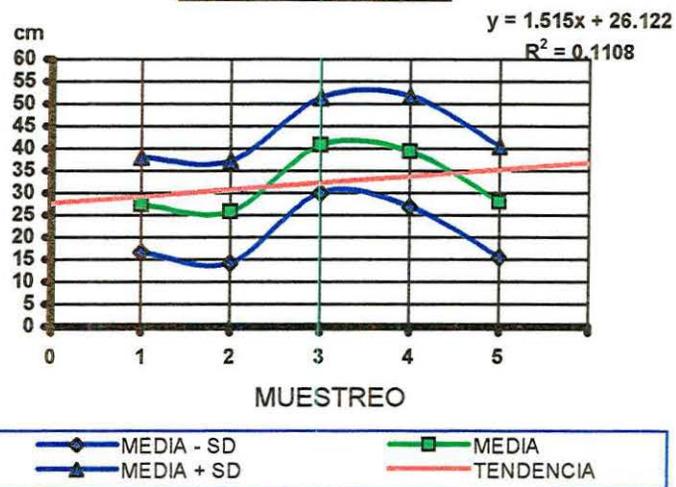


Turbiedad (UTN)

Muestreo	X	± SD
1	21.20	2.27
2	31.86	13.57
3	26.46	8.56
4	36.26	17.84
5	45.06	30.19

X = Media Aritmética ± SD= Desviación Estándar

TURBIEDAD SECCHI



Turbiedad Secchi (cm)

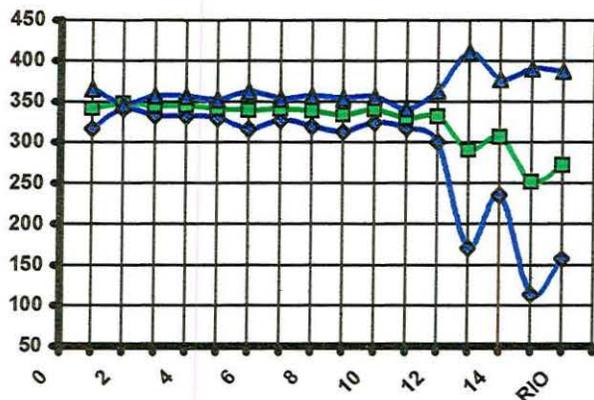
Muestreo	X	± SD
1	27.26	10.75
2	25.66	11.47
3	40.66	10.66
4	39.33	12.37
5	28.00	12.50

X = Media Aritmética ± SD= Desviación Estándar

VARIABILIDAD POR PARAMETRO

ALCALINIDAD TOTAL

mg/l CaCO₃

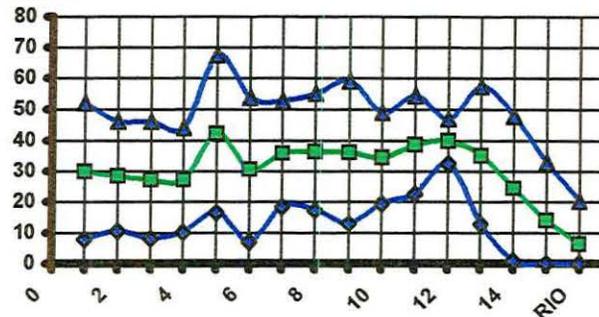


ESTACION DE MUESTREO

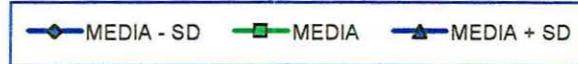


ALCALINIDAD FENOLFTALEINA

mg/l CaCO₃



ESTACION DE MUESTREO



La Alcalinidad Total presenta un comportamiento homogéneo a lo largo de los 5 muestreos, únicamente en las estaciones cercanas a la desembocadura del Río Lerma se observa una mayor variabilidad, debido principalmente a un efecto de dilución con el agua que ingresa, la cual presenta concentraciones inferiores de alcalinidad a las existentes en el lago.

Estación	X	± SD	Estación	X	± SD
1	340.40	24.05	9	333.00	20.74
2	346.60	6.06	10	339.00	15.57
3	344.00	12.08	11	328.80	11.64
4	343.60	11.86	12	331.00	30.74
5	340.60	11.32	13	290.00	119.66
6	338.60	22.94	14	306.00	70.29
7	339.80	13.10	15	251.40	138.09
8	337.80	18.67	16 (RIO)	271.60	114.83

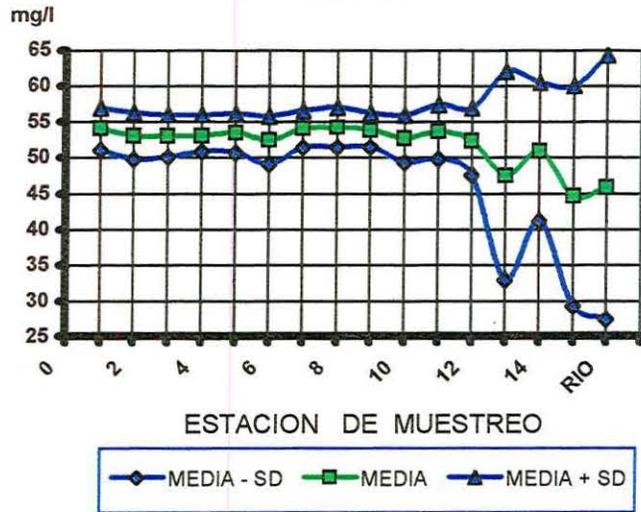
X = Media ± SD = Desviación Estándar

La Alcalinidad a la Fenolftaleína (pH 8.3) presenta un comportamiento homogéneo a lo largo de los 5 muestreos, únicamente en las estaciones cercanas a la desembocadura del Río Lerma se observa una mayor variabilidad, la cual se explica porque ésta Alcalinidad es dependiente del valor de pH, el cual es menor en el agua del Río Lerma.

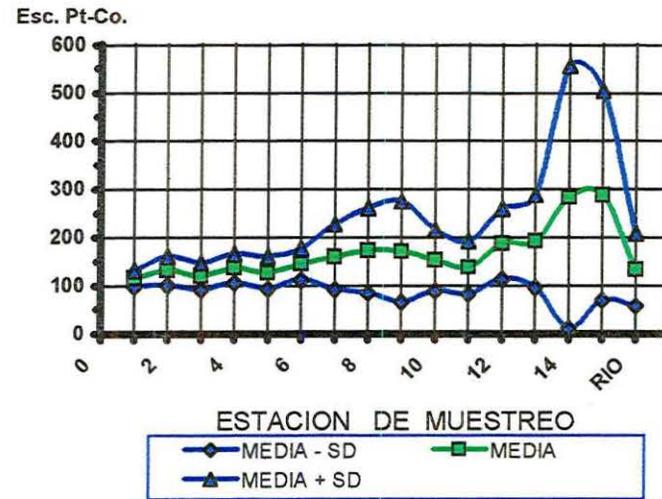
Estación	X	± SD	Estación	X	± SD
1	29.80	22.12	9	36.00	23.04
2	28.20	17.71	10	34.20	14.72
3	27.00	18.93	11	38.40	15.93
4	27.00	16.83	12	39.60	7.26
5	42.00	25.49	13	35.00	22.23
6	30.40	23.28	14	24.20	23.42
7	35.60	17.11	15	13.80	18.92
8	36.20	18.93	16 (RIO)	6.20	13.86

X = Media ± SD = Desviación Estándar

CLOURUROS



COLOR



La concentración de Cloruros presenta un comportamiento muy homogéneo a lo largo de los 5 muestreos, únicamente se aprecia en las estaciones cercanas a la desembocadura del Río Lerma una mayor variabilidad, debido principalmente a un efecto de dilución con el agua que ingresa, que como se observa, presenta concentraciones inferiores de Cloruros a las presentes en el lago.

El Color se presenta con un comportamiento variable a lo largo de los 5 muestreos, se aprecia como en las estaciones correspondientes al centro del lago aumenta el color probablemente por una mayor cantidad de organismos planctónicos presentes, así como en las estaciones cercanas a la desembocadura del Río Lerma, por el aporte de Sólidos Disueltos y Materia Orgánica.

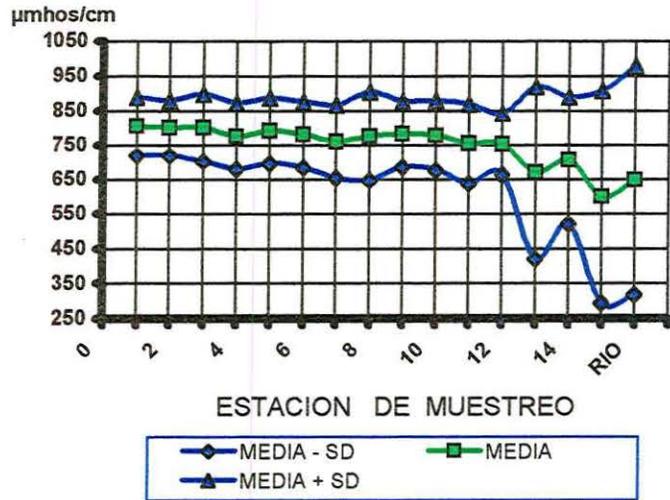
Estación	X	± SD	Estación	X	± SD
1	54.00	2.91	9	53.80	2.38
2	53.00	3.24	10	52.60	3.28
3	53.00	2.91	11	53.60	3.78
4	53.00	2.91	12	52.20	4.60
5	53.40	2.70	13	47.40	14.53
6	52.40	3.36	14	50.80	9.62
7	54.00	2.54	15	44.60	15.35
8	54.20	2.77	16 (RIO)	45.80	18.43

X = Media ± SD= Desviación Estándar

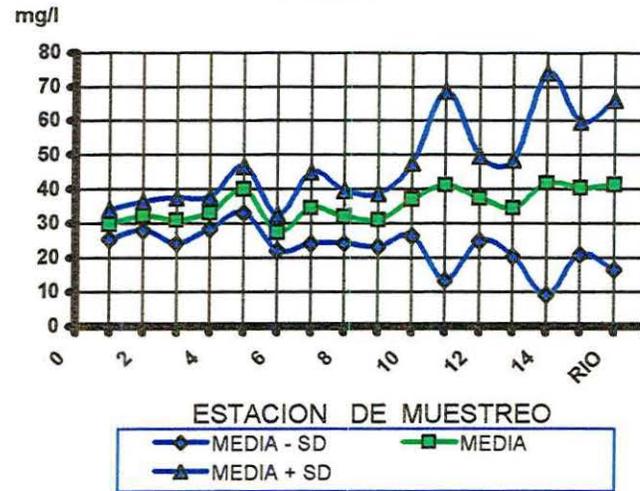
Estación	X	± SD	Estación	X	± SD
1	115.16	16.63	9	170.44	104.74
2	130.42	29.48	10	152.16	63.68
3	119.56	27.60	11	137.63	55.11
4	136.36	29.58	12	186.24	72.82
5	126.58	33.74	13	191.82	96.17
6	144.90	32.38	14	282.70	272.89
7	159.80	67.32	15	286.74	271.02
8	172.34	87.48	16 (RIO)	132.38	75.54

X = Media ± SD= Desviación Estándar

CONDUCTIVIDAD



D.Q.O.



La Conductividad presenta un comportamiento homogéneo en el agua del lago a lo largo de los 5 muestreos, únicamente en las estaciones cercanas a la desembocadura del Río Lerma se observa una mayor variabilidad, debido principalmente a un efecto de dilución con el agua que ingresa, que como se observa, presenta concentraciones inferiores de Conductividad a las presentes en el lago.

La Demanda Química de Oxígeno presenta un comportamiento homogéneo en el agua del lago a lo largo de los 5 muestreos. La variabilidad máxima se observa en las estaciones cercanas al Río Lerma, principal aporte de D.Q.O.

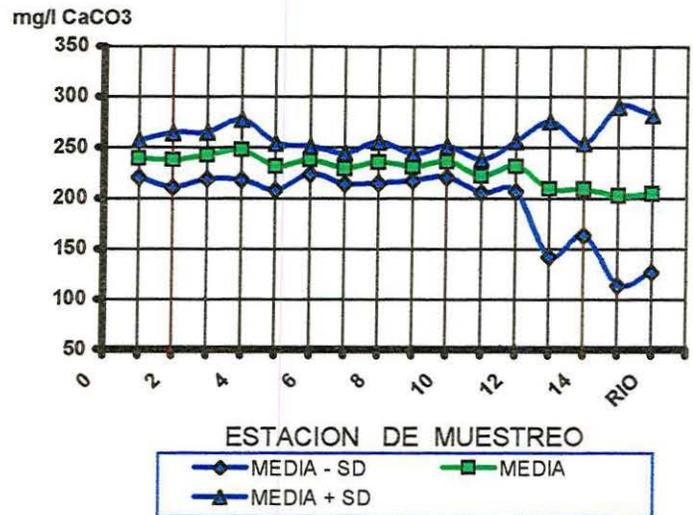
Estación	X	± SD	Estación	X	± SD
1	803.60	84.32	9	781.00	94.98
2	798.80	79.71	10	776.20	100.26
3	798.80	96.80	11	752.00	113.94
4	774.80	96.05	12	750.80	88.81
5	790.00	94.07	13	667.80	248.27
6	778.20	95.17	14	704.60	183.57
7	759.20	105.54	15	598.80	306.48
8	773.60	127.32	16 (RIO)	647.00	329.15

X = Media ± SD= Desviación Estándar

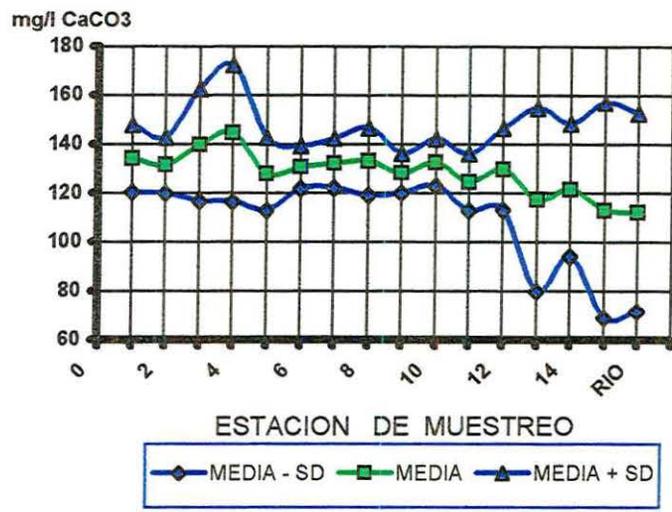
Estación	X	± SD	Estación	X	± SD
1	29.60	4.27	9	30.80	7.66
2	32.00	4.18	10	36.80	10.49
3	30.80	6.68	11	41.00	27.66
4	33.00	4.63	12	37.20	12.39
5	39.80	6.83	13	34.40	14.09
6	27.20	5.16	14	41.60	32.39
7	34.40	10.40	15	40.20	19.35
8	31.80	7.59	16 (RIO)	41.20	24.72

X = Media ± SD= Desviación Estándar

DUREZA TOTAL



DUREZA CALCICA



La Dureza Total presenta un comportamiento homogéneo en el agua del lago a lo largo de los 5 muestreos, únicamente en las estaciones cercanas a la desembocadura del Río Lerma se observa una mayor variabilidad, debido principalmente a un efecto de dilución con el agua que ingresa, que como se observa, presenta concentraciones inferiores de Dureza Total a las presentes en el Lago.

La Dureza Cálcaica presenta un comportamiento homogéneo a lo largo de los 5 muestreos, solo en las estaciones 3 y 4 se presenta un ligero aumento de las concentraciones de calcio y en las estaciones cercanas a la desembocadura del Río Lerma se observa una mayor variabilidad, debido principalmente a un efecto de dilución con el agua que ingresa, la cual presenta concentraciones inferiores a las presentes en el Lago.

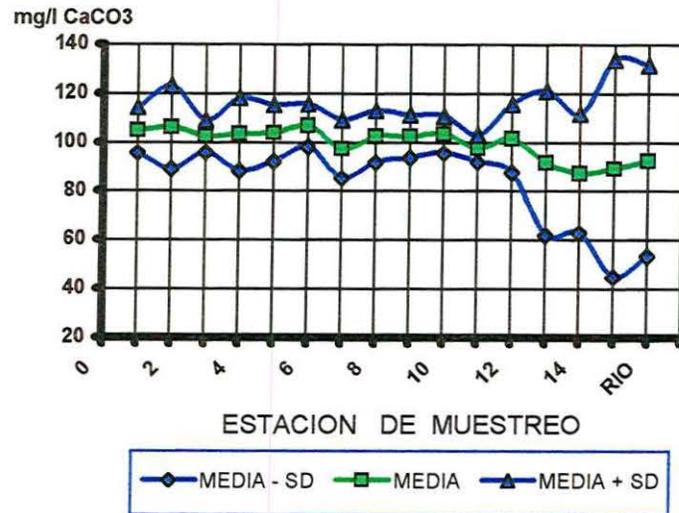
Estación	X	± SD	Estación	X	± SD
1	238.8	18.30	9	230.4	13.06
2	237.2	26.81	10	235.6	15.25
3	242.0	22.89	11	221.6	16.33
4	247.6	29.54	12	231.2	24.43
5	231.2	23.26	13	208.8	66.55
6	237.2	13.68	14	208.4	45.44
7	229.2	15.20	15	202.0	87.79
8	235.2	20.27	16 (RIO)	204.4	77.38

X = Media ± SD= Desviación Estándar

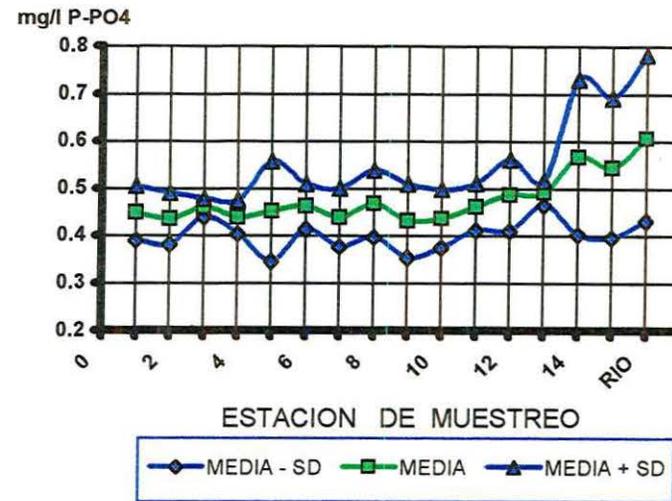
Estación	X	± SD	Estación	X	± SD
1	134.0	13.56	9	128.0	8.00
2	131.2	11.36	10	132.4	9.63
3	139.6	22.82	11	124.4	11.52
4	144.4	27.83	12	129.6	16.63
5	127.6	14.85	13	117.2	37.45
6	130.4	8.64	14	121.2	26.96
7	132.0	10.09	15	112.8	43.87
8	132.8	13.75	16 (RIO)	112.0	40.42

X = Media ± SD= Desviación Estándar

DUREZA MAGNESICA



FOSFORO TOTAL



La Dureza Magnésica presenta un comportamiento homogéneo en el agua del lago a lo largo de los 5 muestreos, únicamente se aprecia en las estaciones cercanas a la desembocadura del Río Lerma una mayor variabilidad, debido principalmente a un efecto de dilución con el agua que ingresa, que como se observa, presenta concentraciones inferiores de Dureza Magnésica a las presentes en el Lago.

El Fósforo Total presenta un comportamiento muy homogéneo en el agua del Lago a lo largo de los 5 muestreos, se aprecia como su variabilidad y mayor concentración se presenta en las estaciones cercanas a la entrada del Río Lerma, que presenta un valor de concentración promedio mayor.

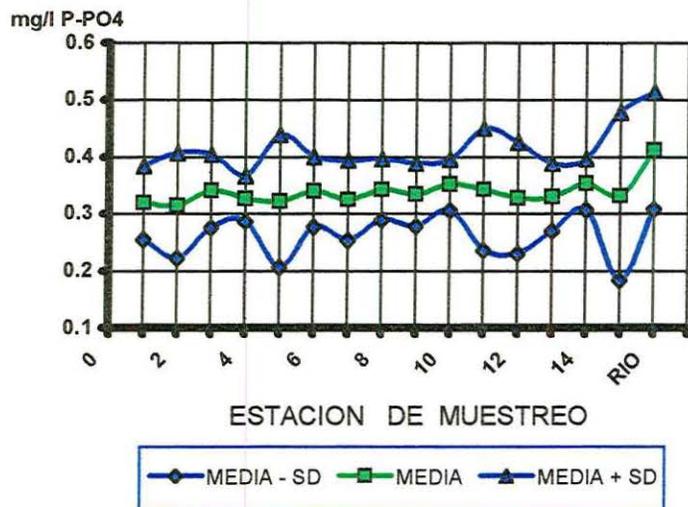
Estación	X	± SD	Estación	X	± SD
1	104.8	9.23	9	102.4	8.64
2	106.0	17.02	10	103.2	7.56
3	102.4	6.54	11	97.6	5.54
4	103.2	14.93	12	101.6	13.95
5	103.6	11.52	13	91.6	29.57
6	106.8	8.78	14	87.2	24.39
7	97.2	11.96	15	89.2	44.51
8	102.4	10.71	16 (RIO)	92.4	39.07

X = Media ± SD= Desviación Estándar

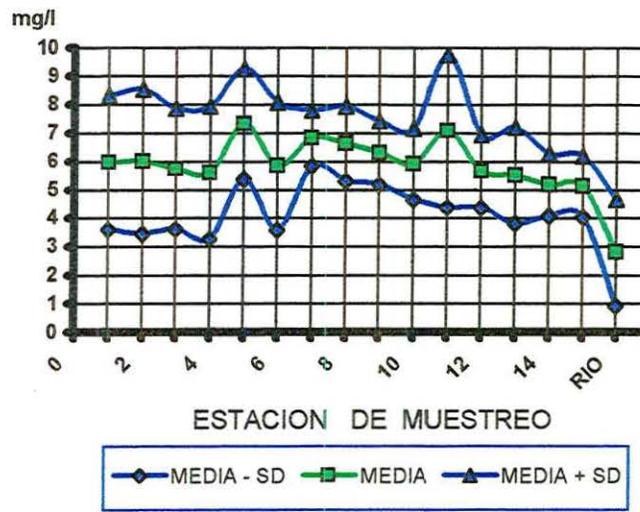
Estación	X	± SD	Estación	X	± SD
1	0.448	0.057	9	0.431	0.077
2	0.435	0.054	10	0.436	0.061
3	0.459	0.019	11	0.460	0.049
4	0.438	0.035	12	0.486	0.075
5	0.451	0.105	13	0.491	0.025
6	0.461	0.047	14	0.566	0.163
7	0.438	0.061	15	0.543	0.146
8	0.467	0.070	16 (RIO)	0.606	0.174

X = Media ± SD= Desviación Estándar

FOSFORO DE ORTOFOSFATOS



OXIGENO DISUELTO



El Fósforo de Ortofosfatos presenta un comportamiento muy homogéneo en el agua del Lago a lo largo de los 5 muestreos, se aprecia como su variabilidad y mayor concentración se presenta en las estaciones cercanas a la entrada del Río Lerma, que presenta un valor promedio de concentración mayor.

El Oxígeno Disuelto presenta un valor promedio relativamente homogéneo en los 5 muestreos, en las estaciones cercanas al Río Lerma la concentración es menor, debido a la carga contaminante y a los procesos de degradación que se efectúan en estas zonas.

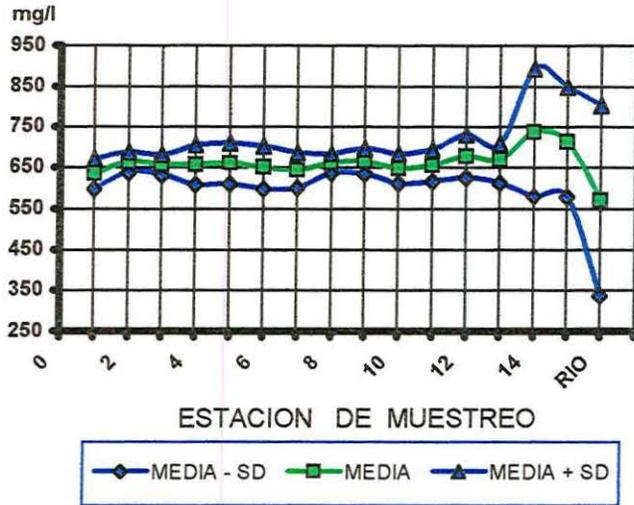
Estación	X	± SD	Estación	X	± SD
1	0.319	0.064	9	0.334	0.055
2	0.314	0.092	10	0.351	0.044
3	0.340	0.064	11	0.342	0.106
4	0.326	0.040	12	0.327	0.097
5	0.322	0.116	13	0.329	0.059
6	0.339	0.061	14	0.352	0.044
7	0.324	0.069	15	0.331	0.146
8	0.342	0.053	16 (RIO)	0.411	0.102

X = Media ± SD= Desviación Estándar

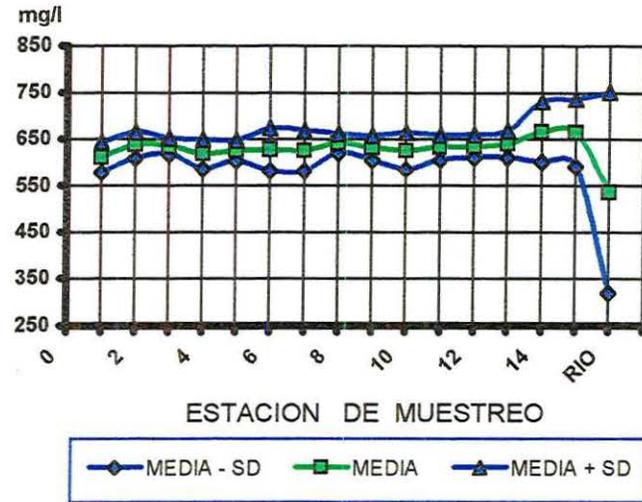
Estación	X	± SD	Estación	X	± SD
1	5.95	2.34	9	6.30	1.12
2	5.99	2.54	10	5.91	1.25
3	5.74	2.11	11	7.07	2.69
4	5.59	2.34	12	5.64	1.27
5	7.31	1.94	13	5.50	1.69
6	5.82	2.24	14	5.16	1.08
7	6.81	0.99	15	5.12	1.06
8	6.62	1.32	16 (RIO)	2.80	1.85

X = Media ± SD= Desviación Estándar

SOLIDOS TOTALES TOTALES



SOLIDOS DISUELTOS TOTALES



Los Sólidos Totales Totales presentan un comportamiento homogéneo en el agua del lago a lo largo de los 5 muestreos, únicamente en las estaciones cercanas a la desembocadura del Río Lerma se observa una mayor variabilidad, debido principalmente a un efecto de dilución con el agua que ingresa, que como se observa, presenta concentraciones inferiores de Sólidos Totales Totales a las presentes en el lago.

Los Sólidos Disueltos Totales presentan un comportamiento homogéneo en el agua del lago a lo largo de los 5 muestreos, únicamente en la estación correspondiente al Río Lerma se observa una mayor variabilidad, que como se observa, presenta en promedio concentraciones inferiores de Sólidos Disueltos Totales a las presentes en el lago.

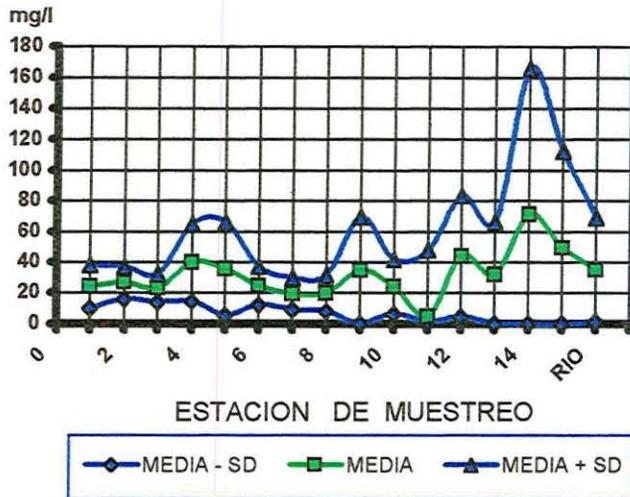
Estación	X	± SD	Estación	X	± SD
1	634.0	36.46	9	664.8	30.74
2	663.0	24.89	10	648.0	36.33
3	656.4	24.99	11	656.0	39.11
4	657.0	48.42	12	678.0	52.15
5	660.0	50.49	13	670.0	57.00
6	650.0	52.44	14	736.0	156.14
7	644.0	43.35	15	712.0	134.34
8	660.0	24.49	16 (RIO)	570.0	232.59

X = Media ± SD= Desviación Estándar

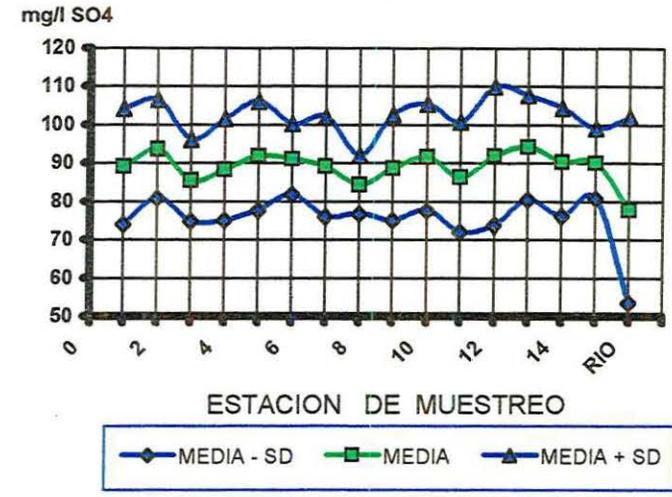
Estación	X	± SD	Estación	X	± SD
1	610.2	32.45	9	630.4	25.81
2	636.6	27.45	10	624.2	39.18
3	633.6	17.15	11	631.6	25.97
4	617.4	31.50	12	634.2	24.51
5	624.6	21.90	13	638.4	29.09
6	626.6	45.64	14	664.8	64.63
7	624.2	43.43	15	663.2	71.63
8	640.4	20.69	16 (RIO)	535.0	215.04

X = Media ± SD= Desviación Estándar

SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES



SULFATOS



Los Sólidos Suspendidos Totales presentan un comportamiento muy variable en el agua del lago a lo largo de los 5 muestreos, principalmente porque este valor es influenciado por la presencia tanto de material orgánico como de comunidades planctónicas, en las estaciones cercanas a la desembocadura del Río Lerma se presenta la mayor variabilidad.

Los Sulfatos presentan un comportamiento homogéneo en el agua del lago a lo largo de los 5 muestreos, únicamente en las estaciones cercanas a la desembocadura del Río Lerma se observa una mayor variabilidad, debido principalmente a un efecto de dilución con el agua que ingresa, que como se observa, presenta concentraciones inferiores de Sulfatos a las presentes en el lago.

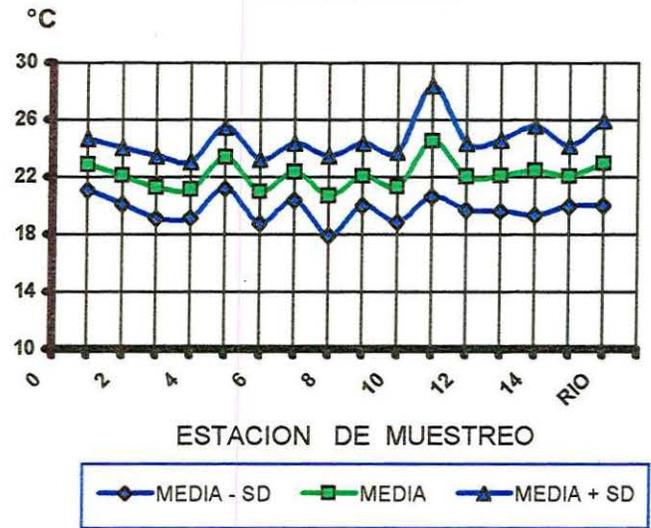
Estación	X	± SD	Estación	X	± SD
1	23.80	13.97	9	34.40	34.86
2	26.40	10.64	10	23.80	17.59
3	22.80	9.14	11	24.40	23.21
4	39.60	25.23	12	43.80	39.30
5	35.40	30.32	13	31.60	34.37
6	24.40	12.34	14	71.20	94.57
7	19.40	10.38	15	49.40	62.99
8	19.60	11.76	16 (RIO)	35.00	33.88

X = Media ± SD= Desviación Estándar

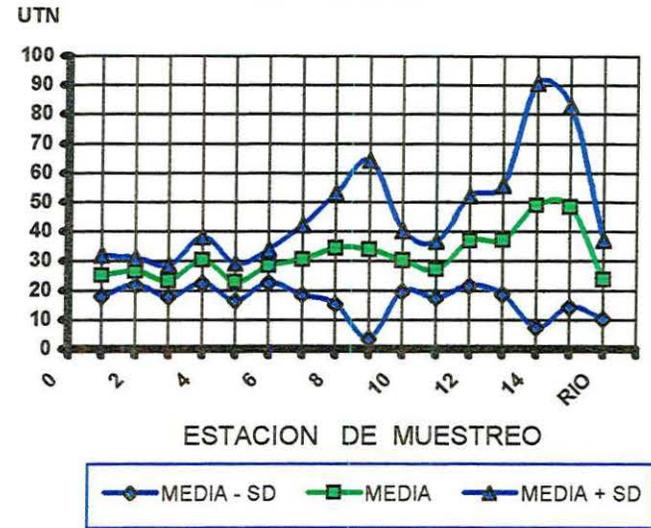
Estación	X	± SD	Estación	X	± SD
1	89.09	15.08	9	88.67	13.49
2	93.69	12.81	10	91.54	13.87
3	85.49	10.69	11	86.37	14.33
4	88.31	13.19	12	91.87	18.00
5	91.87	14.15	13	94.17	13.59
6	91.02	9.12	14	90.30	14.12
7	89.04	12.96	15	89.99	9.08
8	84.34	7.57	16 (RIO)	77.72	24.14

X = Media ± SD= Desviación Estándar

TEMPERATURA



TURBIEDAD



La temperatura presenta un comportamiento muy homogéneo, dado que depende principalmente de las condiciones atmosféricas, su variabilidad se mantiene constante en todo el lago.

La Turbiedad presenta un comportamiento no homogéneo en el agua del lago a lo largo de los 5 muestreos, en las estaciones del centro del lago y en las cercanas a la desembocadura del Río Lerma se observa una mayor variabilidad, debido probablemente a un mayor movimiento de las masas de agua y como efecto de dilución con el agua que ingresa.

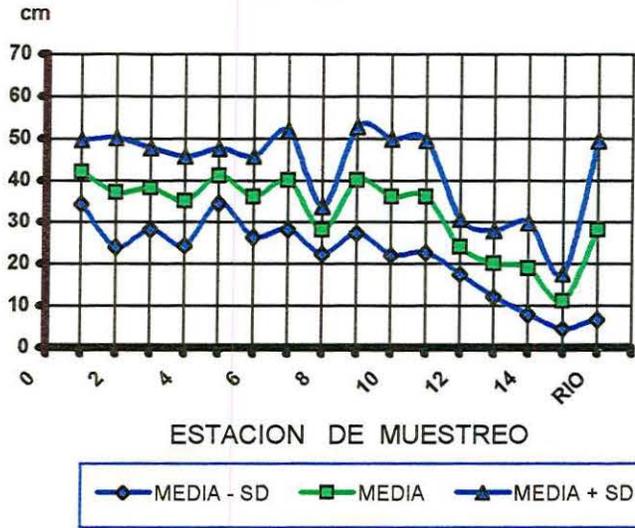
Estación	X	± SD	Estación	X	± SD
1	22.87	1.79	9	22.03	2.01
2	22.07	1.93	10	21.29	2.43
3	21.28	2.16	11	24.50	3.85
4	21.11	1.95	12	22.01	2.31
5	23.34	2.13	13	22.10	2.46
6	20.98	2.20	14	22.43	3.11
7	22.36	1.96	15	22.06	2.09
8	20.66	2.76	16 (RIO)	22.95	2.94

X = Media ± SD= Desviación Estándar

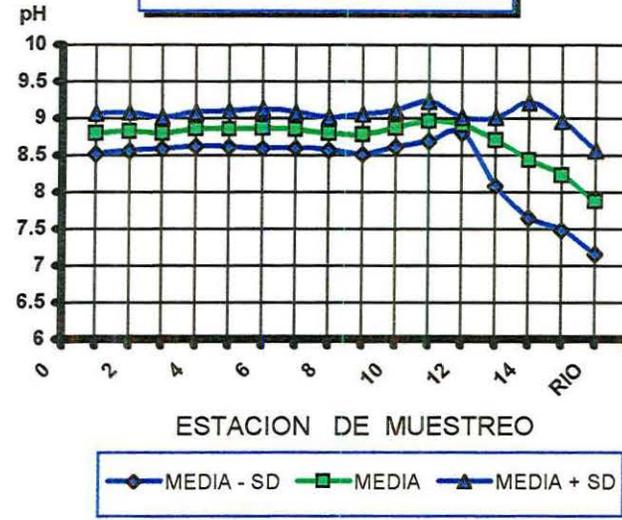
Estación	X	± SD	Estación	X	± SD
1	25.00	7.10	9	33.80	30.38
2	26.40	4.61	10	30.00	10.41
3	23.20	5.35	11	27.00	9.51
4	30.20	7.85	12	36.80	15.31
5	22.80	6.37	13	37.20	18.56
6	28.20	5.71	14	49.00	41.82
7	30.40	11.84	15	48.40	34.14
8	34.20	18.96	16 (RIO)	23.60	13.53

X = Media ± SD= Desviación Estándar

TURBIEDAD SECCHI



POTENCIAL HIDROGENO pH En Laboratorio



La Turbiedad Secchi presenta un comportamiento más homogéneo en el agua del lago a lo largo de los 5 muestreos, solo en las estaciones cercanas a la desembocadura del Río Lerma se observa una mayor variabilidad, debido probablemente a un mayor movimiento de las masas de agua y como efecto de dilución con el agua que ingresa y que presenta valores inferiores de Turbiedad Secchi.

El pH estimado en el laboratorio presenta un valor ligeramente alcalino y un comportamiento muy homogéneo a lo largo de los 5 muestreos, se aprecia como la mayor variabilidad se presenta en las estaciones cercanas a la entrada del Río Lerma, que presenta un valor promedio inferior de pH.

Estación	X	± SD	Estación	X	± SD
1	42.00	7.58	9	40.00	12.74
2	37.00	13.03	10	36.00	13.87
3	38.00	9.74	11	36.00	13.41
4	35.00	10.60	12	24.00	6.51
5	41.00	6.51	13	20.00	7.90
6	36.00	9.61	14	18.80	10.94
7	40.00	11.72	15	11.00	6.51
8	28.00	5.70	16 (RIO)	28.00	21.38

X = Media ± SD= Desviación Estándar

Estación	X	± SD	Estación	X	± SD
1	8.79	0.26	9	8.78	0.27
2	8.82	0.25	10	8.86	0.25
3	8.79	0.21	11	8.96	0.26
4	8.85	0.22	12	8.90	0.10
5	8.85	0.24	13	8.70	0.61
6	8.86	0.26	14	8.43	0.77
7	8.84	0.24	15	8.22	0.74
8	8.79	0.22	16 (RIO)	7.86	0.70

X = Media ± SD= Desviación Estándar

ANEXO 3

Resultados de géneros de fitoplancton identificados por fecha de muestreo

Diversidad de Fitoplancton

En las siguientes tablas se indica la presencia (1) o ausencia (0) de los géneros más frecuentes encontrados cada muestreo colectado en el lago de Chapala.

Muestreo 1 Septiembre de 1996

Género	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6	E-7	E-8	E-9	E-10	E-11	E-12	E-13	E-14	E-15
<i>Anabaena</i>	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0
<i>Aulacoseria</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1
<i>Aphanisomenon</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ceratium</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
<i>Closterium</i>	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0
<i>Euglena</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Mycrocystis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0
<i>Pediastrum</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
<i>Planctonema</i>	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
<i>Staurastrum</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1

Muestreo 2 Octubre de 1996

Género	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6	E-7	E-8	E-9	E-10	E-11	E-12	E-13	E-14	E-15
<i>Anabaena</i>	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
<i>Aulacoseria</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Aphanisomenon</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Ceratium</i>	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0
<i>Closterium</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1
<i>Euglena</i>	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1
<i>Mycrocystis</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
<i>Pediastrum</i>	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1
<i>Planctonema</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Staurastrum</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0

Muestreo 3 Diciembre de 1996

Género	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6	E-7	E-8	E-9	E-10	E-11	E-12	E-13	E-14	E-15
<i>Anabaena</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Aulacoseria</i>	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Aphanisomenon</i>	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0
<i>Ceratium</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Closterium</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Euglena</i>	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1
<i>Mycrocystis</i>	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0
<i>Pediastrum</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
<i>Planctonema</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Staurastrum</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1

Muestreo 4 Febrero de 1997

Género	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6	E-7	E-8	E-9	E-10	E-11	E-12	E-13	E-14	E-15
<i>Anabaena</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Aulacoseria</i>	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0
<i>Aphanisomenon</i>	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1
<i>Ceratium</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Closterium</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Euglena</i>	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0
<i>Mycrocystis</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
<i>Pediastrum</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1
<i>Planctonema</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Staurastrum</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1

Muestreo 5 Junio de 1997

	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6	E-7	E-8	E-9	E-10	E-11	E-12	E-13	E-14	E-15
<i>Anabaena</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Aulacoseria</i>	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
<i>Aphanisomenon</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Ceratium</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0
<i>Closterium</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
<i>Euglena</i>	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1
<i>Mycrocystis</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
<i>Pediastrum</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
<i>Planctonema</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>Staurastrum</i>	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1

Mora Navarro y Vázquez García. 2000. Revista Hidrobiológica.
Mora Navarro y Guzmán Arroyo. 2001. IBUC.

ANEXO 4

Evaluación teórica de toxicidad de elementos

Evaluación teórica de toxicidad de elementos

El agua puede contener sustancias que, hacen que se convierta en causa de enfermedad cuando se utiliza para satisfacer las necesidades biológicas, además de que puede ser inadecuada para satisfacer otras necesidades, causando un perjuicio económico, actuando como factor limitativo del desarrollo económico-social, además de los efectos negativos sobre el ecosistema.

El agua en la naturaleza suele contener una serie de elementos que pueden tener un gran interés sanitario. Las aguas naturales, tanto superficiales como profundas, constituyen soluciones más o menos concentradas de gases y sales minerales, en equilibrio con la atmósfera, además de partículas sólidas en suspensión

La incorporación de sustancias al agua nos puede llevar a establecer el concepto de contaminación, definida por la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa como "cualquier alteración en la composición o estado del agua, consecuencia directa o indirecta de las actividades humanas, haciéndola menos conveniente para su uso"

Hemos de tener en cuenta que, al referirnos a los perjuicios que puede causar la contaminación del agua, no podemos hablar sólo de los directos, ya que los daños pueden darse de forma indirecta como consecuencia de: riesgos ambientales, eutrofización, contaminación de alimentos etc.

Este hecho conduce a la definición de unos criterios que garanticen a la población un suministro de agua de calidad adecuada. Estos criterios sanitarios son adoptados en cada país, siendo recogido en las correspondientes Legislaciones, por lo que son de obligado cumplimiento. (Estudio sanitario del agua, 1995)

Alcalinidad

El dióxido de carbono suele estar presente en las aguas en mayor o menor proporción, mejorando las características organolépticas dándole un sabor más agradable, sin que represente un riesgo para la salud

La mayor importancia de este parámetro está en relación con las diferentes reacciones a que da lugar en el agua originando nuevos productos, de los que uno de los más importantes es, sin duda, el ión bicarbonato. Este ión, junto con carbonatos e hidróxidos, constituyen la denominada alcalinidad del agua. El equilibrio entre bicarbonatos y dióxido de carbono puede dar lugar a la disolución del carbonato cálcico (agresividad), o a la producción de incrustaciones, acciones que pueden superponerse a las reacciones electroquímicas de corrosión que ocurren entre los metales y el agua. (Estudio sanitario del agua, 1995)

Cloruros

El principal problema que plantean es el sabor desagradable en el agua, sobre todo cuando se encuentran en forma de cloruro sódico, potásico o cálcico, situándose el umbral gustativo en 200-300 mg/l. Además de la incidencia de los caracteres organolépticos, producen un efecto corrosivo, que para los elementos, de acero inoxidable el riesgo se incrementa a partir de los 50 mg/l.

El principal aporte de cloruros es la del hombre proviene de los alimentos, alcanzándose un promedio de 6 g/día. De acuerdo con un grupo de expertos de la OMS, se debe conseguir una reducción progresiva por lo que en las aguas se debe tender al valor guía que se establece para los cloruro; en 25 mg/l. (Estudio sanitario del agua, 1995)

No son dañinos a la salud, pero dan sabor desagradable al agua (arriba de 250 mg/l). Aceleran los procesos de corrosión e interfieren en procesos industriales. Son una buena medida de contaminación de aguas subterráneas con aguas residuales. Su presencia es indicativa de: Contaminación por aguas residuales, drenajes de irrigación, causas naturales y salinización (Curso de aguas residuales, 1992)

Color

Puede deberse a muy diversas sustancias. Su importancia fundamental es de índole estética, pero los efectos sensoriales pueden considerarse efectos sobre la salud. Un aspecto importante de esta característica es que puede interferir en el análisis químico de ciertos constituyentes del agua, por lo que habría que compensarlo o suprimirlo en los métodos de análisis por colorimetría. (Estudio sanitario del agua, 1995)

Afecta propiedades organolépticas, da mal aspecto al agua.

Afecta la fotosíntesis de la flora acuática, al impedir la entrada de luz.

Aumenta el costo del tratamiento, ya que hay que eliminarlo. (Curso de aguas residuales, 1992)

Conductividad

Otro parámetro sanitariamente importante, cuando nos referimos a los componentes mayoritarios, es la conductividad, porque muestra de una forma global la composición del agua. Este parámetro totaliza las sustancias de carácter iónico presentes en un agua, lo cual permitirá apreciar, mediante una única medida, un cambio significativo en la composición iónica.

De acuerdo con la conductividad se clasifican las aguas en relación al grado de mineralización. (Estudio sanitario del agua, 1995)

Para comprobar la pureza de un agua destilada o desionizada, se ha aceptado un alto grado de pureza de agua destilada la que contenga una resistencia específica de 500,000 ohms es decir 2.0 micromhoms/cm a 25 °C. La conductancia depende del tamaño, número de iones, carga de los mismos y la viscosidad.

Para encontrar el factor de los sólidos disueltos en un desecho de composición constante es necesario efectuar un mínimo de 10 determinaciones en un periodo de dos semanas.

El valor que multiplica el valor de la conductancia específica para obtener los sólidos disueltos varía de 0.56 a 0.9 dependiendo de los componentes solubles de determinada agua y la temperatura de la muestra. Es importante conocer el valor de la conductividad pues al aumentar ésta aumenta la presión osmótica lo que ocasiona una disminución en la respiración de las plantas. (Curso de aguas residuales, 1992).

Dureza

Dentro de los caracteres fisico-químicos tiene una gran importancia la dureza, que expresa, de forma conjunta, las concentraciones de calcio y magnesio presentes en un agua.

La dureza puede ser:

Dureza total: indica el contenido en calcio y magnesio.

Dureza cálcica: representa el contenido en calcio.

Dureza carbonatada o temporal: indica el contenido de calcio y magnesio en forma de sulfatos, cloruros, nitratos, etc.

Aunque se han formulado hipótesis sobre una correlación inversa entre las durezas y las enfermedades cardiovasculares, mientras que otras señalan una relación directa entre dureza y litiasis renal, lo cierto es que las consecuencias de la presencia de calcio y magnesio tienen un marcado carácter económico (precipitación de jabones aumentando su consumo, dificulta la cocción de las legumbres por formación de pectatos insolubles, dan lugar a la formación de incrustaciones, producen mayor desgaste de la ropa, etc.)

No obstante la importancia del magnesio en la dieta se está considerando actualmente. Desde comienzos de siglo existe una disminución de la ingesta en el mundo occidental, como consecuencia de la disminución del consumo de cereales, que son la fuente más abundante de magnesio, y el refinado y procesamiento de éstos.

Para el hombre y la mujer de tipo medio se recomienda una ingesta diaria de 420 y 330 mg. respectivamente. El déficit de magnesio favorece la hipertensión, y el suplemento en la dieta provoca disminuciones de la tensión arterial.

Estudios epidemiológicos recientes demuestran una asociación estadísticamente muy significativa entre la dureza y estas enfermedades, considerándose las aguas duras como factor protector, mientras que las agresivas carecen de relevancia. (Estudio sanitario del agua, 1995)

Efecto protector . No se recomienda su eliminación del agua de bebida exigiéndose un valor mínimo de 15 grados franceses en las ablandadas.

Dureza: Problemática por exceso y por defecto.

Exceso: más de 50 grados franceses . problemas de incrustaciones en la red, alto consumo de jabón y mala cocción de los alimentos.

Defecto: menos de 10 grados franceses . Problema de corrosión en conducciones si el agua es agresiva (dureza unida al bajo pH y baja alcalinidad)

Hierro-Manganeso: Tienen características comunes por lo que se estudian conjuntamente.

Altas concentraciones producen mal sabor, manchas en la ropa y utensilios y depósitos en conducciones.

Origen: Natural (en forma reducida) que al oxidarse precipita. El hierro puede tener también su origen en tuberías atacadas por aguas agresivas. (Agua)

Fosfatos

Se trata de uno de los aniones de mayor importancia biológica. Desde un punto de vista ecológico, el fósforo juega un papel importante en el desarrollo de productores primarios, que al ser en su mayor parte algas de pequeño tamaño, interfieren en los procesos de tratamiento, almacenamiento y distribución de las aguas de consumo. Por otra parte, cuando se trata de aguas bien estratificadas, contribuyen a la eutroficación. Entre los aspectos fisiológicos más importantes, la absorción, que ocurre muy fácilmente, salvo cuando los alimentos contienen grandes cantidades de calcio prácticamente insolubles que recorren el intestino sin ser absorbidos, excretándose con las heces (Estudio sanitario del agua, 1995).

El fósforo es un elemento que tiene mucha influencia en los estudios de calidad del agua, debido a que influye mucho sobre los procesos de productividad acuática, baja la eficiencia de los procesos de coagulación de tratamientos de agua, es difícil removerlo mediante tratamientos convencionales para obtener concentraciones bajas, forma gran variedad de compuestos y posee la característica de cambiar de una forma en determinadas condiciones.

El fósforo al igual que el hidrógeno, carbono, nitrógeno y azufre forma parte de los nutrientes primarios; si bien los nutrientes por sí mismos, normalmente, no son tóxicos ni peligrosos, pueden causar un crecimiento excesivo de algas y malezas en un cuerpo de agua. Estos crecimientos desmesurados pueden perjudicar algún uso en particular que tenga el agua, en especial el recreativo.

El incremento de fitoplancton puede causar problemas de olor y sabor en los sistemas de abastecimiento de agua, puede ocluir los filtros utilizados para remover sólidos, aumenta el índice de turbiedad y le imparte un determinado color al agua.

Como efecto subsiguiente puede abatir el contenido de oxígeno disuelto en algunas zonas de un cuerpo de agua (Curso de aguas residuales, 1992).

Oxígeno disuelto

Su acción es oxidante y se va a manifestar sobre los distintos compuestos contenidos en el agua dando lugar a fenómenos de corrosión. Afecta notablemente a las reacciones de oxidación-reducción en las que participan el hierro, manganeso, cobre, etc. Pero también es un indicador de la ausencia de procesos anaerobios, que tanto afectan a los caracteres organolépticos.

En general, el oxígeno disuelto debe ser considerado como un carácter positivo, ya que está íntimamente relacionado con la contaminación orgánica (generalmente de origen fecal). En las aguas con este tipo de contaminación, como consecuencia del metabolismo bacteriano (procesos autodepurativos), decae el contenido de oxígeno disuelto, solamente cuando ha sido oxidada la materia orgánica comienza a aumentar de nuevo.

En este sentido, puede ser considerado como un indicador de contaminación fecal. Por ello se recomienda mantener las concentraciones tan cerca como sea posible de la saturación, lo cual depende fundamentalmente de la temperatura, aunque puede ser influido por la presencia de determinadas sustancias presentes en el agua (Estudio sanitario del agua, 1995).

En los desechos líquidos, el oxígeno disuelto es el factor que determina el tipo de transformaciones biológicas que tienen lugar en su seno, efectuadas por microorganismos aerobios y anaerobios, según haya presencia o ausencia de oxígeno disuelto. Los microorganismos aerobios usan el oxígeno disuelto para la oxidación de la materia orgánica e inorgánica produciendo sustancias finales inofensivas tales como dióxido de carbono y agua, en cambio los microorganismos anaerobios efectúan la oxidación utilizando el oxígeno de ciertas sales inorgánicas tales como los sulfatos, obteniendo productos sumamente ofensivos. Por lo tanto, es muy importante mantener las condiciones favorables para el desarrollo de los microorganismos aerobios con el fin evitar olores ofensivos en las fuentes naturales de agua.

Así se puede ver que las mediciones de oxígeno disuelto, son vitales para conocer las condiciones (aerobias o anaerobias) de las aguas naturales que reciben materia de desecho. Por eso, una meta, de cualquier programa de control de la contaminación de corrientes, es garantizar un mínimo de oxígeno disuelto en el agua, tal que permita el desarrollo de la vida acuática (Curso de aguas residuales, 1992).

pH

Representa el comportamiento ácido o alcalino como resultado de las distintas sustancias presentes en el agua de las que el dióxido de carbono constituye uno de los factores más importantes. Sin embargo, se debe señalar la escasa repercusión de este parámetro en la salud, y las connotaciones, sobre todo de tipo económico, al intervenir como un importante parámetro en los procesos de corrosión, dando lugar a la solubilización de metales de las conducciones que pueden ser tóxicos. Generalizando, se puede decir que cuando el pH es inferior a 7, se pueden producir corrosiones de los metales del sistema de distribución, aumentando a medida que disminuye el pH. De otra parte, cuando es superior a 8 hay una disminución progresiva de la eficacia de la cloración (Estudio sanitario del agua, 1995).

Importancia sanitaria del pH: La determinación de la concentración de iones hidrógeno, a través del conocimiento del pH, es una práctica muy valiosa en el campo de la ingeniería del medio ambiente. Por ejemplo: en un sistema de abastecimiento de agua, el pH influye en los procesos de coagulación química, desinfección, ablandamiento y control de la corrosión; en los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales, debe ser mantenido dentro de un cierto ámbito que sea favorable a los organismos comprendidos en el sistema, la alteración del pH en un ecosistema puede causar la muerte de peces y esterilizar una corriente acuosa natural; las aguas de pH bajo, pueden aumentar la corrosión de las estructuras de acero o concreto; los procesos químicos para secar lodos o para oxidar ciertas sustancias como el ión cianuro, requieren un control estrecho del pH.

Por estas razones y debido a las relaciones fundamentales que existen entre pH, acidez y alcalinidad, es muy importante comprender tanto los aspectos teóricos como prácticos del pH. Mientras que los términos "alcalinidad" y "acidez" indican la reserva total o capacidad amortiguadora de una muestra, el valor del pH representa la actividad instantánea del ión hidrógeno.

La acidez, alcalinidad y la concentración de iones hidrógeno en una solución, están dados en términos de pH, la escala del pH provee un sistema donde la acidez de una solución puede ser medida con números enteros pequeños; prácticamente la escala se extiende de 0 a 14 con un punto neutro a la mitad, sin embargo puede haber soluciones muy ácidas con valores de pH negativos o muy alcalinos con valores mayores a 14 (Curso de aguas residuales, 1992).

Sulfatos

Pueden interferir con determinadas actividades industriales (p. ej. industria textil) y agrícolas. En cuanto a los efectos, influyen sobre la corrosión de tres formas diferentes: a) directamente, por un aumento de la mineralización y consiguiente aumento de la conductividad; b) indirectamente, por la participación en el ciclo de las bacterias sulfato-reductoras, desarrollándose corrosiones biológicas y c) por su participación en los procesos de degradación del hormigón.

En cuanto a los efectos sanitarios, cuando se superan determinados límites, se van a producir trastornos gastrointestinales, que se manifiestan, sobre todo en los niños. La ingestión de agua con alto contenido de sulfatos puede tener efecto laxante, sobre todo si van acompañados de magnesio. Las aguas con concentraciones de 1 mg/l actúan como purgantes para los adultos, y concentraciones más pequeñas, para niños y consumidores recientes. No obstante, las concentraciones de sulfatos que dan lugar a disfunciones fisiológicas en el hombre, son muy variables, dependiendo de la naturaleza de cada persona y produciéndose acostumbramiento (Estudio sanitario del agua, 1995).

Temperatura

La temperatura de un agua para consumo debe estar comprendida entre 8 y 15 °C, con un valor óptimo de 10. Conforme aumenta la temperatura a partir de este valor, se favorece gradualmente el desarrollo de microorganismos en las conducciones y se intensifican sabores y olores, mientras que conforme disminuye la temperatura por debajo de 10°C, se enlentecen las reacciones químicas de los distintos tratamientos, pudiéndose producir, además, efectos directos sobre otras propiedades del agua, ya que juega un papel importante en la solubilidad de las sales, de los gases, en la conductividad, pH, etc. (Estudio sanitario del agua, 1995).

Turbidez

Tiene una gran importancia sanitaria, ya que: puede ser indicio de contaminación, además de que puede proteger a los microorganismos de los efectos de la desinfección, estimular el crecimiento de bacterias y aumentar la demanda de cloro. Es conveniente resaltar que la cloración no es eficaz en aguas que presentan turbidez, por lo que es indispensable su clarificación previa para conseguir una adecuada desinfección (Estudio sanitario del agua, 1995).

Impide el paso de luz, afectando la fotosíntesis
Obstrucción de huecos del fondo donde desovan peces
Afecta las propiedades organolépticas
Aumenta el costo del tratamiento
Afecta el proceso de determinadas industrias (Curso de aguas residuales, 1992).

Caracteres organolépticos

Los caracteres organolépticos tienen una importancia que no debe ser subestimada, ya que el agua de aspecto o sabor desagradables puede incitar al consumidor a recurrir a una fuente no inocua y a dispositivos de tratamiento que entrañen riesgos para la salud.

Por otra parte, la alteración de los caracteres organolépticos puede indicar la presencia de sustancias con efectos sanitarios, además de otras concomitaciones tales como aumento de la demanda de

desinfectante, disminución de la eficacia del desinfectante, reticencias a consumir agua con alteración de los caracteres organolépticos, sensación de no potabilidad etc. (Estudio sanitario del agua, 1995).

Componentes con menor importancia sanitaria y cuyos límites pueden variarse según las necesidades del país. (Agua, hojas sueltas) dentro de estos caracteres podemos considerar: olor, sabor, color y turbidez.

Olor

Se debe fundamentalmente a la presencia de sustancias orgánicas, así como el desarrollo de microorganismos tales como bacterias del hierro y azufre. Su presencia en el agua indica, de forma casi segura, algún tipo de contaminación de la fuente de agua o alguna deficiencia durante el tratamiento o distribución (Estudio sanitario del agua, 1995).

Sabor

El sentido del gusto detecta mejor que el olfato la presencia de sustancias inorgánicas, aunque un agua libre de sabor no garantiza que esté libre de microorganismos patógenos o de ciertos compuestos tóxicos. Muchas sustancias, presentan un umbral gustativo y olfativo inferior al umbral de toxicidad, lo que constituye un importante beneficio sanitario. Se puede citar, como ejemplo, los clorofenoles (Estudio sanitario del agua, 1995).

Componentes mayoritarios

Dentro de los caracteres físico-químicos se incluyen una serie de parámetros que son componentes habituales de las aguas naturales, regulándose sus concentraciones máximas por sus efectos sanitarios o económicos (Estudio sanitario del agua, 1995).

Nitratos y nitritos

Son de una gran importancia en las aguas de consumo, ejerciendo un efecto negativo en la salud, con acciones tóxicas y con un importante papel en la génesis del cáncer.

De una forma general, se pueden esquematizar las acciones de los nitritos en tres clases fundamentales:
Metahemoglobinizante
Vasodilatadora
Nitrosante

Los nitratos son fácilmente reducidos a nitritos mediante la acción biológica de determinadas bacterias que poseen nitroreductasas, y los nitritos intervienen en algunas reacciones importantes desde un punto de vista sanitario, dando reacciones de diazotación y en ciertas condiciones, originan nitrosaminas.

En relación con los aspectos sanitarios originan metahemoglobinemia infantil, debido a que en niños de corta edad, fundamentalmente lactantes, el jugo gástrico insuficientemente ácido permite el desarrollo de microorganismos productores de reductasas, originándose nitritos. Estos al ser absorbidos, pasan a la sangre combinándose con la hemoglobina y dando lugar a la metahemoglobina, con menor capacidad de transporte de oxígeno, lo que origina un estado de cianosis. Esta aclorhidria fisiológica, hasta los seis meses, no ocurre en niños de mayor edad y adultos, en los que al existir una acidez gástrica más elevada, no se produce una proliferación bacteriana en los tramos altos del intestino, por lo que no ocurre esta reducción de nitratos a nitritos, lo que determina que la dosis admitida, sin la aparición de ningún tipo de alteraciones, puede ser mucho mayor que en el caso de los niños.

También los nitratos y nitritos originan nitrosaminas al reaccionar con aminas secundarias de origen alimentario, habiéndose demostrado mediante experimentación animal que poseen una fuerte acción cancerígena. Por otra parte, los nitritos ejercen sobre el sistema cardiovascular un efecto vasodilatador periférico (Estudio sanitario del agua, 1995).

Nitrógeno

El análisis del nitrógeno ha sido practicado desde que el hombre se convenció que el agua puede transmitir enfermedades. Durante mucho tiempo el análisis de éste ha sido una base de juicio para determinar la calidad sanitaria del agua. Hoy en día los análisis de nitrógeno se efectúan por diferentes razones. Se sabe que las aguas contaminadas tienen el poder de la autopurificación en un periodo determinado de tiempo. La posibilidad de contraer enfermedades por la ingestión del agua contaminada decrece con el tiempo y con el aumento de temperatura.

Previo al desarrollo de las pruebas bacteriológicas para determinar la calidad del agua, las personas encargadas de conservar la salud pública dependieron de las pruebas químicas para identificar la presencia de contaminación. Trabajos químicos con desechos de agua recientemente contaminada muestran que mucho del nitrógeno se encuentra en forma orgánica (proteínas) y amoniaco.

A medida que pasa el tiempo, el nitrógeno orgánico se convierte en nitrógeno amoniacal y posteriormente, si se encuentra en condiciones aerobias, se oxida a nitritos y nitratos. Por ejemplo, las aguas que contienen principalmente materia orgánica y amoniaco se considera que fueron recientemente contaminadas y por tanto de peligro potencial. Las aguas en las que el nitrógeno se encuentra en forma de nitratos se considera que fueron contaminadas mucho tiempo antes y por tanto son menos dañinas a la salud pública (Curso de aguas residuales, 1992).

Nitratos

Matahemoglobinemia, en niños. La OMS recomienda no utilizar en la preparación de biberones aguas con nitratos superiores a 100 mg/l.

Causas: pH neutro del estómago del niño

Paso de nitratos a nitritos

Hervido de biberones con la consiguiente concentración en nitratos

Ausencia de enzimas de paso de meta a hemo en el niño

Es preciso tener en cuenta el aumento progresivo en los niveles y la posible existencia de valores de matahemoglobina subclínicos producidos por valores de nitratos entre 50 y 100 mg/l.

Carcinogenicidad: paso de nitratos a nitritos por aciclora en el estómago. Posteriormente se unen con aminos para dar lugar a nitrosaminas.

Origen: Puede ser de origen natural, aún cuando la mayor proporción, con mucho es debida a escorrentias y filtraciones de tratamientos agrícolas.

Reducción: posteriormente de las captaciones evitando tratamientos agrícolas en las proximidades, mezcla con otras aguas de mejor calidad.

Se lleva a cabo una pequeña aproximación a los componentes orgánicos. Unicamente contemplamos los plaguicidas, los hidrocarburos aromáticos policíclicos y los haloformos. (Agua, hojas sueltas)

Cromo

Se considera que su presencia está casi siempre relacionada con la contaminación producida por determinadas actividades industriales. Aunque se trata de un elemento tóxico, la ingesta de pequeñas cantidades, del orden de varios microgramos, es considerada como útil para el metabolismo de la glucosa, e incluso ciertos autores indican que este tendría cierta acción protectora contra la arteriosclerosis. No obstante, desde un punto de vista sanitario, el cromo ejerce una toxicidad hepatorenal, además de un efecto cancerígeno, siendo el cromo hexavalente más tóxico que el trivalente (Estudio sanitario del agua, 1995).

Detergentes

Si bien, todos los detergentes se degradan por un ataque biológico, el grado de descomposición se relaciona con su estructura química. Así tenemos que las ramificaciones en la cadena alquílica del surfactante ABS, causan un retardo definido en su degradación, esta resistencia persiste aún después del tratamiento biológico normal. En los efluentes de las plantas de tratamiento de lodos activados, se observa una degradación del 50% en la ABS y de un 90% en el LAS, en relación al influente.

Entre las dificultades causadas por un alto contenido de detergentes en agua y aguas de desecho tenemos:

Espuma: Desde el punto de vista estético es indeseable la formación de espuma en los cuerpos de agua. En plantas de tratamiento provoca problemas de operación, oculta los equipos de control y recubre las superficies de trabajo con sedimentos que contienen altas concentraciones de surfactantes, grasas, proteínas y lodos, también dificulta la dilución y difusión del oxígeno atmosférico en el agua.

Toxicidad: No es posible dar un valor como límite de toxicidad debido a que los seres vivos presentan sensibilidades variables a los efectos de los detergentes, aún dentro de la misma especie. Por otra parte, la sensibilidad o resistencia es variable (Curso de aguas residuales, 1992).

Calidad microbiológica

Efectos:

Manifestaciones asintomáticas

Gastroenteritis

Miocarditis

Meningitis

Enfermedades respiratorias

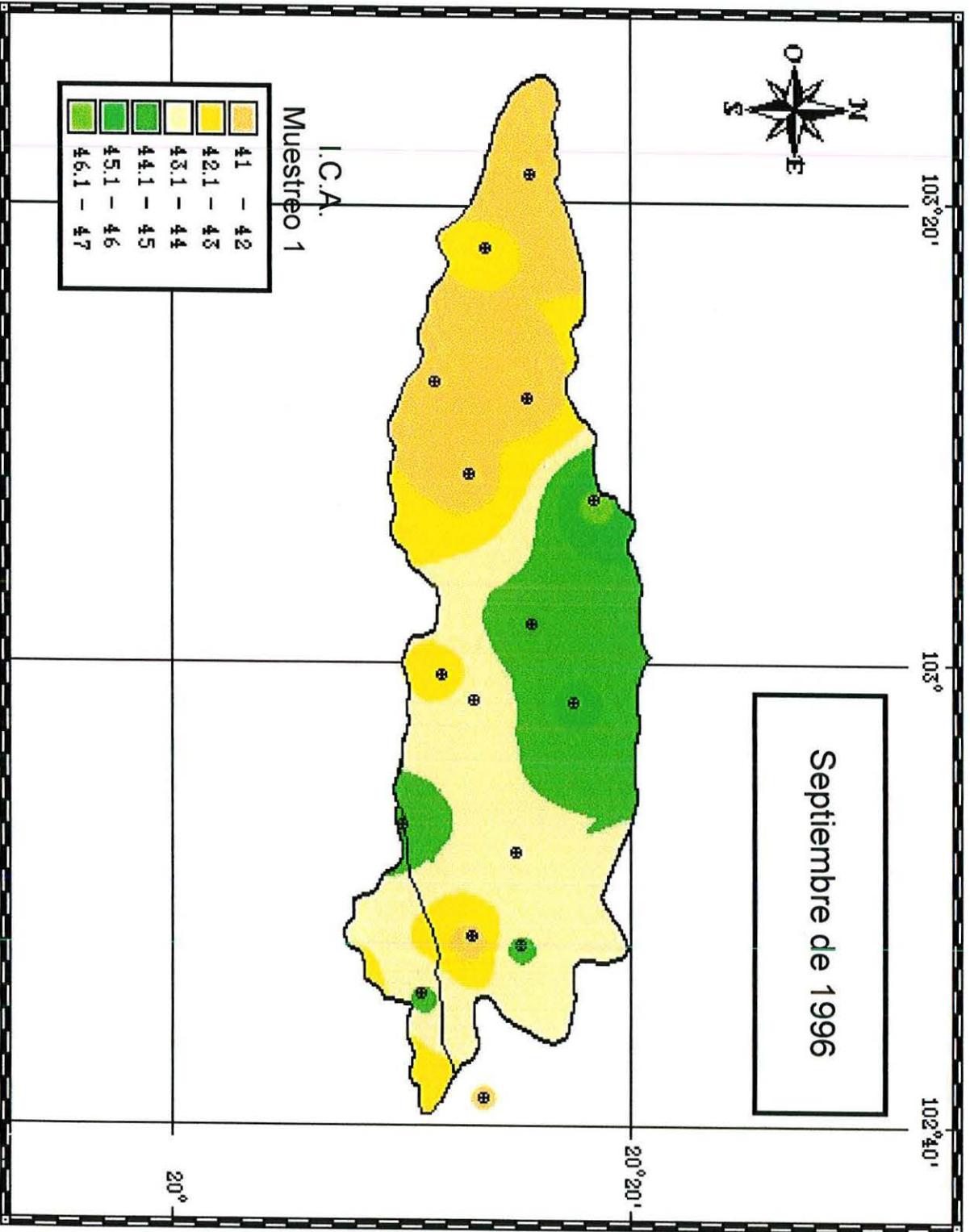
Hepatitis

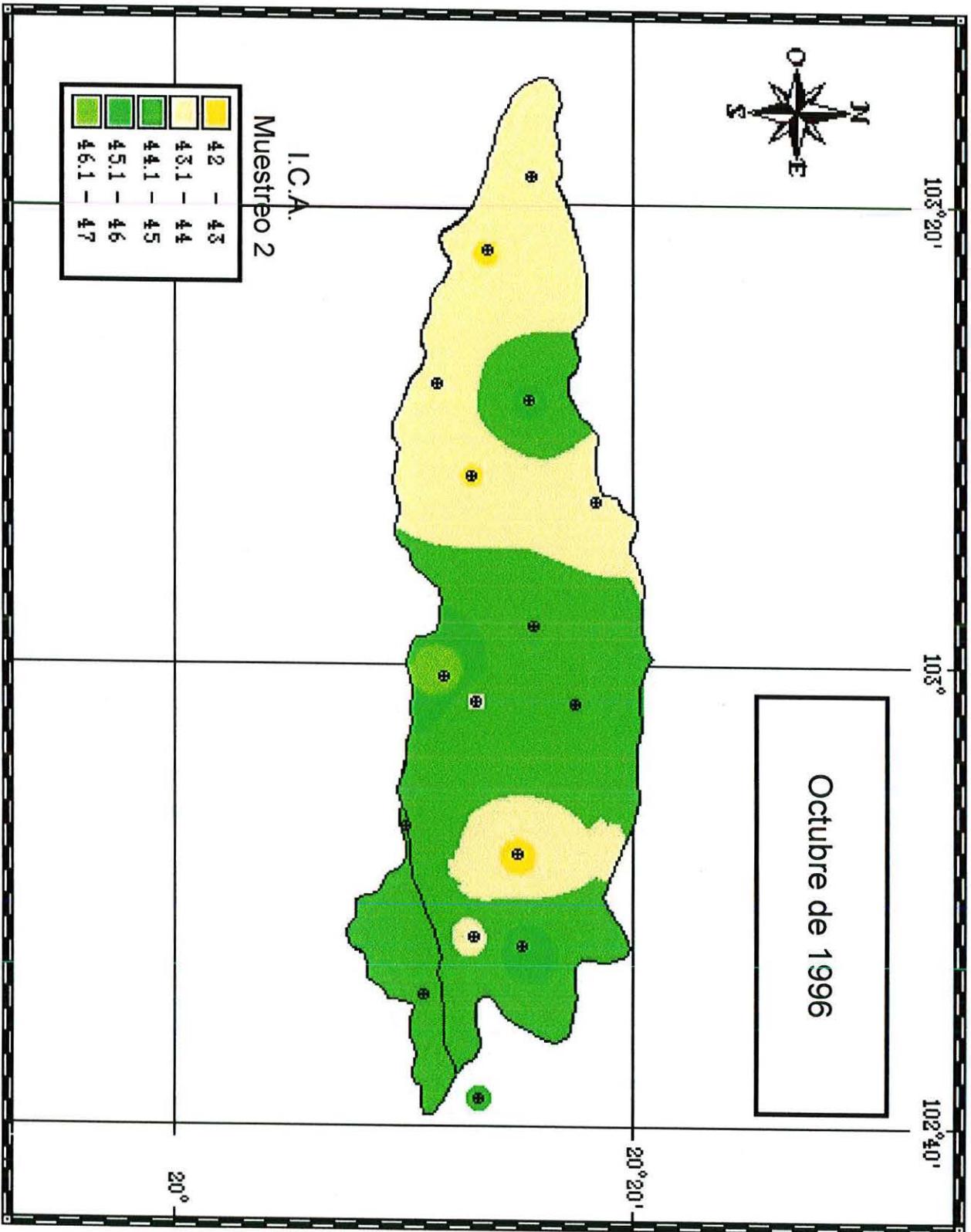
Los riesgos para la salud debidos a productos químicos difieren de los contaminantes microbiológicos. Normalmente tienen efectos acumulativos por prolongados periodos de exposición.

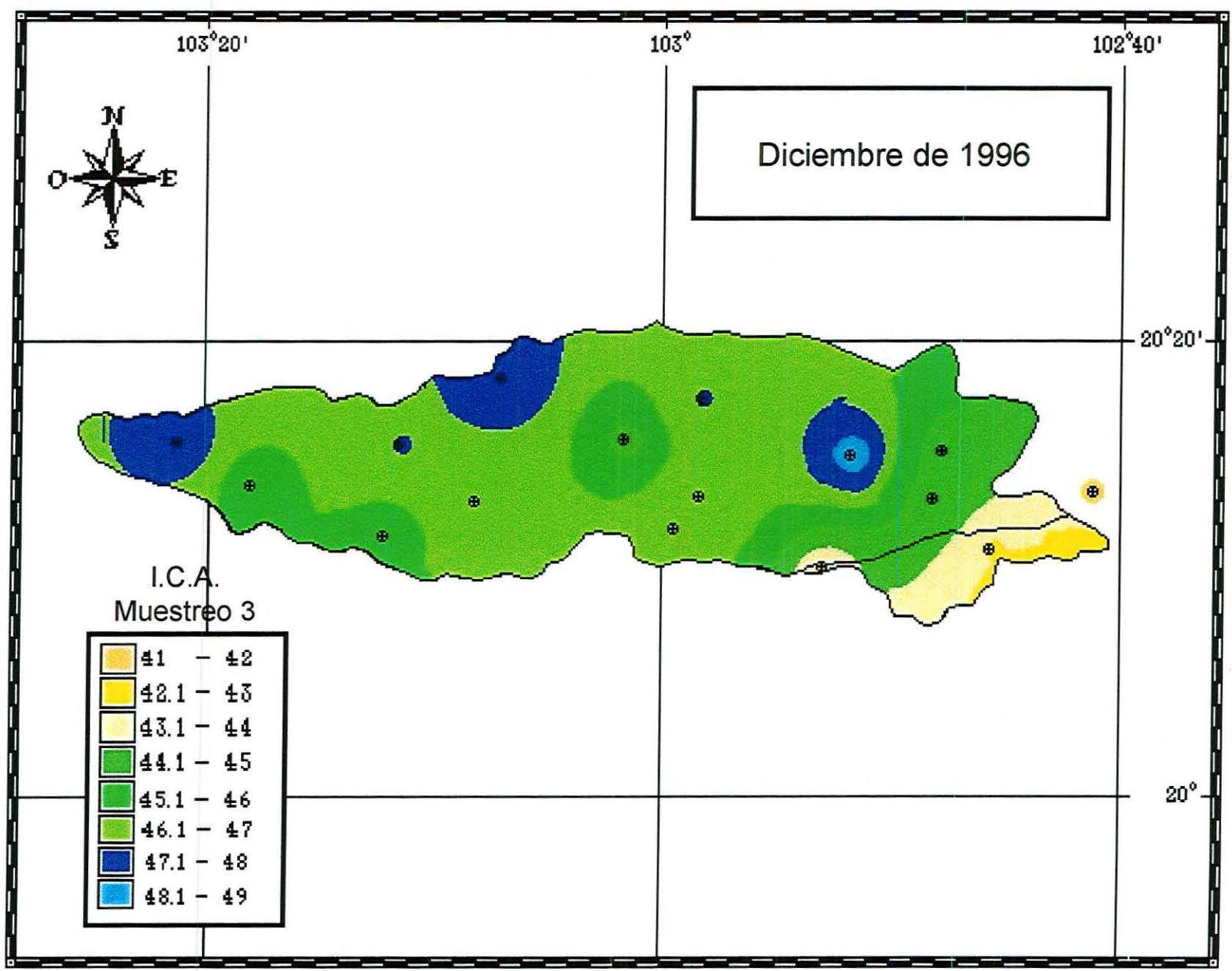
ANEXO 5

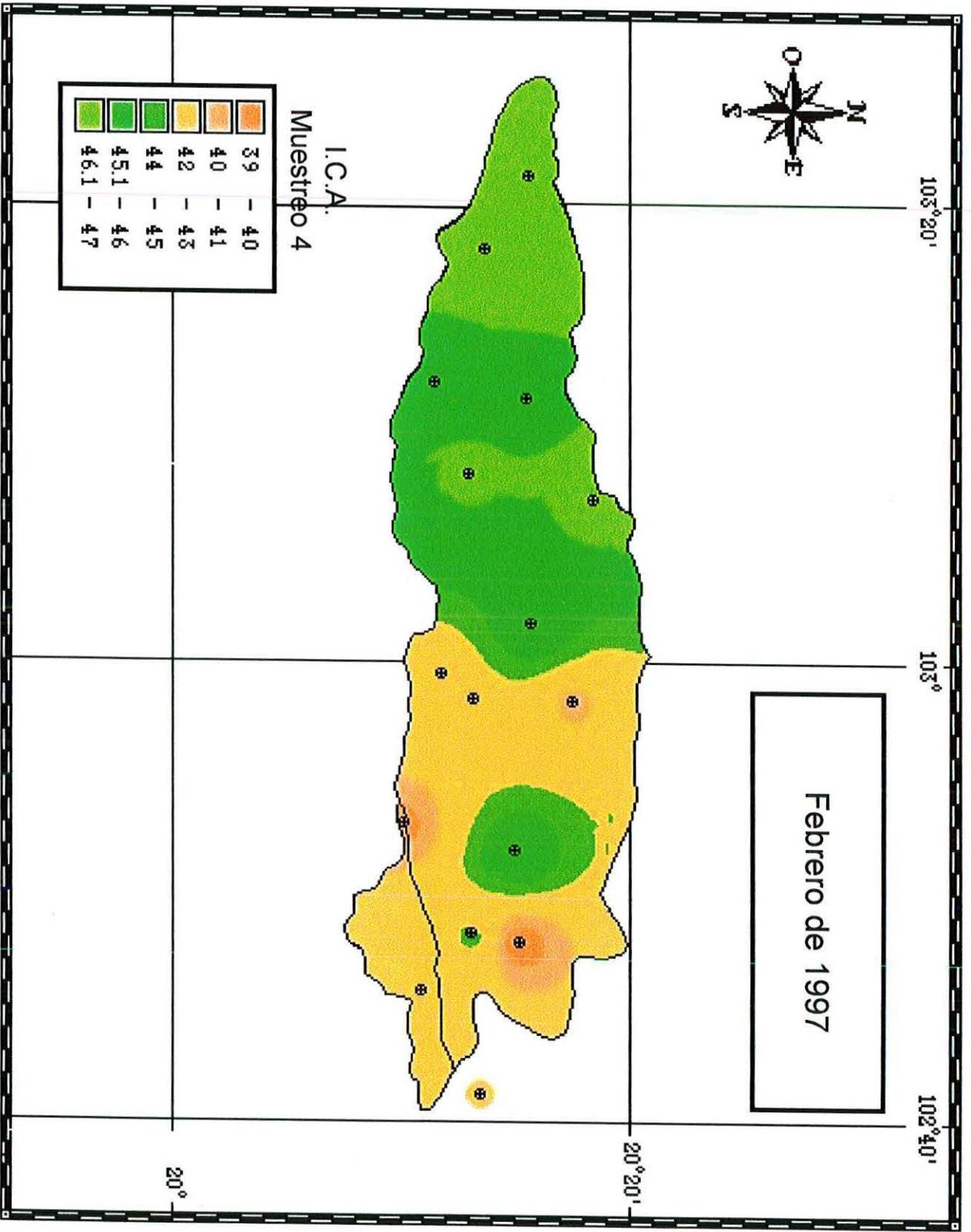
Distribución espacial de Índices de Calidad del Agua

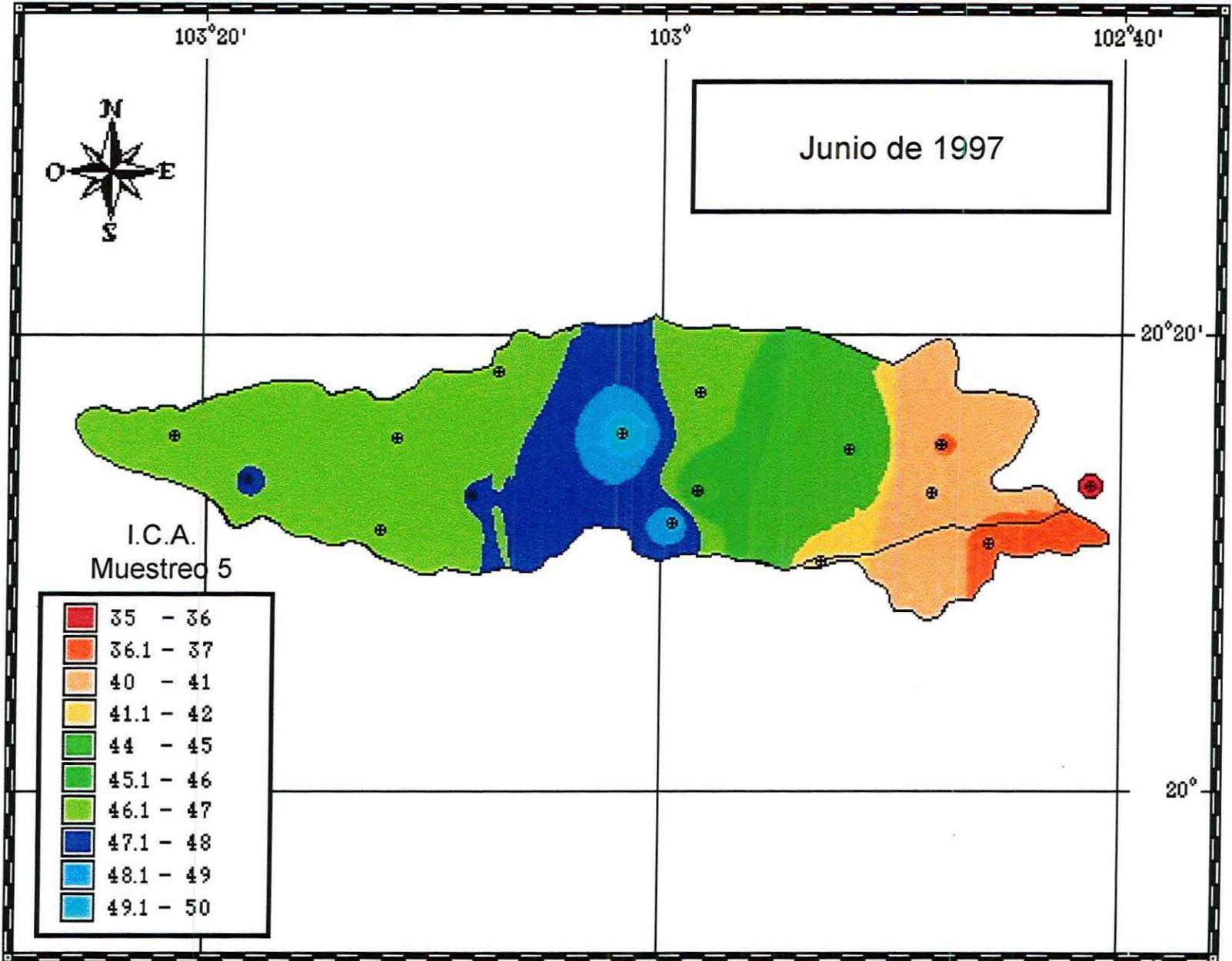
Distribución espacial de Diversidad Fitoplanctónica

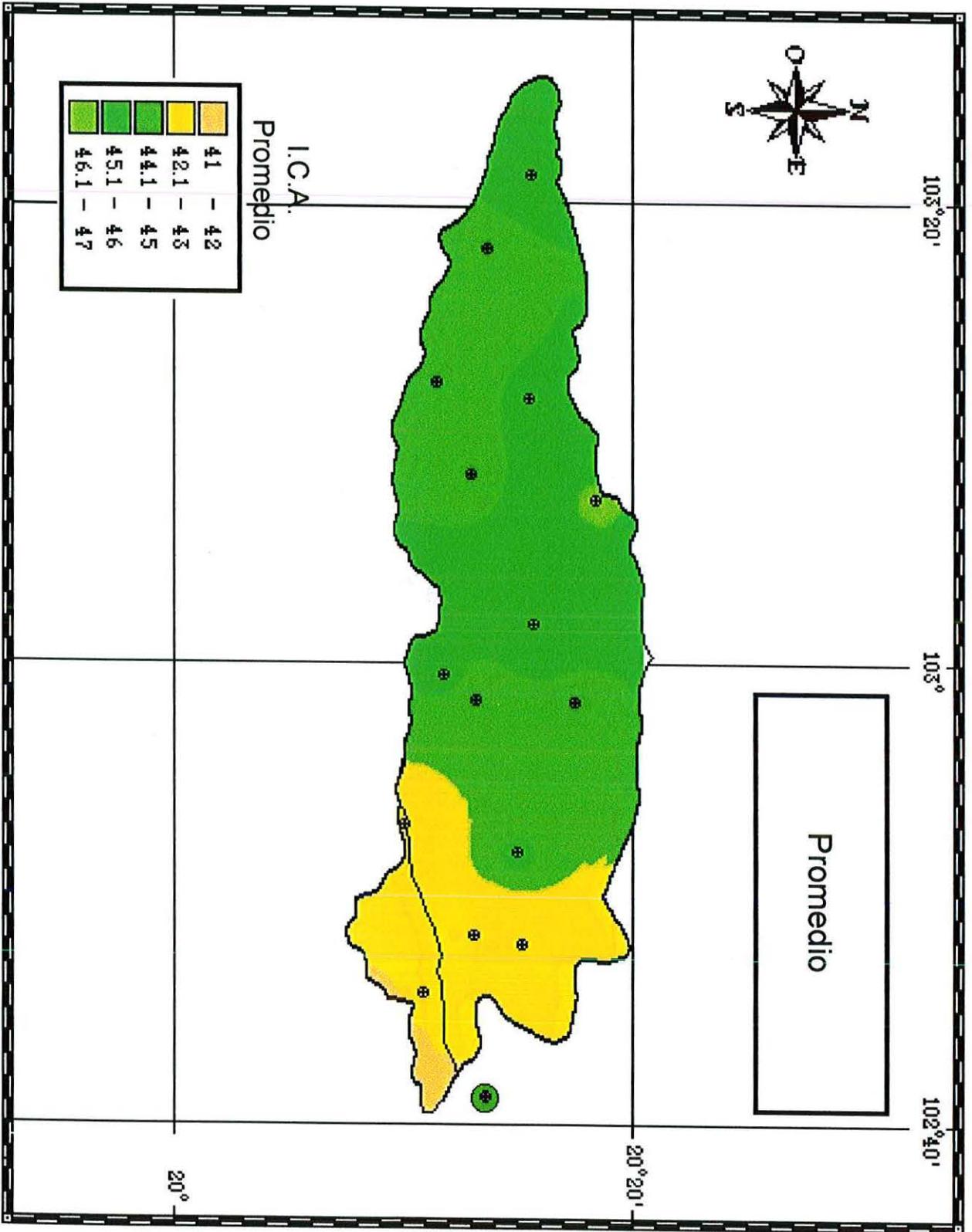


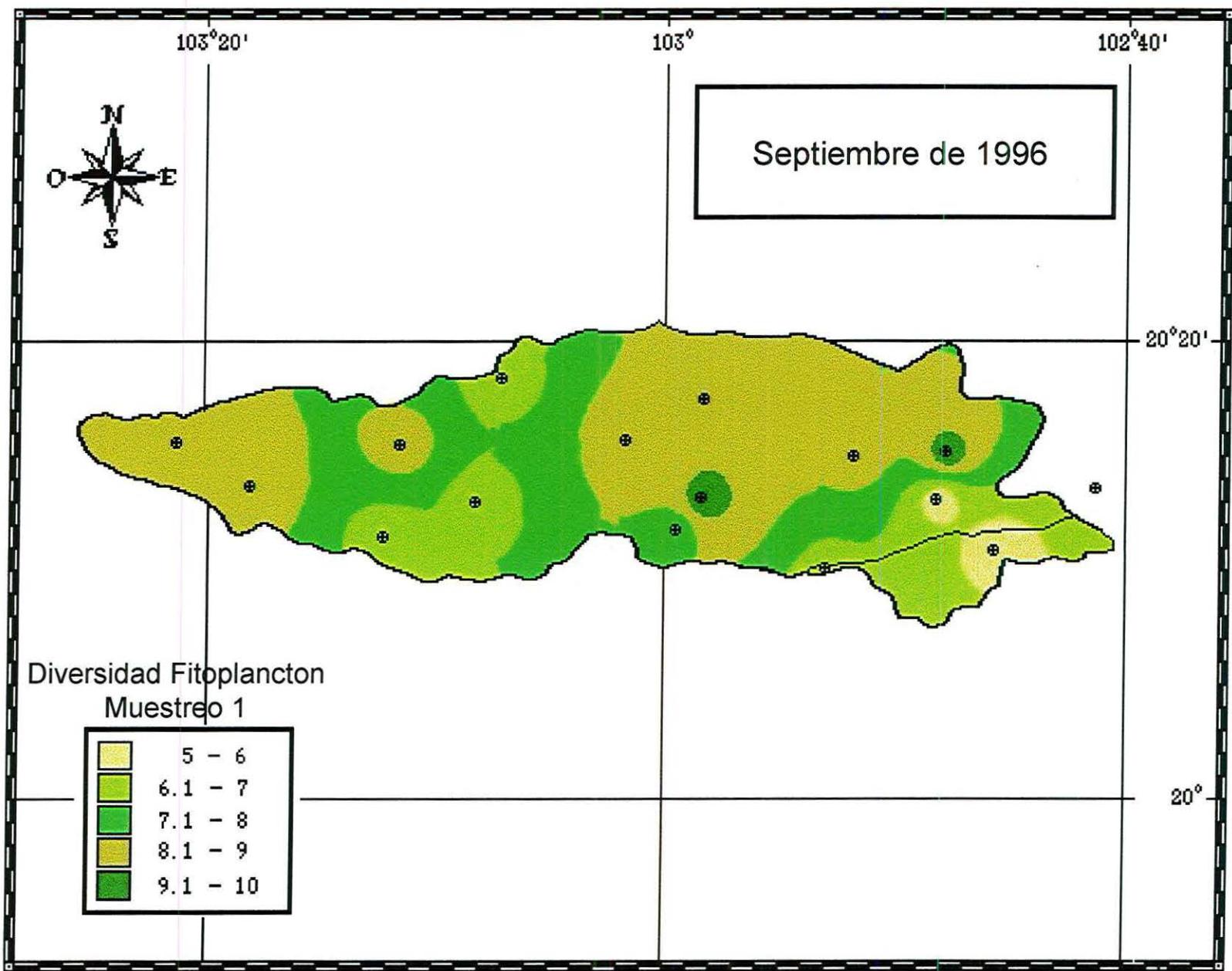


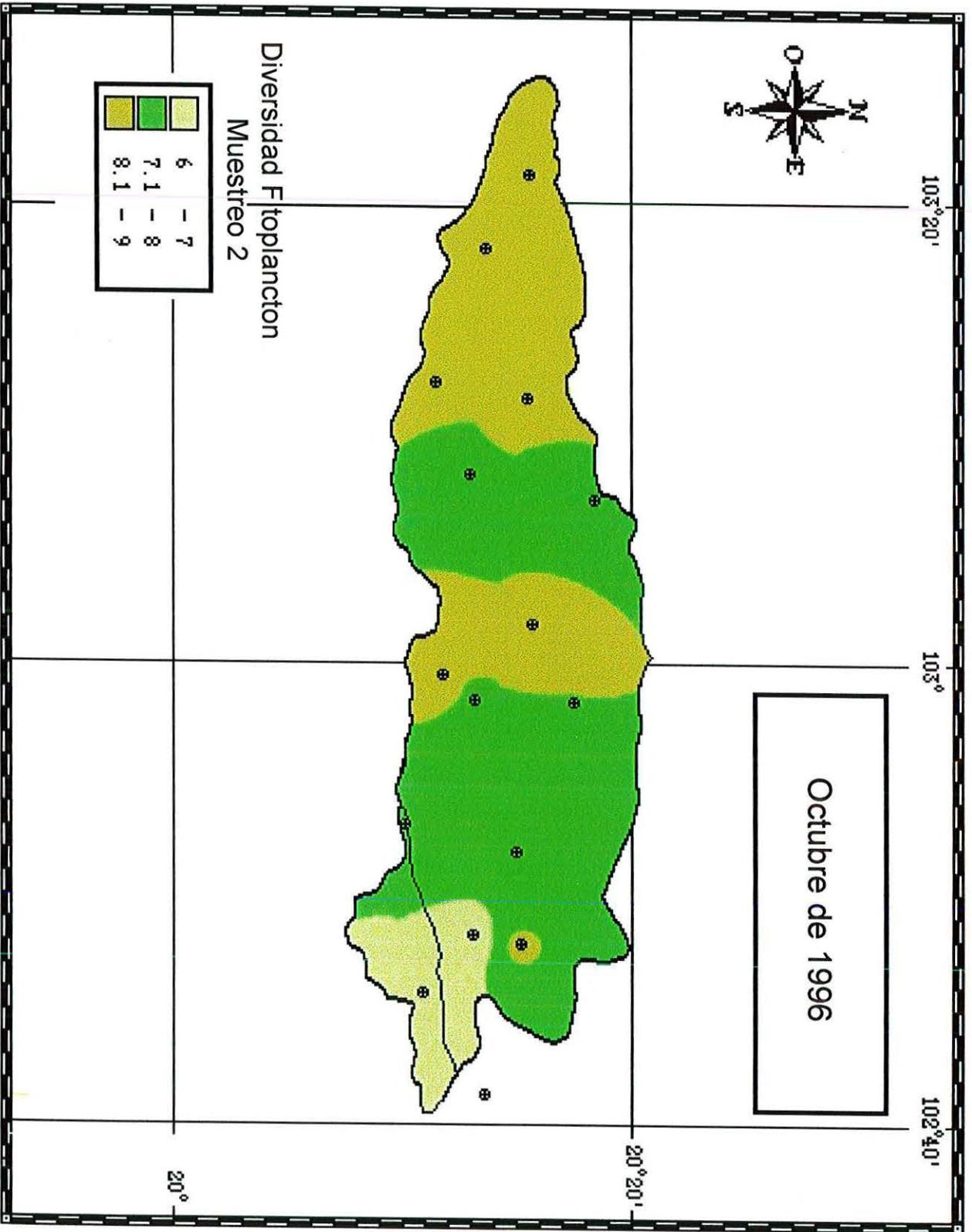


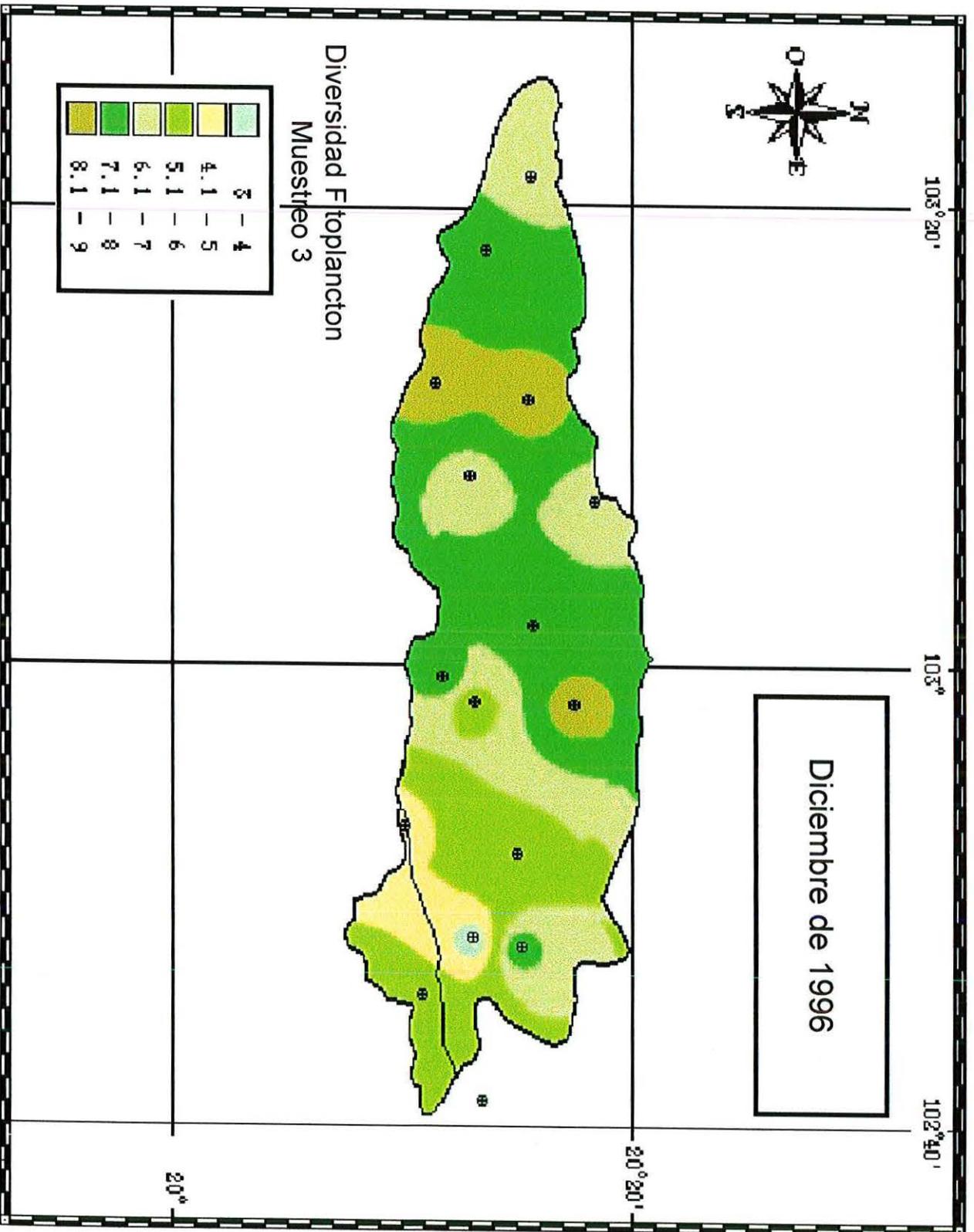


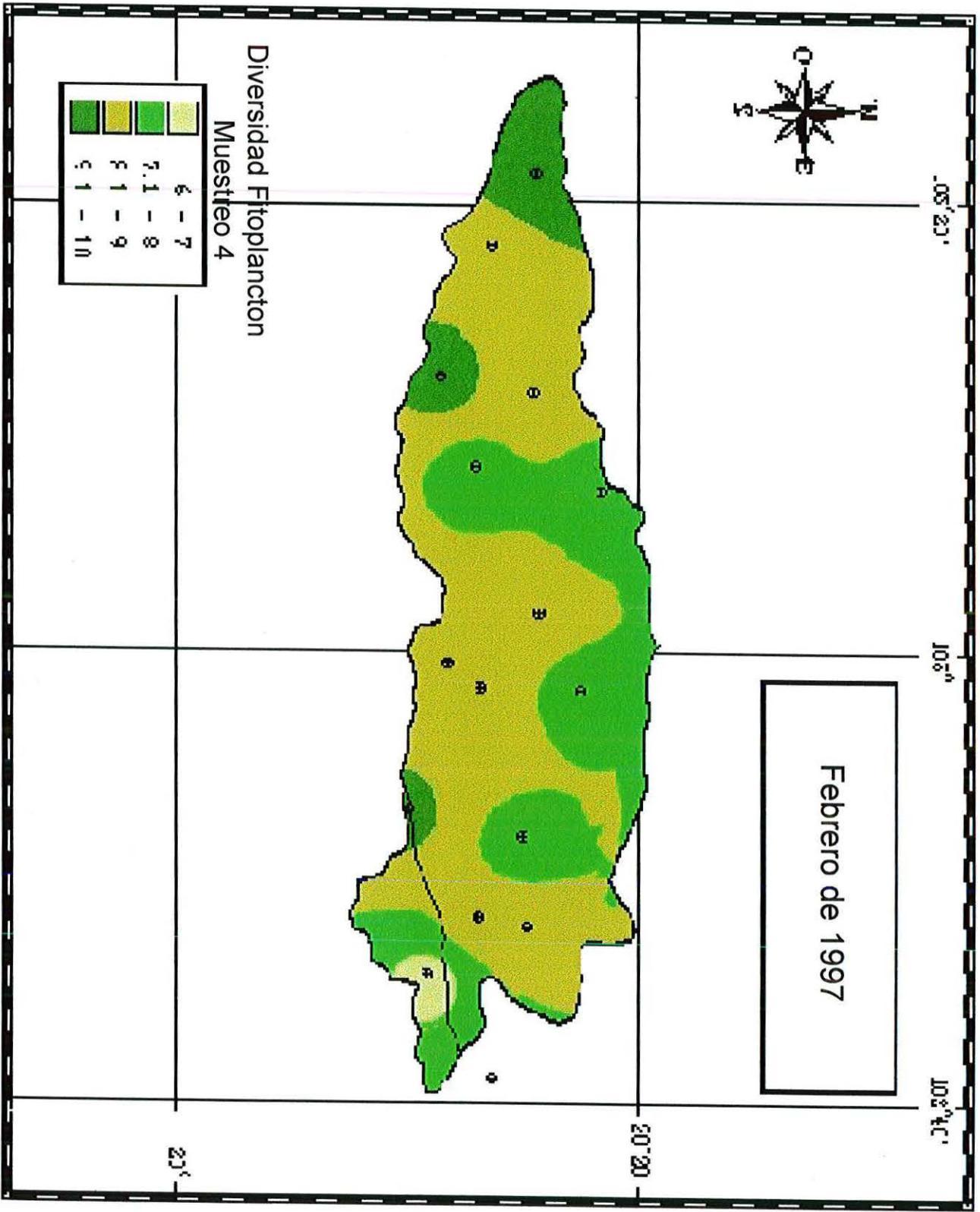


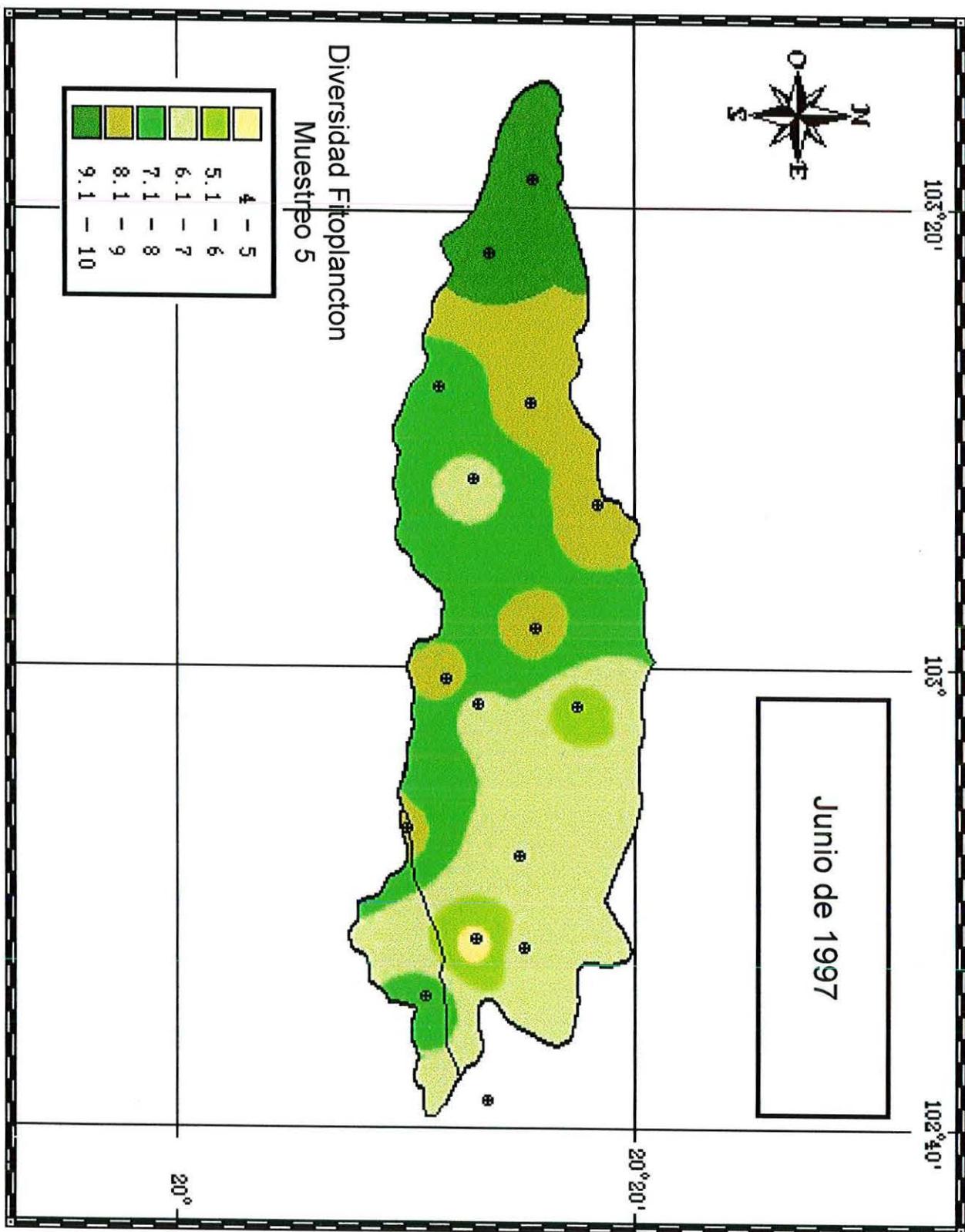


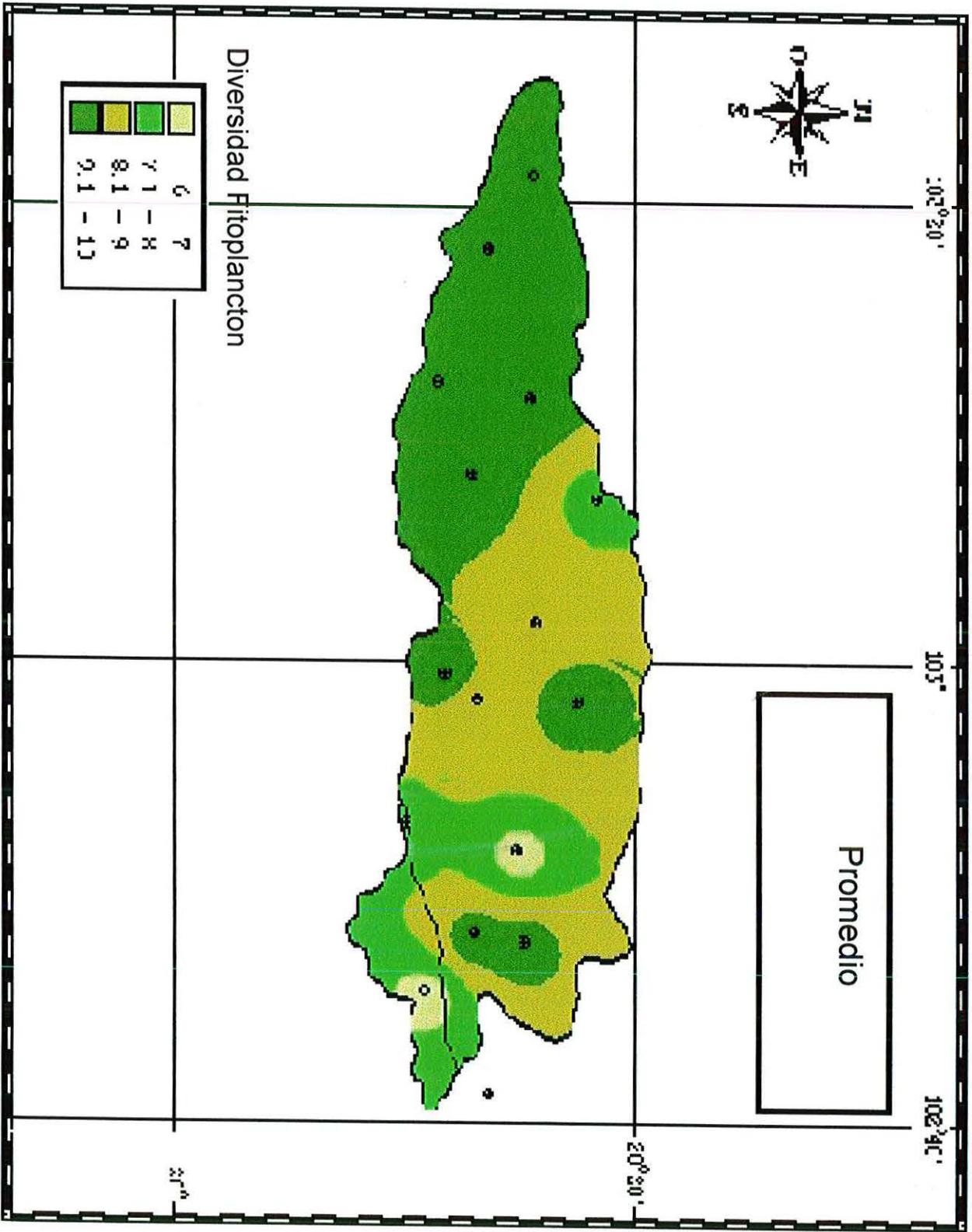












76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
7.3	7.5	7.1	7.3	7.4	7.1	7.4	7.1	6.9	7.2	7.3	7.1	7.3	7.4	7.0	7.0	7.4	6.8	7.2	7.2	7.1	6.8	7.2	7.2	7.0
7.1	7.3	7.0	7.1	7.0	7.4	6.8	7.0	7.2	6.8	7.0	7.3	6.8	7.1	7.1	7.0	7.2	7.0	7.0	6.8	7.0	7.1	7.0	6.8	6.8
7.0	6.9	6.9	7.2	7.1	6.9	6.9	6.8	7.0	6.6	7.2	7.5	7.0	7.3	6.6	7.3	7.1	7.4	6.8	6.6	6.9	7.4	6.7	7.3	7.0
7.1	6.8	7.3	7.5	6.9	7.3	6.6	7.1	6.7	7.0	6.8	7.0	6.9	7.1	6.8	7.1	7.1	7.4	6.7	7.0	7.3	6.9	7.2	6.8	7.0
6.8	7.2	7.2	7.2	7.1	7.0	7.0	6.7	6.9	7.3	6.9	6.8	6.8	6.9	7.1	7.1	7.0	7.3	6.9	7.3	7.2	7.3	7.1	7.2	6.8
7.1	7.1	7.1	7.3	7.1	7.1	6.9	6.9	6.9	7.0	7.0	7.1	7.0	7.2	6.9	7.1	7.2	7.2	7.0	7.0	7.1	7.1	7.0	7.1	7.0
0.5	0.7	0.4	0.4	0.5	0.5	0.8	0.4	0.5	0.7	0.5	0.7	0.5	0.5	0.5	0.3	0.4	0.6	0.4	0.7	0.4	0.6	0.5	0.5	0.5

101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125
7.1	6.6	6.8	7.3	7.1	7.0	7.0	6.7	7.5	6.7	6.9	6.6	7.1	7.3	6.6	6.9	7.1	6.9	7.4	6.9	6.7	7.5	7.4	7.3	7.0
7.0	7.4	6.7	6.7	6.6	6.9	7.5	7.3	6.6	7.3	6.6	7.4	6.9	7.0	7.4	6.6	7.2	7.2	6.9	6.7	7.3	6.6	7.1	7.2	6.8
7.3	7.0	6.9	7.0	6.8	6.8	6.9	6.9	7.1	6.9	7.0	7.1	7.1	6.7	7.0	7.0	6.9	7.1	6.8	7.0	6.9	7.2	6.8	6.9	7.0
6.9	6.8	7.3	6.8	7.1	7.0	7.1	7.1	6.7	7.1	7.1	7.0	7.5	6.7	6.8	7.1	6.8	6.8	7.1	7.1	7.1	6.7	6.7	7.0	7.0
6.9	6.8	7.1	6.9	7.2	6.5	6.9	6.8	7.4	7.0	6.9	7.0	7.2	7.2	6.8	6.9	7.3	6.9	7.2	6.8	7.0	7.4	7.2	6.7	6.8
7.0	6.9	7.0	6.9	7.0	6.8	7.1	7.0	7.1	7.0	6.9	7.0	7.2	7.0	6.9	6.9	7.1	7.0	7.1	6.9	7.0	7.1	7.0	7.0	7.0
0.4	0.8	0.6	0.6	0.6	0.5	0.6	0.6	0.9	0.6	0.5	0.8	0.6	0.6	0.8	0.5	0.5	0.4	0.6	0.4	0.6	0.9	0.7	0.6	0.5

126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150
7.0	6.9	7.0	6.9	7.1	7.1	7.1	6.7	6.6	7.0	6.7	6.6	7.1	6.9	7.0	6.7	7.4	7.1	6.9	7.4	7.1	6.9	6.9	7.0	7.0
7.1	7.2	6.7	6.6	6.7	6.6	7.3	7.1	6.5	6.9	7.0	7.4	6.6	7.0	7.1	7.3	7.1	6.9	7.2	6.9	6.8	7.0	7.1	6.8	6.8
6.9	6.8	7.2	6.7	6.6	7.4	6.9	6.8	7.5	6.5	6.5	7.0	6.8	6.7	6.6	6.8	7.2	7.1	7.1	7.2	7.2	7.1	7.0	6.7	6.8
7.2	7.3	6.9	7.4	6.7	7.2	6.5	7.4	6.6	7.4	6.9	6.8	6.9	7.1	7.0	7.1	7.4	7.5	7.0	7.0	7.0	7.0	6.8	7.2	7.0
6.8	6.7	6.7	7.2	7.1	7.1	6.8	6.9	7.0	7.1	6.8	7.3	7.0	7.0	6.7	7.1	7.0	6.7	6.9	7.1	7.1	7.2	7.2	7.4	6.7
7.0	7.0	6.9	7.0	6.8	7.1	6.9	7.0	6.8	7.0	6.8	7.0	6.9	6.9	6.9	7.0	7.2	7.1	7.0	7.1	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
0.4	0.6	0.5	0.8	0.5	0.8	0.8	0.7	1.0	0.9	0.5	0.8	0.5	0.4	0.5	0.6	0.4	0.8	0.3	0.5	0.4	0.3	0.4	0.7	0.5

ANEXO I: Datos de altura de pasta utilizados para el análisis

Los datos en rojo son los promedios de cada muestra.

Los datos en azul son los rangos de cada muestra.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
6.9	6.6	7.5	7.0	6.7	7.0	6.8	6.7	7.3	6.9	6.7	6.8	6.9	7.1	6.9	7.3	6.9	7.5	7.0	6.8	7.0	6.9	6.9	7.5
6.7	7.1	6.7	6.9	7.0	6.6	7.4	6.6	7.4	6.7	6.6	6.9	7.1	7.2	7.4	7.1	7.1	7.4	6.6	7.4	6.9	6.8	7.0	7.3
7.0	6.8	7.3	6.8	7.4	6.9	7.0	7.0	6.7	6.7	7.1	6.7	7.4	6.8	7.1	6.8	7.4	6.9	6.9	7.0	7.2	7.5	7.4	7.2
7.1	6.8	7.1	7.1	7.0	7.1	6.9	7.0	6.8	6.7	7.5	7.1	7.2	6.9	7.4	7.0	7.5	7.0	7.1	6.9	6.8	7.3	7.5	6.8
6.9	6.7	6.8	6.9	7.0	6.8	7.3	6.9	6.9	7.1	7.3	7.2	6.8	7.3	7.3	7.0	6.8	7.3	6.8	7.3	7.2	6.9	6.8	7.2
6.9	6.8	7.1	6.9	7.0	6.9	7.1	6.8	7.0	6.8	7.0	6.9	7.1	7.1	7.2	7.0	7.1	7.2	6.9	7.1	7.0	7.1	7.1	7.2
0.4	0.5	0.8	0.3	0.7	0.5	0.6	0.4	0.7	0.4	0.9	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5	0.7	0.6	0.5	0.6	0.4	0.7	0.7	0.7

77.0
00.0

26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
7.3	6.8	7.4	7.1	6.7	7.3	6.7	7.3	6.7	7.3	7.0	6.9	7.4	6.7	7.1	7.3	7.5	7.3	6.9	7.3	7.2	7.3	7.3	7.0
7.1	6.9	7.0	6.8	7.0	7.5	6.9	6.8	6.9	7.3	6.6	7.1	6.8	7.2	6.8	7.1	7.0	7.6	7.2	7.1	6.6	7.5	6.5	7.1
6.9	6.9	6.8	7.3	6.6	6.8	7.3	6.6	7.1	7.4	7.4	6.8	6.9	7.0	7.5	7.2	6.8	6.7	6.6	6.8	7.3	6.8	6.7	7.3
7.3	6.6	7.3	7.0	7.4	6.9	6.8	7.4	7.0	6.7	6.7	7.4	7.1	7.4	6.8	6.9	6.9	7.0	7.3	6.6	7.1	6.9	7.4	7.1
6.8	7.1	6.6	6.8	6.5	7.1	6.7	7.3	6.8	7.1	7.0	7.3	6.8	7.1	6.6	6.8	7.3	6.7	7.2	7.5	7.0	7.1	7.1	6.6
7.1	6.9	7.0	7.0	6.8	7.1	6.9	7.1	6.9	7.2	6.9	7.1	7.0	7.1	7.0	7.1	7.1	7.1	7.0	7.1	7.0	7.1	7.0	7.0
0.5	0.5	0.8	0.5	0.9	0.7	0.6	0.8	0.4	0.7	0.8	0.6	0.6	0.7	0.9	0.5	0.7	0.9	0.7	0.9	0.7	0.7	0.9	0.7

6 6.0
0 0.0

51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74
6.7	6.8	7.1	7.3	7.0	6.8	7.2	7.3	6.8	7.0	7.4	7.3	7.0	6.7	6.8	7.4	7.1	6.9	7.2	7.1	7.2	7.1	7.0	7.1
7.0	7.2	7.3	6.9	6.7	7.3	6.6	6.5	7.0	6.8	7.2	7.1	7.4	7.4	7.3	6.9	6.8	6.6	6.8	7.0	7.0	6.7	7.2	6.6
6.7	7.0	7.0	7.2	6.6	7.2	6.9	6.8	6.9	7.0	7.2	7.0	7.1	6.8	7.2	6.8	7.3	7.1	7.3	7.4	7.1	7.1	6.8	7.1
6.7	7.3	6.7	7.1	7.0	6.5	7.3	6.6	6.6	7.3	7.1	7.0	7.2	6.9	7.1	7.3	7.4	7.0	7.3	7.2	7.1	7.4	7.3	6.8
7.1	6.9	7.2	7.3	6.8	7.3	6.5	7.0	7.0	6.8	7.0	7.0	7.4	7.1	7.2	7.2	7.4	7.2	7.1	7.3	6.8	7.2	6.9	6.9
6.8	7.0	7.1	7.2	6.8	7.0	6.9	6.8	6.9	7.0	7.2	7.1	7.2	7.0	7.1	7.1	7.2	7.0	7.1	7.2	7.0	7.1	7.0	6.9
0.4	0.5	0.6	0.4	0.4	0.8	0.8	0.8	0.4	0.5	0.4	0.3	0.4	0.7	0.5	0.6	0.6	0.6	0.5	0.4	0.4	0.7	0.5	0.5

7 7.0
0 0.0

ANEXO I: Datos de altura de pasta utilizados para el análisis

Los datos en rojo son los promedios de cada muestra.

Los datos en azul son los rangos de cada muestra.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
6.9	6.6	7.5	7.0	6.7	7.0	6.8	6.7	7.3	6.9	6.7	6.8	6.9	7.1	6.9	7.3	6.9	7.5	7.0	6.8	7.0	6.9	6.9	7.5	7.1
6.7	7.1	6.7	6.9	7.0	6.6	7.4	6.6	7.4	6.7	6.6	6.9	7.1	7.2	7.4	7.1	7.1	7.4	6.6	7.4	6.9	6.8	7.0	7.3	7.1
7.0	6.8	7.3	6.8	7.4	6.9	7.0	7.0	6.7	6.7	7.1	6.7	7.4	6.8	7.1	6.8	7.4	6.9	6.9	7.0	7.2	7.5	7.4	7.2	6.9
7.1	6.8	7.1	7.1	7.0	7.1	6.9	7.0	6.8	6.7	7.5	7.1	7.2	6.9	7.4	7.0	7.5	7.0	7.1	6.9	6.8	7.3	7.5	6.8	7.4
6.9	6.7	6.8	6.9	7.0	6.8	7.3	6.9	6.9	7.1	7.3	7.2	6.8	7.3	7.3	7.0	6.8	7.3	6.8	7.3	7.2	6.9	6.8	7.2	7.4
6.9	6.8	7.1	6.9	7.0	6.9	7.1	6.8	7.0	6.8	7.0	6.9	7.1	7.1	7.2	7.0	7.1	7.2	6.9	7.1	7.0	7.1	7.1	7.2	7.2
0.4	0.5	0.8	0.3	0.7	0.5	0.6	0.4	0.7	0.4	0.9	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5	0.7	0.6	0.5	0.6	0.4	0.7	0.7	0.7	0.5

26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
7.3	6.8	7.4	7.1	6.7	7.3	6.7	7.3	6.7	7.3	7.0	6.9	7.4	6.7	7.1	7.3	7.5	7.3	6.9	7.3	7.2	7.3	7.3	7.0	7.2
7.1	6.9	7.0	6.8	7.0	7.5	6.9	6.8	6.9	7.3	6.6	7.1	6.8	7.2	6.8	7.1	7.0	7.6	7.2	7.1	6.6	7.5	6.5	7.1	6.8
6.9	6.9	6.8	7.3	6.6	6.8	7.3	6.6	7.1	7.4	7.4	6.8	6.9	7.0	7.5	7.2	6.8	6.7	6.6	6.8	7.3	6.8	6.7	7.3	7.2
7.3	6.6	7.3	7.0	7.4	6.9	6.8	7.4	7.0	6.7	6.7	7.4	7.1	7.4	6.8	6.9	6.9	7.0	7.3	6.6	7.1	6.9	7.4	7.1	6.6
6.8	7.1	6.6	6.8	6.5	7.1	6.7	7.3	6.8	7.1	7.0	7.3	6.8	7.1	6.6	6.8	7.3	6.7	7.2	7.5	7.0	7.1	7.1	6.6	6.9
7.1	6.9	7.0	7.0	6.8	7.1	6.9	7.1	6.9	7.2	6.9	7.1	7.0	7.1	7.0	7.1	7.1	7.1	7.0	7.1	7.0	7.1	7.0	7.0	6.9
0.5	0.5	0.8	0.5	0.9	0.7	0.6	0.8	0.4	0.7	0.8	0.6	0.6	0.7	0.9	0.5	0.7	0.9	0.7	0.9	0.7	0.7	0.9	0.7	0.6

51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
6.7	6.8	7.1	7.3	7.0	6.8	7.2	7.3	6.8	7.0	7.4	7.3	7.0	6.7	6.8	7.4	7.1	6.9	7.2	7.1	7.2	7.1	7.0	7.1	7.5
7.0	7.2	7.3	6.9	6.7	7.3	6.6	6.5	7.0	6.8	7.2	7.1	7.4	7.4	7.3	6.9	6.8	6.6	6.8	7.0	7.0	6.7	7.2	6.6	7.2
6.7	7.0	7.0	7.2	6.6	7.2	6.9	6.8	6.9	7.0	7.2	7.0	7.1	6.8	7.2	6.8	7.3	7.1	7.3	7.4	7.1	7.1	6.8	7.1	6.8
6.7	7.3	6.7	7.1	7.0	6.5	7.3	6.6	6.6	7.3	7.1	7.0	7.2	6.9	7.1	7.3	7.4	7.0	7.3	7.2	7.1	7.4	7.3	6.8	7.0
7.1	6.9	7.2	7.3	6.8	7.3	6.5	7.0	7.0	6.8	7.0	7.0	7.4	7.1	7.2	7.2	7.4	7.2	7.1	7.3	6.8	7.2	6.9	6.9	7.0
6.8	7.0	7.1	7.2	6.8	7.0	6.9	6.8	6.9	7.0	7.2	7.1	7.2	7.0	7.1	7.1	7.2	7.0	7.1	7.2	7.0	7.1	7.0	6.9	7.1
0.4	0.5	0.6	0.4	0.4	0.8	0.8	0.8	0.4	0.5	0.4	0.3	0.4	0.7	0.5	0.6	0.6	0.6	0.5	0.4	0.4	0.7	0.5	0.5	0.7

76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
7.3	7.5	7.1	7.3	7.4	7.1	7.4	7.1	6.9	7.2	7.3	7.1	7.3	7.4	7.0	7.0	7.4	6.8	7.2	7.2	7.1	6.8	7.2	7.2	7.3
7.1	7.3	7.0	7.1	7.0	7.4	6.8	7.0	7.2	6.8	7.0	7.3	6.8	7.1	7.1	7.0	7.2	7.0	7.0	6.8	7.0	7.1	7.0	6.8	6.8
7.0	6.9	6.9	7.2	7.1	6.9	6.9	6.8	7.0	6.6	7.2	7.5	7.0	7.3	6.6	7.3	7.1	7.4	6.8	6.6	6.9	7.4	6.7	7.3	7.2
7.1	6.8	7.3	7.5	6.9	7.3	6.6	7.1	6.7	7.0	6.8	7.0	6.9	7.1	6.8	7.1	7.1	7.4	6.7	7.0	7.3	6.9	7.2	6.8	7.2
6.8	7.2	7.2	7.2	7.1	7.0	7.0	6.7	6.9	7.3	6.9	6.8	6.8	6.9	7.1	7.1	7.0	7.3	6.9	7.3	7.2	7.3	7.1	7.2	6.8
7.1	7.1	7.1	7.3	7.1	7.1	6.9	6.9	6.9	7.0	7.0	7.1	7.0	7.2	6.9	7.1	7.2	7.2	7.0	7.0	7.1	7.1	7.0	7.1	7.1
0.5	0.7	0.4	0.4	0.5	0.5	0.8	0.4	0.5	0.7	0.5	0.7	0.5	0.5	0.5	0.3	0.4	0.6	0.4	0.7	0.4	0.6	0.5	0.5	0.5

101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125
7.1	6.6	6.8	7.3	7.1	7.0	7.0	6.7	7.5	6.7	6.9	6.6	7.1	7.3	6.6	6.9	7.1	6.9	7.4	6.9	6.7	7.5	7.4	7.3	7.1
7.0	7.4	6.7	6.7	6.6	6.9	7.5	7.3	6.6	7.3	6.6	7.4	6.9	7.0	7.4	6.6	7.2	7.2	6.9	6.7	7.3	6.6	7.1	7.2	6.9
7.3	7.0	6.9	7.0	6.8	6.8	6.9	6.9	7.1	6.9	7.0	7.1	7.1	6.7	7.0	7.0	6.9	7.1	6.8	7.0	6.9	7.2	6.8	6.9	7.2
6.9	6.8	7.3	6.8	7.1	7.0	7.1	7.1	6.7	7.1	7.1	7.0	7.5	6.7	6.8	7.1	6.8	6.8	7.1	7.1	7.1	6.7	6.7	7.0	7.3
6.9	6.8	7.1	6.9	7.2	6.5	6.9	6.8	7.4	7.0	6.9	7.0	7.2	7.2	6.8	6.9	7.3	6.9	7.2	6.8	7.0	7.4	7.2	6.7	6.8
7.0	6.9	7.0	6.9	7.0	6.8	7.1	7.0	7.1	7.0	6.9	7.0	7.2	7.0	6.9	6.9	7.1	7.0	7.1	6.9	7.0	7.1	7.0	7.0	7.1
0.4	0.8	0.6	0.6	0.6	0.5	0.6	0.6	0.9	0.6	0.5	0.8	0.6	0.6	0.8	0.5	0.5	0.4	0.6	0.4	0.6	0.9	0.7	0.6	0.5

126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150
7.0	6.9	7.0	6.9	7.1	7.1	7.1	6.7	6.6	7.0	6.7	6.6	7.1	6.9	7.0	6.7	7.4	7.1	6.9	7.4	7.1	6.9	6.9	7.0	7.3
7.1	7.2	6.7	6.6	6.7	6.6	7.3	7.1	6.5	6.9	7.0	7.4	6.6	7.0	7.1	7.3	7.1	6.9	7.2	6.9	6.8	7.0	7.1	6.8	6.9
6.9	6.8	7.2	6.7	6.6	7.4	6.9	6.8	7.5	6.5	6.5	7.0	6.8	6.7	6.6	6.8	7.2	7.1	7.1	7.2	7.2	7.1	7.0	6.7	6.9
7.2	7.3	6.9	7.4	6.7	7.2	6.5	7.4	6.6	7.4	6.9	6.8	6.9	7.1	7.0	7.1	7.4	7.5	7.0	7.0	7.0	7.0	6.8	7.2	7.3
6.8	6.7	6.7	7.2	7.1	7.1	6.8	6.9	7.0	7.1	6.8	7.3	7.0	7.0	6.7	7.1	7.0	6.7	6.9	7.1	7.1	7.2	7.2	7.4	6.7
7.0	7.0	6.9	7.0	6.8	7.1	6.9	7.0	6.8	7.0	6.8	7.0	6.9	6.9	6.9	7.0	7.2	7.1	7.0	7.1	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
0.4	0.6	0.5	0.8	0.5	0.8	0.8	0.7	1.0	0.9	0.5	0.8	0.5	0.4	0.5	0.6	0.4	0.8	0.3	0.5	0.4	0.3	0.4	0.7	0.6



151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175
6.9	6.8	7.1	6.6	7.4	6.8	6.8	7.0	7.1	6.9	7.1	6.9	7.1	6.9	7.1	6.9	7.0	7.4	6.9	7.1	7.2	7.0	6.9	7.0	6.6
7.3	7.4	6.9	7.4	6.8	6.6	7.0	7.2	7.2	6.8	6.9	7.4	6.8	6.8	7.2	7.1	6.9	7.1	6.8	7.3	6.8	6.9	7.2	6.8	7.4
6.5	6.8	6.5	7.0	7.0	7.1	7.5	7.1	6.8	7.1	7.4	7.2	7.2	7.1	7.4	6.8	6.7	6.8	7.1	6.9	7.1	7.5	6.9	6.8	7.1
7.0	7.1	7.0	7.3	7.3	6.8	7.1	7.4	6.9	6.9	6.7	6.8	7.3	7.4	6.9	6.7	7.2	6.9	7.2	6.7	6.8	6.6	6.6	7.2	7.3
6.8	7.1	6.7	6.8	7.3	7.0	7.4	7.1	7.3	7.2	7.3	7.1	6.9	7.2	6.8	7.3	7.3	7.2	6.7	7.4	7.3	7.4	7.5	7.3	6.8
6.9	7.0	6.8	7.0	7.2	6.9	7.2	7.2	7.1	7.0	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.0	7.0	7.1	6.9	7.1	7.0	7.1	7.0	7.0	7.0
0.8	0.6	0.6	0.8	0.6	0.5	0.7	0.4	0.5	0.4	0.7	0.6	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.7	0.5	0.9	0.9	0.5	0.8

176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200
6.8	6.7	7.1	6.9	6.9	6.8	6.6	7.3	6.7	6.9	6.7	7.0	7.4	6.9	7.1	7.2	6.9	7.1	7.4	6.9	6.9	7.1	7.2	7.0	7.1
7.0	6.9	6.5	6.5	7.4	6.9	7.3	7.0	6.9	7.3	6.6	7.1	7.1	7.2	7.1	7.2	7.1	7.2	7.2	6.8	7.4	7.2	6.9	6.7	6.8
7.5	7.0	7.5	6.6	6.9	7.3	7.1	6.8	7.4	6.6	7.3	7.1	7.3	6.9	7.2	6.7	6.8	6.9	6.9	7.1	7.2	6.9	6.8	6.9	6.6
7.1	6.8	6.9	6.8	7.4	7.0	6.7	6.9	6.7	6.8	7.5	6.9	6.7	7.0	7.1	7.1	7.2	6.8	6.8	7.0	6.9	6.8	6.7	6.8	7.3
7.3	7.1	7.1	7.1	7.0	6.8	6.9	6.8	6.9	6.7	7.0	7.3	7.3	6.9	6.9	7.0	7.3	7.0	7.1	7.2	7.1	6.9	6.9	6.7	6.9
7.1	6.9	7.0	6.8	7.1	7.0	6.9	7.0	6.9	6.9	7.0	7.1	7.2	7.0	7.1	7.0	7.1	7.0	7.1	7.0	7.1	7.0	6.9	6.8	6.9
0.7	0.4	1.0	0.6	0.5	0.5	0.7	0.5	0.7	0.7	0.9	0.4	0.7	0.3	0.3	0.5	0.5	0.4	0.6	0.4	0.5	0.4	0.5	0.3	0.7