



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
"ZARAGOZA"

"CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL DE DOS
SISTEMAS DE REPRESAMIENTO DE AGUAS EN
EL MUNICIPIO DE CHIGNAHUAPAN, PUEBLA"

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

B I O L O G O

PRESENTA:

JULIA IDALIA VILLEGAS RAMOS

DIRECTOR DE TESIS: BIOL. LUIS S. CAMPOS LINCE.
ASESOR INTERNO: BIOL. ELOISA A. GUERRA HERNÁNDEZ.



D.F., MEXICO

ENERO DE 2008



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por haberme albergado en sus aulas, en ellas obtuve algo que siempre llevare conmigo y nadie podrá arrebatarme, mi formación académica como Bióloga.

A mi director de tesis, Biól. Luis S. Campos Lince, por la confianza, paciencia, el apoyo y por todas las asesorías que me brindo para que éste trabajo resultara lo mejor posible.

A la Biól. Eloisa A. Guerra Hernández, por todo el apoyo recibido para culminar esta tesis, pero sobre todo por brindarme su amistad, apoyarme en los momentos difíciles de la carrera y por creer en mí.

A los sinodales, Biól. Angélica González Schaff, Dr. José Luis Gómez Márquez y Dr. Antonio Valencia Hernández, por las aportaciones y sugerencias hechas, ya que enriquecieron y mejoraron esta tesis.

A la Biól. Ángeles Galván y Dr. Gerardo Cruz, por el apoyo moral que me dieron desde el principio de la carrera, para no darme por vencida cuando la meta se veía muy lejana.

DEDICATORIAS

A Dios

A mis papis, Julia Ramos y Rufino Villegas, por todo lo que me han dado, porque jamás tendré forma de agradecer todo los esfuerzos que hicieron para sacarme adelante. Quiero que sepan que ustedes han sido mi mejor ejemplo para querer superarme, para aprender a ganarme todo con mi trabajo y esfuerzo. Ahora disfruten este triunfo que también es suyo.....los quiero

A mis hermanos Faty y Adrian, por soportar las desveladas conmigo, les dedico este trabajo, por que representa uno de mis más grandes sueños y que por alcanzarlo perdí muchos momentos con ustedes. También los quiero muuucho

A toda la familia Villegas, por que la unión que hay en ella es un gran aliciente y por darnos buenos ejemplos a todos los sobrinos. Perdón que no mencione a cada uno pero son muchos.

A mi abue Juanita por echarme porras y darme el ejemplo de seguir luchando en la vida

A mis amigos de la carrera: Vicky, Huguito, Claus, Memo Guerra, Alex, Fercho, Eloy, por todos los momentos y aventuras que compartimos.

Y en especial a Eduardo Maldonado, mi compañero, amigo y esposo, por todo el amor que me haz dado, por tu paciencia y por todo el apoyo que me brindaste para que terminar la tesis. Espero que este sea sólo uno de los éxitos que alcanzamos juntos. Te amo flaquito.



INDICE

	Página
I. Introducción	
1. Importancia de la valoración de las condiciones de un sistema acuático _____	2
2. Importancia del medio biológico _____	4
3. Evaluación de impacto ambiental _____	5
II. Antecedentes _____	7
III. Área de estudio	
1. Ubicación de los cuerpos de agua _____	13
2. Clima _____	14
3. Suelo _____	14
4. Geología _____	14
5. Hidrología _____	14
IV. Objetivos _____	16
V. Material y Métodos	
1. Fase de Campo	
1.1. Parámetros físicos y químicos _____	18
1.2. Muestras de vegetación y fauna _____	19
1.3. Muestras de fitoplancton _____	19
1.4. Registro de datos para el análisis de impacto ambiental _____	19
2. Fase de Laboratorio	
2.1. Análisis de agua _____	19
2.2. Análisis de flora y fauna _____	19
2.3. Conteo de organismos fitoplanctónicos _____	20
3. Fase de Gabinete	
3.1. Parámetros físicos y químicos _____	20
3.2. Análisis de flora y fauna _____	20
3.3. Análisis de fitoplancton _____	21
3.4. Análisis de impacto ambiental _____	21
VI. Resultados	
1. Morfometría _____	26
2. Parámetros físicos y químicos _____	29
3. Vegetación acuática _____	54
4. Fauna _____	57
5. Registro de fitoplancton _____	59
6. Descripción ambiental para la evaluación de los impactos.	
6.1. Clima _____	64
6.2. Geología y Geomorfología _____	66



6.3. Suelo _____	68
6.4. Hidrología _____	69
6.5. Vegetación _____	70
6.6. Fauna _____	72
6.7. Medio Socioeconómico _____	73
7. Impactos ambientales generados	
7.1. Lista de verificación (checklist) _____	76
7.2. Matriz de identificación de impactos _____	78
7.3. Construcción del escenario modificado _____	79
7.4. Descripción de los impactos al sistema ambiental por Componente y Acción _____	82
7.5. Evaluación de los impactos _____	89
7.6 Medidas de prevención y mitigación de los impactos _____	90
7.7 Descripción de los impactos por componente ambiental _____	92
VII. Análisis de resultados	
1. Morfometría _____	95
2. Parámetros físicos y químicos _____	95
3. Vegetación acuática _____	104
4. Fauna _____	107
5. Fitoplancton _____	109
6. Análisis del impacto ambiental _____	111
VIII. Conclusiones _____	115
IX. Literatura citada _____	116
Anexo 1. Diagramas de Caja, Resultados de las pruebas de Levene y de los ANDEVA _____	123
Anexo 2. Imágenes fotográficas _____	132



INDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Ilustración que muestra las diferentes formas de vida de la vegetación acuática _____	2
Figura 2. Ubicación de los embalses _____	13
Figura 3. Variaciones máximas y mínimas del volumen en el embalse Lagarto _____	27
Figura 4. Variaciones máximas y mínimas del volumen en el embalse Cuauhtémoc _____	27
Figura 5. Embalse Lagarto en Junio _____	28
Figura 6. Embalse Lagarto en Octubre _____	28
Figura 7. Profundidad y transparencia en E. Lagarto _____	29
Figura 8. Embalse Cuauhtémoc en Junio _____	29
Figura 9. Embalse Cuauhtémoc en Octubre _____	29
Figura 10. Profundidad y transparencia en E. Cuauhtémoc. _____	30
Figura 11. Variaciones de temperatura en E. Lagarto _____	30
Figura 12. Variaciones de temperatura en E. Cuauhtémoc _____	31
Figura 13. Valores mensuales de pH en cada punto de muestreo del E. Lagarto _____	32
Figura 14. Valores mensuales de pH en cada punto de muestreo E. Cuauhtémoc _____	32
Figura 15. Gráfica de promedios mensuales de pH en cada uno de los embalses _____	33
Figura 16. Valores mensuales de conductividad en cada punto de muestreo E. Lagarto _____	34
Figura 17. Valores mensuales de conductividad en cada punto de muestreo E. Cuauhtémoc _____	34
Figura 18. Gráfica de promedios mensuales de conductividad en ambos embalses _____	35
Figura 19. Concentraciones mensuales de alcalinidad en cada punto de muestreo E. Lagarto _____	36
Figura 20. Concentraciones mensuales de alcalinidad en cada punto de muestreo E. Cuauhtémoc _____	36
Figura 21. Gráfica de promedios mensuales de Alcalinidad en ambos embalses _____	37
Figura 22. Concentraciones mensuales de dureza total en cada punto de muestreo E. Lagarto _____	38
Figura 23. Concentraciones mensuales de dureza total en cada punto de muestreo E. Cuauhtémoc _____	39
Figura 24. Gráfica de promedios mensuales de dureza en ambos embalses _____	40
Figura 25. Concentraciones mensuales de oxígeno disuelto en cada punto de muestreo E. Lagarto _____	40
Figura 26. Concentraciones mensuales de oxígeno disuelto en cada punto de muestreo E. Cuauhtémoc. _____	41
Figura 27. Gráfica de promedios mensuales de oxígeno disuelto en ambos embalses. _____	42
Figura 28. Gráfica de la DBO en ambos embalses _____	42
Figura 29. Concentraciones mensuales de amonio en cada punto de muestreo E. Lagarto _____	43



Figura 30. Concentraciones mensuales de amonio en cada punto de muestreo E. Cuauhtémoc _____	44
Figura 31. Gráfica de promedios mensuales de amonio en ambos embalses _____	45
Figura 32. Concentraciones mensuales de nitratos en cada punto de muestreo E. Lagarto _____	45
Figura 33. Concentraciones mensuales de nitratos en cada punto de muestreo E. Cuauhtémoc _____	46
Figura 34. Gráfica de promedios mensuales de nitratos en ambos embalses _____	47
Figura 35. Concentraciones mensuales de ortofosfatos en cada punto de muestreo E. Lagarto _____	47
Figura 36. Concentraciones mensuales de ortofosfatos en cada punto de muestreo E. Cuauhtémoc _____	48
Figura 37. Gráfica de promedios mensuales de fosfatos de ambos embalses _____	49
Figura 38. Concentraciones mensuales de sólidos disueltos en cada punto de muestreo E. Lagarto _____	49
Figura 39. Concentraciones mensuales de sólidos disueltos en cada punto de muestreo E. Cuauhtémoc _____	50
Figura 40. Gráfica de promedios mensuales de sólidos disueltos en ambos embalses _____	51
Figura 41. Concentraciones mensuales de sólidos suspendidos en cada punto de muestreo E. Lagarto _____	51
Figura 42. Concentraciones mensuales de sólidos suspendidos en cada punto de muestreo E. Cuauhtémoc _____	52
Figura 43. Gráfica de promedios mensuales de sólidos suspendidos en ambos embalses _____	53
Figura 44. Principales lugares de crecimiento de la vegetación en el embalse Lagarto _____	54
Figura 45. Zonas de crecimiento de la vegetación en el embalse Cuauhtémoc _____	51
Figura 46. Grafica de distribución porcentual del fitoplancton en el bordo Lagarto__	59
Figura 47. Grafica de distribución porcentual del fitoplancton en el bordo Cuauhtémoc_____	59
Figura 48. Gráfica de la Densidad Fitoplanctónica en los embalses _____	61
Figura 49. Porcentaje mensual de cada división en el embalse Lagarto _____	62
Figura 50. Porcentaje mensual de cada división en el embalse Cuauhtémoc _____	63
Figura 51. Número de géneros registrados en cada sistema mensualmente _____	63



INDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Descripción de los sitios de muestreo en los embalses _____	26
Tabla 2. Valores de pH _____	32
Tabla 3. Valores mínimos y máximos mensuales de Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S} / \text{cm}$) _____	35
Tabla 4. Valores mínimos y máximos mensuales de Alcalinidad ($\text{mg CaCO}_3/\text{L}$) ____	37
Tabla 5. Valores mínimos y máximos mensuales de Dureza Total ($\text{mg CaCO}_3/\text{L}$) ____	39
Tabla 6. Valores mínimos y máximos mensuales de Oxígeno Disuelto ($\text{mg O}_2/\text{L}$) ____	41
Tabla 7. Valores mínimos y máximos mensuales de Amonio ($\text{mg N-NH}_4^+/\text{L}$) _____	44
Tabla 8. Valores mínimos y máximos mensuales de Nitratos ($\text{mg N-NO}_3^-/\text{L}$) _____	46
Tabla 9. Valores mínimos y máximos mensuales de Fosfatos ($\text{mg P-PO}_4^{2-}/\text{L}$) _____	48
Tabla 10. Valores mínimos y máximos mensuales de Sólidos Disueltos (mg/L) _____	50
Tabla 11. Valores mínimos y máximos mensuales de Sólidos Suspendidos (mg/L) _	52
Tabla 12. Valores mínimos y máximos mensuales mínimos y máximos registrados en los embalses. _____	53
Tabla 13. Número de géneros por división de fitoplancton registrados en cada embalse. _____	59
Tabla 14. Lista de géneros de fitoplancton registrados en los embalses. _____	60



RESUMEN

En este trabajo se analiza el comportamiento hidrológico y el impacto ambiental que los bordos temporales "El Lagarto" y "Cuauhtémoc" ubicados en el municipio de Chignahuapan, Puebla tienen en su entorno, realizando muestreos mensuales de diciembre de 2004 a noviembre del siguiente año con ubicación de seis estaciones de muestreo en el embalse "Lagarto" y tres en el embalse "Cuauhtémoc", tomando muestras de parámetros físicos y químicos del agua, de flora y fauna y de fitoplancton. Para la evaluación de impacto ambiental se empleó una matriz de Leopold, que identificó las relaciones de causa-efecto de las acciones llevadas a cabo por la construcción y mantenimiento de estos sistemas y los elementos del ambiente que pudieron ser afectados. Los resultados muestran que el comportamiento hidrológico de los sistemas está influenciado principalmente por la época de seca y lluvia, lo que provoca la concentración y dilución de nutrientes (amonio y fosfatos principalmente), sales (conductividad) y sólidos (disueltos y suspendidos). Entre la fauna más representativa de ambos sistemas se encuentran aves migratorias como la garza blanca y ganadera (*Ardea alba* y *Bubulcus ibis* respectivamente), las gallaretas (*Fulica americana*) y patos (*Anas sp.*), así como los peces introducidos *Ciprinus carpio communis* y *C. carpio specularis*, el acocil (*Cambarellus sp.*) y las ranas (*Rana sp.*). Se registraron 3 especies de hidrófitas enraizadas emergentes (*Schoenoplectus sp.*, *Polygonum sp.* y *Ludwigia sp.*), una hidrófita enraizada sumergida (*Potamogeton sp.*), 2 hidrófitas enraizadas de hojas flotantes (*Marsilea mollis* y *Nymphoides fallax*) y una hidrófita libremente flotadora (*Azolla sp.*). El mayor crecimiento de hidrófitas se observó al iniciarse la época de lluvia, es decir, en los meses de agosto y septiembre. Respecto al fitoplancton, se registraron 22 géneros en el embalse Lagarto y 23 en sistema Cuauhtémoc, siendo más abundantes las diatomeas y las clorofitas respectivamente. Derivado de la construcción de los embalses se presentaron modificaciones en el ecosistema, generándose impactos negativos calificados como adversos no significativos (17), moderadamente significativos (0) y significativos (0) e impactos benéficos determinados como benéficos no significativos (15), moderadamente significativos (5) y significativos (1). La mayor cantidad de efectos adversos fueron ocasionados durante las etapas de preparación del sitio y construcción de los embalses, impactando principalmente la vegetación del predio, algunas zonas de refugio o alimentación de la fauna, aunque este impacto es mínimo puesto que la zona ya se encontraba previamente afectada, además del cambio de uso de suelo. Los efectos benéficos se presentan en casi todas las etapas, ya que los bordos representan nuevos espacios para especies acuáticas y terrestres tanto de flora como de fauna, además pueden ser utilizados como abrevaderos por la fauna cercana; generan contratación de personal y beneficios significativos para la población local debido a que el agua se tiene como un recurso disponible, lo que junto con otras unidades de producción como la agrícola, piscícola y ganadera, resulta muy importante para un manejo integral, además del reciclaje de materiales que genera a la población un incremento en la cantidad y calidad de los recursos para mejorar su estilo de vida. Por lo que se concluye que los impactos benéficos que la construcción de estos embalses genera en su entorno son mayores a las afectaciones causadas.



I. INTRODUCCION

El agua es uno de los recursos naturales más importantes del mundo y existe una vasta cantidad de agua presente en la tierra; cerca del 70% de la masa terrestre es agua. Sin embargo, el 97.5% de toda el agua se encuentra como agua salada en los océanos. Esto significa que solamente el 2.5% del volumen de agua en el mundo es actualmente no salina. Alrededor del 75% de esta agua dulce está en los casquetes polares y en los glaciares, además un 24% está localizada en el subsuelo como agua subterránea, lo que significa que menos del 1% del total del agua dulce se encuentra en lagos, ríos y en suelo (Gray, 1996).

En nuestro país, debido a la escasez de cuerpos de agua epicontinentales naturales, el problema de abastecimiento hídrico para diversos fines se ha solucionado mediante la construcción de embalses. (Athié, 1987 en Magallón *et al.*, 1992). México con una superficie de 1 953 162 km² y 11 122.5 kilómetros de costa, está catalogado como un país de riqueza media hidrológica en cuanto a lagos y reservorios con los que cuenta, ya que de acuerdo a INEGI (1995) de éstos 2 100 km² corresponden a lagos y 4 810 km² a reservorios. México cuenta con 14 000 cuerpos de agua lénticos o sin movimiento y al 90% se clasifica como sistemas temporales con dimensiones menores a dos hectáreas (Hernández *et al.* 1999).

Los bordos son pequeños embalses artificiales de agua temporal o permanente, por lo general en la parte mas profunda cuentan con una cortina rústica construida de tierra o mampostería, se llenan por captación del agua de lluvia y se utilizan para regar los cultivos de temporal en los periodos críticos. La mayoría de estos embalses son sistemas temporales, con superficies entre una y diez hectáreas y profundidades que van de uno a cinco metros (Tinoco y Atanasio, 1988 en Arriaga *et al.*, 2000).

A este tipo de sistemas se aplica a veces la designación de lagos artificiales; aunque no son verdaderos lagos se comportan como superficies de agua estancada, reciben afluente y su caudal se destina a usos diversos como: suministro de agua a ciudades y cultivos, realización de programas de acuicultura, abrevaderos, control de ríos y actividades recreativas (Boney, 1975; Margalef, 1976).

Estos sistemas generalmente sustentan una importante diversidad biológica y en muchos casos constituyen hábitats críticos para especies seriamente amenazadas. Asimismo, dada su alta productividad, pueden albergar poblaciones muy numerosas (Hammer, 1997).

Los cuerpos de agua someros pueden presentar diferentes estados alternativos de acuerdo a los grupos de productores primarios que dominan el sistema. Estos ambientes pueden estar dominados por microalgas o fitoplancton, por plantas sumergidas o por plantas flotantes libres. Las plantas acuáticas condicionan las propiedades físico-químicas del agua y la estructura de otras comunidades bióticas (por ejemplo zooplancton y peces), mediante la regulación de los intercambios entre los ecosistemas terrestres y acuáticos (Meerhoff y Mazzeo, 2004.)



1. Importancia de la valoración de las condiciones ambientales de un sistema acuático

La calidad del agua está determinada por el comportamiento fisicoquímico de la masa de agua. Los parámetros que por la información que nos proporcionan son comúnmente utilizados en estudios afines para establecer la calidad del agua son: oxígeno disuelto, pH, sólidos en suspensión, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), fósforo, nitritos, nitratos, amonio, compuestos fenólicos, hidrocarburos derivados del petróleo, coliformes y también se pueden emplear bioindicadores para evaluar la calidad media que mantiene el agua en periodos más o menos largos.

Entre los principales contaminantes que modifican la calidad natural de las corrientes de agua se encuentran la materia orgánica (ocasiona la disminución del oxígeno disuelto), nutrimentos (provocan eutrofización), grasas y aceites, organismos patógenos, metales pesados, detergentes y plaguicidas, que afectan a la salud humana, la flora y fauna acuática (Gaceta Ecológica, 1990)

Los parámetros físicos tienen gran importancia en la dinámica de la columna de agua, por tanto es necesario conocer su variación a lo largo del tiempo y observar su relación con la distribución y el comportamiento de las comunidades bióticas (Arredondo y Ponce, 1998).

La luz y la temperatura son factores físicos con suma importancia en los ecosistemas acuáticos y tienen relación con los fenómenos limnológicos, la estabilidad de las masas de agua y sobre el metabolismo biótico (Arredondo y Ponce, 1998). Prácticamente la totalidad de energía que dirige y controla el metabolismo de los lagos se deriva directamente de la energía solar, fijada por fotosíntesis, tanto de forma autóctona como alóctona. La utilización de ésta energía que reciben los lagos a través de su cuenca de captación y los factores que influyen en la eficiencia de un lago, convierten la energía solar en energía química potencial, tienen una importancia básica para la productividad y la cantidad de desarrollo heterotrófico de la microflora y de la fauna del sistema lacustre (Wetzel, 1981).

El pH indica el grado de acidez que tiene el sistema y se ve influenciado por el aporte de CO₂ atmosférico disuelto y del proveniente de los seres vivos; por el ácido sulfhídrico procedente de algunos minerales y por ácidos húmicos disueltos del mantillo del suelo, entre otros. Tiene una gran influencia en los procesos químicos que tienen lugar en el agua: influye en la eficiencia de los floculantes, en la inhibición de procesos infecciosos, etc.; al mismo tiempo, este valor de pH del agua de cuerpos acuáticos se ve influenciada por el valor del pH en el agua de lluvia.

La conductividad es una expresión numérica de la capacidad que tiene el agua para conducir una corriente eléctrica, se emplea también para expresar la salinidad, pues su variación guarda una relación directa con la concentración de materiales disueltos (Arredondo y Ponce, 1998; Torres-Orozco y García, 1995). El agua natural tiene iones en disolución y su conductividad es mayor y proporcional a la cantidad y características de esos electrolitos. Por esto se usan los valores de conductividad como índice aproximado de concentración de solutos; es decir, este parámetro refleja el grado de mineralización y de concentración iónica que el agua presenta.

La alcalinidad representa la capacidad amortiguadora o de neutralización del agua; es decir, lo que ayuda a evitar que los niveles de pH del agua lleguen a ser demasiado básicos o ácidos, ya que



favorece el equilibrio y estabiliza el agua en niveles de pH alrededor de 7.0, sin embargo, es de esperar que cuando la acidez es alta en el agua, menos de 4.5 de acuerdo con Wetzel (1981) la disminución en la alcalinidad puede propiciar condiciones dañinas para la vida acuática.

Respecto a los sólidos en suspensión, cuando son excesivos, reducen la penetración de la luz y por consiguiente limitan la fotosíntesis de las plantas acuáticas, ocasionando su degradación, lo que a su vez disminuye la aportación que hacen de nutrimentos al medio acuático. Cuando el daño es excesivo, las plantas mueren y se provoca la alteración del medio; producen una alta demanda biológica de oxígeno y una caída del contenido de oxígeno disuelto en la columna de agua. Además pueden dañar las branquias de los peces e interferir con la respiración, así como causar obstrucción y asfixia del bentos e interferir con la alimentación de los organismos filtradores (Guerrero, 1991; Arredondo y Ponce, 1998).

La composición química de un cuerpo de agua depende entre otros factores de su origen edáfico y geológico. De esta manera, el contenido de iones inorgánicos varía de acuerdo con su naturaleza y el equilibrio químico depende en gran medida de los iones dominantes (Arredondo y Ponce, 1998).

La cantidad de oxígeno que está disponible en las aguas es fundamental para el desarrollo de la vida. Si el nivel de oxígeno disuelto es bajo, menos de 1 mg de O_2/L (Martínez, 1998), nos indica que puede haber contaminación por materia orgánica, condiciones sépticas, mala calidad del agua e incapacidad para mantener determinadas formas de vida. El oxígeno disuelto puede ser afectado principalmente por tres factores: la fotosíntesis, la tasa de consumo por los procesos respiratorios de toda la comunidad biótica y la tasa de transferencia hacia la atmósfera en la interfase aire-agua (Hepher y Pruginin, 1981).

El término dureza total, se refiere a la concentración de iones metálicos divalentes en el agua (Arredondo y Ponce, 1998). Se dice que un agua es "dura" o "blanda" atendiendo a la mayor o menor cantidad de sales cálcicas y magnésicas que contiene. Cuando las cantidades son muy pequeñas, menores a 75 mg $CaCO_3/L$ se dice que es un agua blanda. Si las cantidades son altas, mayores a 150 mg $CaCO_3/L$, es agua dura. Esta característica del agua tiene sus ventajas y sus inconvenientes (Martínez, 1998).

Los nutrientes son sales inorgánicas, cuya presencia se manifiesta en función en primer lugar de los aportes alóctonos hacia el cuerpo acuático y en segundo lugar de la velocidad e intensidad de reciclamiento. La base de la pirámide trófica en los ecosistemas acuáticos está representada principalmente por los productores primarios, los cuales están determinados en su desarrollo y proliferación por la luz, el CO_2 y los nutrientes. Los principales compuestos denominados comúnmente nutrientes son las fuentes de nitrógeno, las fuentes del fósforo y las fuentes de sílice (Contreras, 1994).

Existen diversas formas nitrogenadas disueltas en el agua: a) orgánicas como amino-ácidos, aminoazúcares de bajo peso molecular, hasta sustancias húmicas; b) nitrógeno molecular (solo asimilable por bacterias y algas cianofitas) y c) sales inorgánicas que predominan como amonio (NH_4^+), nitritos (NO_2^-) y nitratos (NO_3^-) e incluso, bajo ciertas condiciones de pH alcalinos (mayor a 11 unidades de pH) el amoniaco (NH_3). El amonio es asimilado por el fitoplancton y la macrovegetación directamente (sin cambio químico y gasto de energía) (Martínez, 1998). Es un

nutriente esencial para muchos autótrofos fotosintéticos y en algunos casos ha sido identificado como el determinante del crecimiento (APHA-AWWA-WPCF, 1992).

El fósforo, es un elemento considerado como clave para los ecosistemas acuáticos, ya que su disponibilidad por lo general regula la productividad primaria (Arredondo y Ponce, 1998). Se encuentra en las aguas naturales y residuales casi exclusivamente en forma de fosfatos, clasificados en forma de ortofosfatos, fosfatos condensados y los ligados orgánicamente. El fósforo es esencial para el crecimiento de los organismos y puede ser el nutriente limitante de la productividad primaria de un cuerpo de agua (APHA-AWWA-WPCF, 1992).

Las concentraciones de nitrógeno y los compuestos de fósforo, son muy dinámicas, debido a que éstos pueden utilizarse, almacenarse, transformarse y excretarse rápida y repetidamente por los organismos acuáticos (Wetzel, 1981). Una sobresaturación de nutrientes en el medio contribuye a la eutrofización; tal estado es propicio para un constante florecimiento fitoplanctónico de graves consecuencias para el ecosistema (Contreras, 1994).

2. Importancia del medio biológico.

De acuerdo con Cronk y Fennessy, (2001), desde un punto de vista biológico, las plantas que habitan ecosistemas acuáticos como los embalses, mejor conocidas como hidrófitas, tienen papeles múltiples en función de sus características y tipo, así como de otras hidrófitas allí presentes. La vegetación, propia de estos sistemas, esta definida por su habilidad de establecerse en lugares con mucha humedad; representados por diversas especies con adaptaciones, estrategias de vida y tolerancia ecológica diferentes, características que habilitan su supervivencia; pueden ser flotantes o arraigadas o una mezcla de ambas, como se observa en la **figura 1**.

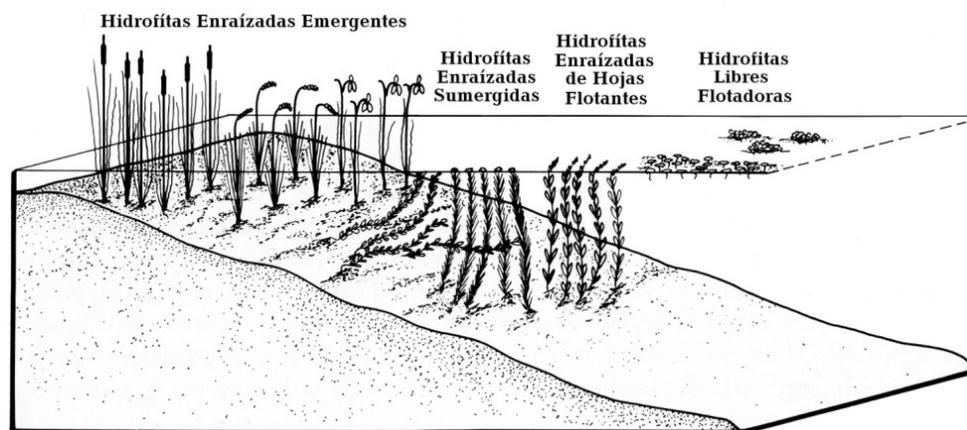


Figura 1. Ilustración que muestra las diferentes formas de vida de la vegetación acuática.

Tomado de : Bonilla y Novelo, 1995

Según lo establecido por Margalef, (1983) y González de Infante (1988) los lagos y otras masas de aguas epicontinentales albergan una amplia variedad de formas de vida tanto en las aguas abiertas, como en los sedimentos y en los sustratos inmersos, así como una gran variedad de organismos



macroscópicos y microscópicos, estos últimos constituyen el plancton, el cual vive suspendido en el agua y constituye la unidad básica de producción de materia orgánica en los ecosistemas acuáticos.

En presencia de nutrientes adecuados y suficientes, el fitoplancton es capaz de acumular energía lumínica solar en forma de compuestos químicos energéticos merced a la fotosíntesis. El oxígeno que se genera en ese proceso representa una parte sustancial del que utilizan los organismos acuáticos para su respiración (González de Infante, 1988). La identificación de las comunidades fitoplanctónicas presentes refleja las modificaciones de la estructura poblacional y la proliferación de especies asociadas a las fluctuaciones en el sistema.

Cada lago posee un conjunto de formas planctónicas cuya variedad, abundancia y distribución le son propias y dependen de su adaptación a las características abióticas (temperatura, luz, oxígeno disuelto, concentración de nutrientes) y bióticas (depredadores, parásitos, competencia). Aún cuando hay especies que se presentan en muchos sistemas, sus proporciones pueden variar de una masa de agua a otra, además, cada lago presenta variaciones estacionales en su composición específica de plancton, sobre todo en las regiones templadas, que definen el ciclo anual. Por último, hay que considerar que las actividades humanas dan lugar a cambios importantes – físicos, químicos y biológicos – en la masa de agua (González de Infante, 1988).

3. Evaluación de Impacto Ambiental

En muchas de las actividades productivas llevadas a cabo por el hombre se altera en mayor o menor grado el medio ambiente en que se desarrolla, es decir, se genera un impacto ambiental sobre el ecosistema, por lo que se ha hecho necesario conocer estos efectos a través de las evaluaciones de impacto ambiental. Margalef (1983) plantea que si bien la construcción de embalses conlleva una intención de beneficio social, este proceso altera profundamente las redes fluviales consideradas como residencia de especies de peces, principalmente de los que migran; de la misma forma que a los ecosistemas preexistentes, modificándolos de maneras muy diversas. Es por ello que, el impacto resultante de los embalses, depende de las decisiones que se tomaron en relación con su construcción y usos. Desde el punto de vista ecológico, estos efectos trascienden del terreno exclusivamente limnológico a un contexto más vasto. Aunque es importante considerar que este autor muy probablemente se refiere a grandes embalses que ocupan áreas extensas, y no a cuerpos de agua de pequeña escala como los de éste estudio.

En este sentido, el desarrollo nacional se sustenta en el aprovechamiento de nuestros recursos naturales para obtener cada vez más y mejores satisfacciones; sin embargo, el tratar de alcanzar una mejor calidad de vida, constituye pagar un precio invaluable como lo es la alteración al medio ambiente, en consecuencia el aspecto ambiental pasa a formar parte esencial e integral del desarrollo (Sterling, 1991).

Para conseguir un desarrollo sostenible y equilibrado, compatible con la conservación de nuestro medio natural es preciso aplicar un conjunto de principios básicos que informan la gestión en materia de protección del medio ambiente. Los estudios de impacto ambiental son una excelente herramienta para prevenir y evaluar las alteraciones que determinadas acciones, obras o instalaciones pueden producir en el entorno (Conesa, 1997).



El término impacto ambiental se define como la alteración favorable o desfavorable que experimenta el ambiente como resultado de la actividad humana o de la naturaleza, por lo que el término impacto ambiental no aplica necesariamente negatividad. El impacto ambiental abarca dos grandes áreas, las cuales son: el medio natural orientado a estudios de impacto físico y biótico y el medio social, encaminado hacia los aspectos sociales, económicos y culturales (Ortiz, 1998; Vázquez y César, 1994).

Para la evaluación de impacto ambiental, debe tomarse en cuenta que no existe una metodología universal para dicha valoración y que en la mayoría de proyectos no es posible la aplicación de una sola técnica de evaluación ya que generalmente cada método se restringe a una de las fases del estudio de impacto ambiental; diversos autores señalan la necesidad de contar con el apoyo de diferentes métodos, de acuerdo al tipo de proyecto, el entorno ambiental y la etapa del procedimiento de evaluación (Vizayakumar y Mohapatra, 1992; Cocklin *et al*, 1992).

La Matriz de Leopold (Leopold, 1971) ha sido adaptada en gran cantidad de casos a las características de cada investigación. Este método de identificación permite reconocer las relaciones de causa-efecto de las acciones llevadas a cabo por cada proyecto, en este caso la construcción de bordos para almacenamiento de agua de lluvia, y los elementos del ambiente que potencialmente pueden ser afectados por estas.

Una vez construida la matriz, que se describe más a detalle en el método, se procede a la identificación de los impactos generados señalándose en la celda correspondiente. En dicha celda se coloca la clave de la categoría del impacto que se ha identificado.



II. ANTECEDENTES

En México el estudio de cuerpos de agua ha tomado mayor importancia en los últimos años, permitiendo ampliar el conocimiento que de ellos se tiene. Existen numerosos trabajos de este tipo, realizados en gran parte del país aunque todos con diferentes enfoques; de entre ellos existe una gran cantidad de estudios para grandes embalses a nivel nacional e internacional pero en cuanto a embalses pequeños podemos citar los siguientes y los cuales se mencionan en el siguiente orden: estudios en cuerpos de agua en zonas de clima cálido, estudios en embalses de otras regiones del país, fitoplancton, vegetación acuática e impacto ambiental:

En lo referente a trabajos en zonas de clima cálido Ortiz (2006) realizó un estudio en diversos cuerpos de agua del estado de Morelos. Georeferenció 51 cuerpos de agua entre bordos, lagos y presas; evaluando parámetros físicos, químicos, biológicos, morfométricos y batimétricos en todos ellos. El mayor número de sistemas se ubicó en los municipios de Tetecala y Coatlán del Río. Registró 31 sistemas permanentes y 20 temporales, la mayor parte de ellos se caracterizaron como eutróficos con tendencia a hipereutróficos. En total, para el fitoplancton, el número de especies representativas por su abundancia y frecuencia de aparición por división fueron: Chlorophyta (52), Cyanophyta (16), Chromophyta (15), Euglenophyta (5) y Pyrrophyta (2). La composición del zooplancton estuvo representada por: cladóceros, seguidos por los copépodos y la menor abundancia por grupos de ciliados y rotíferos; determinó un total de 19 especies, 13 géneros y 9 familias.

Manríquez (2005) realizó estudios basados en la edad y crecimiento de *Oreochromis niloticus* y parámetros físicos y químicos del lago de Coatetelco en Morelos. Determinó que es un cuerpo de agua somero y lo clasificó como un lago hipereutrófico. Registró valores promedio de alcalinidad de 35.5 mg/l, conductividad de 575.25 μ S/cm, oxígeno de 8.94 mg/l; por los valores de dureza total se consideró como un sistema de aguas duras, presentó valores bajos de CO₂ y un pH ligeramente alcalino. Registró un intervalo de talla para la especie de 2.4- 23.2 cm y una proporción sexual de 1:8.85 (hembra:macho) y determinó que los machos crecen mas que las hembras. Finalmente sugiere ampliar el tamaño de luz de malla para evitar la sobreexplotación de la especie.

Dorantes y Zavala (2003) efectuaron un estudio de la calidad del agua en la presa "Emiliano Zapata" (E. Z.) y los lagos "El Rodeo" y "Coatetelco", en el estado de Morelos. Clasifican a los dos primeros como sistemas monomícticos cálidos y al último como cálido polimíctico continuo. Las concentraciones de nutrientes en los tres cuerpos se encuentran dentro de los intervalos para aguas continentales por las Normas Oficiales Mexicanas. Con respecto al fitoplancton, registraron en la presa E. Z. y en el lago Coatetelco un total de 26 especies, mientras que en el Rodeo fueron 36 especies. El zooplancton estuvo constituido por copépodos, cladóceros y rotíferos, siendo estos últimos los más abundantes para los tres sistemas. De acuerdo a la concentración de clorofila "a", la presa E. Z. se clasifica como eutrófico durante la estación de secas e hipertrófico durante lluvias, el lago El Rodeo se clasifica como un sistema mesotrófico con tendencia a la eutrofización y el lago Coatetelco se considera un sistema en condiciones de eutróficas a hipertróficas.

Patlani y Pérez (2002) caracterizaron a la presa "Emiliano Zapata" como un embalse artificial cuyo comportamiento se ve influenciado por los procesos de llenado (estación de lluvias) y vaciado (época de seca). Clasificaron el sistema como un cuerpo de agua monomíctico cálido; el análisis de los parámetros físicos y químicos indicaron que el agua de la presa es adecuada para el desarrollo de la



tilapia. La proporción sexual de *Oreochromis niloticus* fue de 1.4:1 (macho:hembra). Registraron 5 anillos en la población por medio de la lectura de estructuras óseas, determinando que la población analizada corresponde a individuos maduros y la talla promedio (17.9 cm de longitud total).

Ramos (2001) realizó un análisis de diferentes variables físicas, químicas y biológicas para determinar la calidad del agua, así como la composición, abundancia y distribución del fitoplancton en la presa Emiliano Zapata, en Morelos. Los datos de temperatura clasifican al cuerpo de agua como monomítico cálido y holomítico, con un periodo de mezcla de noviembre a marzo y otro de estratificación de abril a septiembre. Los factores físicos y químicos se vieron influenciados por la época de lluvias y estiaje, pero las concentraciones se encuentran dentro de los límites permisibles de calidad del agua y se consideran adecuadas para el cultivo de la tilapia (especie cultivada en el sistema). Registró un total de 29 especies de microalgas, siendo las clorofitas las más abundantes. La mayor diversidad de especies se presentó en abril y la mayor densidad fitoplanctónica se registró en el mes de noviembre.

Arredondo- Figueroa y Ponce-Palafox (1986) estudiaron el comportamiento limnológico de un embalse temporal tropical aplicando modelos multivariados. Registraron un total de 46 variables agrupadas en cuatro compartimientos: climáticas, morfométricas, físico-químicas y biológicas. Concluyeron que el comportamiento de la zona pelágica depende en gran medida de las fluctuaciones del volumen de agua y la relación de ésta con las sustancias disueltas, la materia orgánica y la cantidad del fitoplancton. Así como que, el empleo de estas técnicas estadísticas es adecuada para describir los efectos separados y combinados que ejercen variables exógenas y endógenas en la conducta del embalse.

Sobre estudios realizados en áreas templadas podemos mencionar a Moreno (2004) quien realizó en el municipio de Chignahuapan, Puebla, un extenso trabajo para promover la acuicultura en las presas y bordos de ésta región de 1982 a 1987. Las especies introducidas fueron las variedades de la carpa común *Cyprinus carpio*, var. *specularis* (carpa de Israel) y *Cyprinus carpio* var. *rubrofuscus* (carpa barrigona). Concluye que antes de tomar la decisión de introducir y explotar especies exóticas para el mejoramiento de la alimentación de la población rural, deben realizarse amplios trabajos de investigación, ya que la introducción de este tipo de organismos puede inducir cambios adversos al ambiente y al legado genético de las especies nativas. Para la introducción de especies exóticas es necesario desarrollar instrumentos legales para proteger el ambiente. Observó que la introducción de las carpas afectó al ajolote (*Ambistoma sp.*) y las poblaciones de charal.

López-Blanco y Zambrano-González (2001) evaluaron las características ecológicas de cinco microembalses en Acambay, Edo. México, basados en el establecimiento de las correlaciones estadísticas entre valores promedio puntuales de 1) sólidos disueltos, 2) turbidez/transparencia, 3) cobertura de macrofitas totales (sumergidas, emergentes y libreflotadoras), 4) cobertura de macrofitas de superficie (emergentes y libreflotadoras), 5) abundancia de zooplancton y 6) concentración de clorofila *a*, con respecto a los valores de radiancia promedio (niveles digitales) en cada una de las bandas del visible (rojo-verde-azul o RGB) en la que se pueden separar a las imágenes de video capturadas en formato digital de 24 bits por pixel. Este método mostró ser útil para la descripción de las variables físicas de los microembalses, pero no lo fue para las variables biológicas.



Hernández (1999) realizó un estudio limnológico de siete microembalses y evaluó el crecimiento de la carpa barrigona y de la carpa herbívora en el estado de Tlaxcala. Encontró que todos los embalses fueron polimícticos cálidos continuos, con una elevada fertilización orgánica producto de las deyecciones de los animales que abrevan en ellos. Los microembalses tienden de la mesoeutrofia a la eutrofia y, a pesar de las altas concentraciones de nutrimentos, los sistemas son poco productivos al estar limitados por la baja penetración de luz y temperaturas. A partir de los valores de producción primaria distingue dos tipos de embalses: los de alta fertilización orgánica y los influenciados por una fuerte erosión. Para la carpa barrigona estimó longitudes máximas inferiores de 28 cm y pesos máximos por debajo de los 624 g. La carpa herbívora presentó la tasa de crecimiento más baja. Con base en el análisis factorial determinó que cinco factores explican la mayor variación de los sistemas; los tres primeros se consideraron como los más importantes: el factor I incluyó variables morfométricas y la producción primaria, en el segundo la componente edáfica y variables morfométricas vinculadas con el contorno del sistema y en el tercer factor los nutrimentos, temperatura y el área superficial.

Ceja y Gazano (1994) analizaron los embalses temporales Cuautepec y Cantarranas, en Hidalgo. Ambos sistemas mostraron una fase de dilución de julio a septiembre y una fase de concentración de octubre a abril. Encontraron características diferenciales entre las concentraciones de nutrientes, materia orgánica, sales y gases disueltos. Los valores de alcalinidad dureza total y por calcio, conductividad y pH se encontraron dentro del intervalo necesario para el crecimiento de ciprínidos. De acuerdo a las comunidades planctónicas que registraron y sus densidades, ubicaron a los sistemas como moderadamente eutróficos. El tipo de crecimiento que presentaron la carpa común y la carpa barrigona en ambos sistemas fue alométrico negativo. Por medio de un análisis de Factor mostraron que las variaciones de volumen y de temperatura fueron las más importantes en la determinación del comportamiento de los sistemas.

También se han realizado diversos estudios respecto a cultivo de peces nativos y no nativos en diversos sistemas y regiones de nuestro país, por ejemplo Navarrete *et al* (2000) llevaron a cabo un estudio para implementar un policultivo de carpa común (*Cyprinus carpio*), carpa herbívora (*Ctenopharyngodon idella*) y tilapia (*Oreochromis aureus*) en dos bordos rurales (L1 y L2) del estado de México. Los bordos fueron similares en cuanto a los valores de dureza, alcalinidad, conductividad y oxígeno, pero el agua del bordo L2 tuvo mayor temperatura, fue neutra y 2.5% más turbia en relación con el bordo L1. En cuanto los resultados de crecimientos absolutos y relativos en longitud y peso de las tres especies, los mayores se obtuvieron en el bordo L2, debido a las características ya mencionadas y a que las mermas de agua eran recuperadas lo que provocaba zonas de vegetación inundada la que al descomponerse propicia el desarrollo de pequeños crustáceos, larvas de insectos y algas que sirven de alimento a las carpas y tilapias.

Arredondo- Figueroa y Flores-Nava (1992) analizaron la importancia y características limnológicas de pequeños cuerpos de agua epicontinentales de México, generadores de proteína animal para consumo humano. Determinaron que los embalses temporales y permanentes exhiben tres etapas de sucesión ecológica alternadas: fase de "transición", "dilución" y "concentración" con características limnológicas diferenciales. Reconocieron dos tipos de sistemas de acuerdo a su manejo (los estanques rústicos o semi-rústicos y los canales de corriente rápida) y por las condiciones geológicas de la



meseta central del país, es posible encontrar estanques con elevada productividad y rendimientos acuáticos.

Hernández-Avilés y Peña-Mendoza (1992) realizaron un análisis factorial en los bordos semi-permanentes Chavarría y Michapa, en el estado de Morelos. En ellos desarrollaron policultivos en tres etapas para cultivo de tilapia, carpa barrigona, carpa plateada y carpa cabezona. Las variables que se relacionaban con el factor edáfico y la temperatura resultaron ser las más importantes para la determinación del comportamiento del bordo Chavarría y los de autorregulación del sistema de carbono en el bordo de Michapa.

Arredondo-Figueroa y Lozano-Gracia (1994) realizaron un policultivo experimental de ciprinidos asiáticos y chinos (carpa herbívora, plateada, cabezona, brema y barrigona) para comparar tres tipos de fertilizantes: biabono líquido de borrego, biabono líquido de cerdo y fertilizantes químicos. En todos los tratamientos los valores de temperatura, conductividad, sodio, potasio, dureza y alcalinidad total, fueron semejantes y los de oxígeno disuelto, amonio total, nitritos, ortofosfatos y fotosíntesis neta mostraron diferencias entre los biabonos y el fertilizante químico. La comunidad fitoplanctónica estuvo representada por 40 géneros, siendo las clorofitas el grupo dominante. No registraron diferencias significativas en los rendimientos acuícolas.

En lo referente a estudios de fitoplancton Rodríguez (1999) realizó un estudio del plancton y algunos parámetros físicos y químicos en la Presa Villa Victoria en el Edo. de México. Registró 37 especies en 28 géneros fitoplanctónicos pertenecientes a 5 divisiones: Chlorophyta (16 especies), Cyanophyta (7 especies), Chrysophyta (12 especies), Euglenophyta (1 especie) y Pyrrophyta (1 especie). Respecto al zooplancton registró una mayor dominancia del grupo de los cladóceros, seguido de los copépodos y los rotíferos. Además determinó que hay una distribución homogénea entre los distintos niveles de profundidad y estaciones de muestreo. La mayor concentración de fitoplancton fue en diciembre y la de zooplancton en septiembre. En base a la composición de especies fitoplanctónicas caracterizó a la presa como un sistema con tendencias a la eutrofización.

Juárez (2005) estudió las microalgas de tres cuerpos de agua: la presa Valle de Bravo, la presa Villa Victoria y arroyos tributarios del río Ameca en el Parque Nacional Izta- Popo, adicionalmente evaluó parámetros físicos y químicos del agua. En la primera encontró que para la división Chlorophyta, las más comunes fueron *Pediastrum duplex*, *P. simplex* y *Staurastrum paradoxum*. En la Cyanophyta las más comunes fueron: *Anabaena solitaria* y *Aphanocapsa elachista*. En Villa Victoria las Chlorophytas más abundantes fueron *Scenedesmus quadricauda*, *Staurastrum paradoxum* y *Pediastrum duplex*; encontró 14 especies de la división Chrysophyta. La composición por especies de arroyos del Parque Nacional Izta-Popo, mostró una mayor presencia de la división Chrysophyta con 12 especies. Con base en la composición de microalgas presentes y a las condiciones físico-químicas clasificó a la presa Valle de Bravo como un sistema eutrófico, a la presa Villa Victoria como mesotrófico y al arroyo Ameca como oligotrófico.

López- López y Serna-Hernández (1999) estudiaron las comunidades planctónicas y los factores ambientales del embalse Ignacio Allende en Guanajuato, México. Observaron una proliferación de cianofíceas en el verano coincidente con el mayor nivel de agua, seguido por la dominancia de bacilariofíceas en los meses fríos, en primavera con el incremento en la temperatura las clorofíceas alcanzaron sus mayores densidades. Las dinofíceas y euglenofíceas presentaron la menor riqueza



específica. La proliferación de *Anabaena variabilis* en el verano y la alta frecuencia de *Ceratium hirundinella*, *Aulacoseira granulata* y *Fragilaria crotonensis* se asoció con cuerpos de agua tropicales eutróficos. Encontraron 39 taxones zooplanctónicos, de los cuales *Diaphanosoma birgei*, *Bosmina longirostris*, *Daphnia parvula*, *Diaptomus (Mastigodiaptomus) montezumae*, *Acanthocyclops vernalis*, *Keratella cochlearis*, *Polyarthra vulgaris* y *Asplanchna priodonta*, fueron persistentes en todo el ciclo. Un análisis de correspondencias canónicas mostró las relaciones que guardan los cambios en composición del zooplancton con las características físicas y químicas del embalse.

Mangas (1990) estudió las diatomeas de un embalse en el estado de México y determinó algunos parámetros físicos y químicos. Caracterizó al embalse como mesotrófico del tipo subtropical, polimíctico; con aguas neutras, moderadamente duras y observó que los nitratos y los ortofosfatos no actuaron como factor limitante en las variaciones de la comunidad diatomológica. Halló 33 especies de diatomeas y el 90.01% pertenece al orden de las Pennales y el 9.99% al de las Centrales. En el mes de septiembre se registró el mayor índice de diversidad.

Por otra parte, García y Martínez (2001) estudiaron la flora y vegetación acuática de los ríos, charcos temporales, presas y canales de algunas localidades de Querétaro. En general, determinaron que los cuerpos de agua están contaminados y muchos están cubiertos por lirio (*Eichhornia crassipes*) y *Lemna sp.* La zona de mayor riqueza florística correspondió a los charcos temporales de la región de Amealco y Huimilpan donde encontraron 33 especies de plantas acuáticas y subacuáticas. En total reportaron 118 especies de 65 géneros y 43 familias de pteridofitas, gimnospermas y angiospermas, 19 de las cuales fueron nuevos registros para el estado.

Bonilla (1992) caracterizó a la vegetación acuática y la relacionó con las características físicas y químicas del agua de las Lagunas de Zempoala, Morelos. Determinó que la flora está constituida por 42 géneros y 63 especies, las cuales estuvieron representadas por helechos herbáceos, 30 considerados como estrictamente acuáticas, 24 como subacuáticas y 9 como tolerantes. Las aguas de los lagos Zempoala y Tonatiahua fueron clasificadas como "blandas", caracterizadas por el predominio de bicarbonatos de magnesio y bajas concentraciones de sales. Concluye que los lagos presentan un alto deterioro debido a la extracción de agua y el pastoreo, lo que favorece el desarrollo de especies introducidas, con crecimiento de maleza, que ha ido sustituyendo a las especies nativas. Los parámetros físicos y químicos, como el nivel de agua, son considerados como los factores principales que influyeron en la distribución y desarrollo de la vegetación acuática de los lagos.

Mora-Olivo y Villaseñor (2007) analizaron la diversidad y distribución de las hidrófitas de Tamaulipas. Registraron 426 especies pertenecientes a 213 géneros y 85 familias de plantas vasculares; tal riqueza representó 57% del total conocido para México. Un 22.8% de las especies fueron acuáticas estrictas, 43.7% subacuáticas y 33.5% tolerantes. Por su forma biológica, 88.5% de las especies son herbáceas, 6.1% arbustos y 5.4% árboles. Dominaron las hidrófitas enraizadas emergentes (376 especies, 88.3%), sólo identificaron nueve especies como endémicas de México (una de ellas endémica de Tamaulipas).

Novelo y Ramos (1993) estudiaron en la laguna de Yuriria, Guanajuato, la flora y la vegetación acuática vascular y las distintas asociaciones que en ella existen. Encontraron que, no obstante, al ser una laguna artificial (embalse), el sistema presentó una gran riqueza florística que comprendió 47 especies y 34 géneros pertenecientes a 25 familias de plantas vasculares. Las familias mejor



representadas fueron Gramineae, Cyperaceae, Compositae, Lemnaceae, Polygonaceae y Umbelliferae. Destacaron como forma biológica dominante las herbáceas, entre éstas, las hidrófitas enraizadas emergentes alcanzaron un total de 27 especies. Solamente 2 elementos arbóreos (*Taxodium mucronatum* y *Salix chilensis*) fueron registrados. La vegetación acuática estuvo dominada por extensos tulares de *Typha domingensis* y *Scirpus californicus* especialmente en lugares someros. Además determinaron que el embalse está en un claro proceso de envejecimiento, ocasionando con esto una lenta pero continua pérdida de hábitats acuáticos. En gran parte esto es debido al desarrollo masivo de *Eichhornia crassipes* o "lirio acuático", que llega a cubrir hasta 60 % de la superficie lacustre.

Gómez y Martínez (2006) describieron la anatomía vegetativa de las hidrófitas *Nymphoides indica* y *Nymphoides fallax* puesto que el conocimiento de la anatomía del género es incompleto y *N. fallax* no se ha tratado, además de que estas son las únicas especies que crecen en México de dicho género. Concluyen que la estructura de ambas especies es típica de una planta acuática y que a simple vista no pueden distinguirse una de otra.

Novelo y Rojas (1995) describieron la vegetación acuática del lago de Cuitzeo, encontraron que el lago tiene unas grandes riquezas florística representada por 92 especies de 40 familias, de las cuales 25 fueron acuáticas estrictas, 30 subacuáticas y el resto tolerantes. Concluyen que el largo período de sequía, la alta evaporación y la concentración de sales en el agua y en el sedimento, son algunos de los factores que limitan el crecimiento de la vegetación acuática en casi todo el lago.

En lo referente a estudios de impacto ambiental y solo por mencionar algunos de los múltiples estudios tenemos a Flores (2001) quien realizó un estudio del impacto ambiental que las presas y bordos generan en su entorno. Señala que si se tiene una visión clara de los efectos de un proyecto de presa antes de iniciar su diseño y si se evalúan sus impactos ambientales se obtendrían proyectos que rindan más beneficios y menos problemas y que el objetivo es construir nuevas presas en balance con su entorno natural y social.

Aguilar en 1996 comparó la aplicación de tres técnicas comúnmente utilizadas en las evaluaciones de impacto ambiental, señalando sus ventajas y desventajas. Muestra la forma de aplicar las técnicas de lista de chequeo, superposición de mapas y matriz de Leopold, con el fin de obtener mejores resultados, ya que cada técnica puede denotar factores que con la aplicación de una sola no podrían destacarse.

Sterling (1991) realizó una evaluación del impacto ambiental de la construcción de una presa y zona de riego en Mixquiapan, Hidalgo. Obtuvo que los factores ambientales modificados serían el agua, el clima, el suelo, la vegetación, la fauna y los aspectos socioeconómicos; determinando que los impactos adversos de mayor importancia se darían por la actividad de desmonte sobre la vegetación y por la aplicación de fertilizantes y plaguicidas, influyendo estos en el agua, el suelo, la fauna terrestre y la salud humana. A fin de mitigar estos impactos sugiere como medidas prioritarias la reforestación y la adecuada utilización de fertilizantes y plaguicidas. También registró los impactos benéficos del proyecto, dándose los más importantes durante la etapa de operación de las obras abarcando los factores agua, suelo, vegetación comercial, fauna y aspectos de desarrollo socioeconómicos.

III. ÁREA DE ESTUDIO

El municipio de Chignahuapan, se localiza en la parte NW del estado de Puebla, entre los $19^{\circ} 39' 42''$ y $19^{\circ} 58' 48''$ de latitud norte y $97^{\circ} 57' 18''$ y $98^{\circ} 18' 06''$ de longitud oeste. Colinda al norte con Zacatlán, al sur con el estado de Tlaxcala, al oeste con Zacatlán y Aquixtla y al poniente con el estado de Hidalgo (Secretaría de Gobernación, 1988).

Tiene una superficie de 851.34 kilómetros cuadrados, que lo ubica en el tercer lugar con respecto a los demás municipios del estado y cuenta con 159 localidades (INEGI, 2006).

1. Ubicación de los cuerpos de agua.

El embalse "El Lagarto" se ubica a 6 Km al sur de Chignahuapan por la carretera estatal que va de este municipio hacia Tlaxco, Tlaxcala; entre los $19^{\circ}47'36.9''$ de latitud norte y $98^{\circ}04'34.3''$ de longitud oeste, a una altitud de 2339 msnm.

El embalse "Cuauhtémoc" se ubica a 9 Km. al sur de Chignahuapan por la carretera estatal que va de ésta hacia el municipio de Tlaxco, Tlaxcala; frente a la colonia Villa Cuauhtémoc; entre los $19^{\circ}46'50.4''$ de latitud norte y $98^{\circ}06'08.5''$ de longitud oeste, a una altitud de 2302 msnm (Figura 2). Para un a mejor referencia de la ubicación de los embalses revise las fotos del Anexo 2.

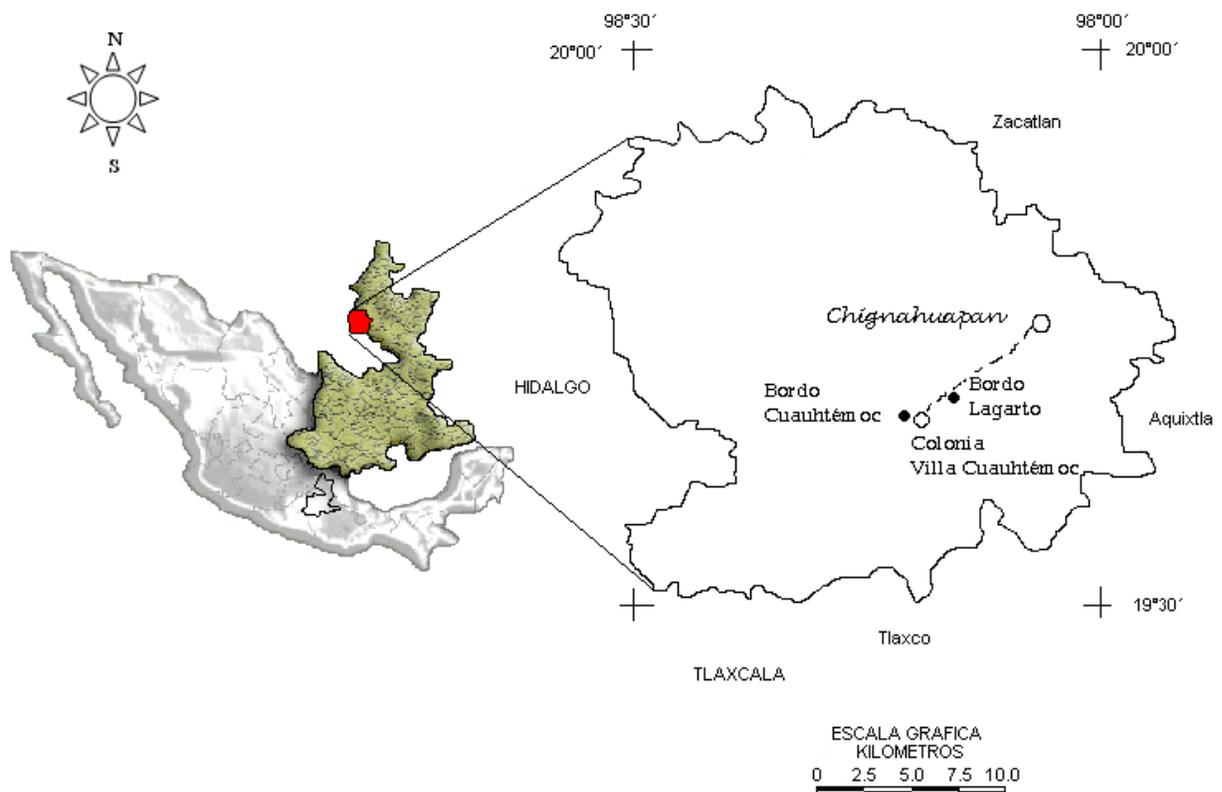


Figura 2. Ubicación de los embalses.



2. Clima

El clima de la zona es C(w₁)(w), clima templado subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media (INEGI, 2006).

En cuanto a las temperatura, el registró más reciente para esta zona fue tomado de la estación meteorológica San Nicolas Tetela, que en el periodo 2001-2005 presenta una temperatura promedio anual de 15.3°C, en el año más frío 14.3°C y el año más caluroso 16.1°C. Los meses más fríos son noviembre, diciembre y enero (INEGI. 2006)

En ésta misma estación se registró una precipitación promedio anual de 886.6 mm; la precipitación del año más seco fue de 375 mm y la del año más lluvioso de 1 334 mm (INEGI, 2006).

3. Suelo

El embalse "El Lagarto" posee suelos de tipo Feozem-Lúvico y Vertisol-Pélico con textura media (en los primeros 30 cm) (INEGI, 1984).

El embalse "Cuauhtémoc", posee suelos de tipo Vertisol-Pélico y Feozem-Lúvico con textura fina (en los primeros 30 cm) (INEGI, 1984).

4. Geología

El INEGI (2000) reporta que la zona de estudio se ubica en la provincia de Eje Neovolcánico, en la Subprovincia Lagos y Volcanes del Anáhuac. En esta zona se encuentran materiales sedimentarios calcáreos y no calcáreos, que han sido sepultados parcialmente por rocas volcánicas. Asimismo, estratigráficamente menciona para esta zona, registros en tiempo geológico de las eras Cenozoica, de los periodos Cuaternario y Terciario, de la Mesozoica, del periodo Cretácico, presentando rocas de tipo ígneo extrusivas y sedimentarias.

Puebla cuenta con un gran potencial geotérmico, dado que gran parte de su territorio, forma parte de la provincia geológica de la Faja Volcánica Transmexicana, por lo que el volcanismo reciente en esta región, ha generado numerosos aparatos volcánicos. Tal es el caso de la caldera de los Húmeros, que se localiza en su mayor parte, dentro del estado de Puebla y parte de Veracruz. En la zona de Chignahuapan, al noroeste del municipio, se encuentran los baños termales de Chignahuapan, conocidos por sus aguas sulfurosas que emanan de la tierra (Secretaría de Gobernación, 1988).

5. Hidrología

La zona donde se ubican los embalses y su zona de influencia se encuentra en la región hidrológica RH27 B, Tuxpan-Nautla, Subcuenca del Río Tecolutla (INEGI, 2006).



5.1 Principales Ríos

Chignahuapan es recorrido por ríos pertenecientes a la subcuenca del Tecolutla; uno de sus principales formadores, el Ajajalpa, corre por el valle intermontano por más de 25 kilómetros, a su paso recibe numerosos afluentes que bañan el norte y sur destacando el Chignahuapan y la Magdalena, San Pedro, Arroyo Hondo, Río Blanco, entre otros.

Los arroyos que se dirigen hacia el norte tienen confluencia en el Atotonilco, afluente del Necaxa que a su vez es tributario del Tecolutla.

También cuenta con numerosos arroyos intermitentes que se originan en las distintas formaciones montañosas del interior y se unen en los ríos mencionados (Secretaría de Gobernación, 1988).

5.2 Embalses y cuerpos de agua

El municipio cuenta con 160 cuerpos de agua entre lagunas y bordos, destacando los siguientes: la laguna de Ajolotla, la más grande del municipio, al oriente del poblado de Ajolotla; el lago que se localiza al oriente de Chignahuapan conocido con el mismo nombre; los bordos del Rodeo, la Primavera, San Francisco y el Lagarto en los alrededores del Villa Cuauhtémoc; los bordos de San Francisco al noroeste de Cuauteloluco y el ubicado al sur de Cruz Colorada (Secretaría de Gobernación, 1988; INEGI 2006).

Para realizar la evaluación de impacto ambiental se requiere de una amplia búsqueda y mayor cantidad de información respecto a las características físicas, biológicas y socioeconómicas de la zona donde se ubican los cuerpos de agua y su área de influencia. Dicha información se muestra más adelante como parte de los resultados necesarios para la evaluación.



IV. OBJETIVO GENERAL

Determinar las condiciones ambientales que presentan los embalses “El Lagarto” y “Cuauhtémoc” a través de la descripción de la variación en el tiempo de sus características físicas, químicas y biológicas y evaluar el impacto que su construcción ha tenido sobre su entorno.

OBJETIVOS PARTICULARES

- ↻ Registrar estacionalmente las dimensiones y variaciones morfométricas de cada uno de los embalses.
- ↻ Valorar periódicamente las condiciones físicas y químicas del agua en cada uno de los sistemas, en función de los siguientes parámetros: pH, conductividad, alcalinidad, dureza total, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), amonio, nitratos, ortofosfatos, sólidos suspendidos y sólidos disueltos.
- ↻ Describir a nivel de género la vegetación acuática presente en ambos sistemas; plantas emergentes, arraigadas y flotantes; así como la composición y densidad del fitoplancton.
- ↻ Identificar en forma general y a nivel de género la macrofauna más representativa que se encuentre en cada uno de los bordos definidos para el estudio.
- ↻ Analizar la variación temporal que presentan los parámetros físicos, químicos y biológicos en cada uno de los embalses.
- ↻ Comparar en términos descriptivos las diferencias de ambos sistemas respecto a sus características biológicas, físicas y químicas.
- ↻ Realizar la evaluación del impacto que estos sistemas producen al ambiente.
- ↻ Evaluar estadísticamente las diferencias registradas en los parámetros analizados para los distintos puntos de muestreo.



V. MATERIAL Y METODOS

El trabajo fue realizado en tres fases:

1. Fase de campo
2. Fase de laboratorio
3. Fase de gabinete

1. FASE DE CAMPO

Esta fase se realizó en la comunidad de Villa Cuauhtémoc ubicada al sur del municipio de Chignahuapan en el estado de Puebla. Se realizaron 11 muestreos durante el periodo comprendido de diciembre de 2004 a noviembre de 2005, a excepción del mes de julio, debido a que en este mes el embalse Cuauhtémoc estuvo seco por lo que no se realizó la visita a los sistemas.

En función de las dimensiones de los bordos seleccionados, se establecieron las estaciones de muestreo en cada sistema, tomando en cuenta características como: afluente, efluente, centro de los cuerpos de agua, zonas representativas (distribución de la vegetación, zonas de crecimientos planctónicos, etc.), la morfometría (área superficial y contorno), accesibilidad, profundidad, etc.

Para el sistema “El Lagarto”, fueron necesarias seis estaciones de muestreo, debido a su dimensión y bajo las mismas premisas ya mencionadas, se consideró que los sitios indicados eran los siguientes: 1) el canal de abastecimiento a través del cual es alimentado el sistema, 2) un punto cercano a la zona donde llega el agua del canal, 3) la compuerta (efluente), 4) el centro, 5) zona norte del embalse (que presentó gran crecimiento planctónico) y 6) un punto intermedio en la periferia entre el afluente y efluente. En el centro y la compuerta del embalse se tomaron muestras de superficie y fondo sólo cuando la profundidad fue por lo menos de un metro (ver **Figura 3**).

En el embalse “Cuauhtémoc”: se establecieron tres estaciones: 1) un punto cercano al afluente (que recibe la alimentación de otro bordo adyacente a éste), 2) el centro del cuerpo y 3) el efluente (compuerta que permite el paso del agua hacia los campos de cultivo y que presenta distintos tipos de vegetación). En el centro y la compuerta se tomaron muestras de superficie y fondo cuando el nivel de agua lo permitió (ver **Figura 4**).

En cada uno de los sistemas analizados, “El Lagarto” y “Cuauhtémoc”, se determinó el área superficial del cuerpo, georeferenciando puntos en el contorno de los embalses a tres metros de distancia aproximadamente entre cada uno y así definir el perímetro con un instrumento de posicionamiento global (GPS) marca GARMIN con el que se obtuvo información que fue descargada en la computadora mediante el software Map Source versión 3.01, para establecer la forma y dimensión de los embalses, misma que se corroboró con las imágenes del Google Earth, esto se hizo de forma bimestral; la profundidad se midió con una cuerda previamente marcada y una plomada en los puntos de muestreo con mayor profundidad para ambos embalses de forma bimestral.



1.1 Parámetros físicos y químicos del agua

En ambos sistemas y en cada uno de los sitios analizados se tomaron datos meteorológicos que pudieran influir en el ambiente acuático como son: la nubosidad, dirección del viento y temperatura ambiental. Al mismo tiempo se colectó una muestra de agua, en los sitios con mayor profundidad se realizó en la superficie y fondo de la columna de agua, utilizando una botella tipo Van-Dorn horizontal de 2 litros de capacidad, las muestras de superficie se tomaron a 30 cm aproximadamente de la superficie del agua y las de fondo a 20 o 30 cm de distancia del suelo del embalse.

A estas muestras se les realizaron las siguientes determinaciones *in situ* según lo descrito en APHA-AWWA-WPCF (1992):

- ✍ Temperatura del agua: con termómetro de décimas de -10 a 110°C de $\pm 0.1^\circ\text{C}$
- ✍ Transparencia: con disco de Secchi.
- ✍ pH: con un potenciómetro de campo marca Corning de 0.01 unidades de precisión.
- ✍ Conductividad: con conductivímetro de campo marca Conductronic de $\pm 1 \mu\text{S}/\text{cm}$ de precisión.

Se obtuvieron dos muestras de agua en botellas DBO de 60 ml, para determinar el oxígeno disuelto (O. D.) *in situ* por el Método de Winkler con la modificación de azida de sodio (APHA-AWWA-WPCF, 1992) y posteriormente la demanda bioquímica de oxígeno (D.B.O.) con el mismo método se valoró el oxígeno a los cinco días de incubación a una temperatura de 20°C.

Otra muestra de agua se colocó en una botella de plástico de 500 ml para la determinación de la Dureza Total por el método complejimétrico y la Alcalinidad por el método de indicadores (APHA-AWWA-WPCF, 1992).

Las muestras de agua para la determinación de nitratos, amonio, ortofosfatos, sólidos disueltos y suspendidos, se guardaron en botellas de plástico y fueron conservadas según lo propuesto en APHA-AWWA-WPCF (1992) para su posterior análisis en el laboratorio.

1.2 Muestras de vegetación y fauna.

Las muestras de vegetación emergente, arraigada y flotante que se colectaron durante los muestreos a la orilla de los cuerpos de agua, así como en su parte central con ayuda de una balsa; luego fueron herborizadas para su conservación y análisis posterior en el laboratorio.

El estudio de la macrofauna se realizó por medio de observación directa y las características observadas de los individuos colectados eventualmente; así como el reconocimiento fotográfico de los organismos, los textos empleados se especifican en la sección 2.2. Las muestras de vegetación y fauna fueron tratadas siguiendo lo recomendado por Bautista *et al* (2004).



1.3 Muestras de fitoplancton.

Para la obtención del material fitoplanctónico, en ambos embalses se colectó una muestra de agua, guardándose en frascos de polietileno de 125 ml y se conservó con unas gotas de lugol de acuerdo al método planteado por Schwoerbel (1975).

Las muestras de crecimientos algales, como filamentos adheridos a las hidrofitas o los que se encontraron flotando en el agua, se guardaron en recipientes de plástico y se preservaron en formol al 4%.

1.4 Registro de datos para el análisis de impacto ambiental.

Durante el trabajo de campo en los embalses y su área de influencia se realizaron observaciones, colecta de datos del medio natural y socioeconómico, así como un registro fotográfico de los factores ambientales impactados por la presencia de estos cuerpos acuáticos. Además, se llevó a cabo una consulta con los pobladores cercanos a los sistemas y se comparó con su entorno donde no se observó la presencia de este tipo de sistemas.

2. FASE DE LABORATORIO

2.1 Análisis de agua

Las muestras tomadas en campo se conservaron en refrigeración a 4°C y, posteriormente fueron analizados en el laboratorio los siguientes parámetros según las técnicas de APHA-AWWA-WPCF (1992):

- ≈ Nitratos: método del ácido fenoldisulfónico.
- ≈ Amonio: método del fenato o azul de indofenol.
- ≈ Ortofosfatos: método del fosfomolibdato.
- ≈ Sólidos disueltos: sólidos totales disueltos secados a 180°C
- ≈ Sólidos suspendidos: sólidos totales en suspensión secados a 103-105°C
- ≈ Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO): con incubación de 5 días.

2.2 Análisis de flora y fauna

Las muestras de vegetación emergente, flotante y arraigada fueron identificadas con ayuda de textos especializados en vegetación acuática como el de Lot *et al.* (2004) y Bonilla y Novelo (1995), así como consultas en el herbario.

La fauna fue reconocida por medio de las características de los organismos observadas directamente, además del registro fotográfico, estas características fueron contrastadas con bibliografía especializada, para identificar a los grupos que habitan en estos sistemas, hasta el nivel de género ya



que sólo se pretende realizar una descripción general del tipo de fauna presente en esta clase de ambientes. Para la identificación de las aves se emplearon las guías de Howell and Webb (2001) y la National Geographic Society (2002); para los reptiles y anfibios se utilizó la guía de Conant (1975); mientras que para los peces se empleo el texto de Miller (2005), aunque también se tomó en cuenta los textos de peces introducidos de Pérez (1982) y Rubín (1976).

2.3 Conteo de organismos fitoplanctónicos.

Las muestras de fitoplancton para cuantificarse se colocaron en cámaras de sedimentación según el método de Uthermöl, poniendo de 3 a 5 ml de la muestra homogenizada (esto según la cantidad de sólidos en la muestra) y se dejaron sedimentar por 24 horas (Schwoerbel, 1975). Con apoyo de un microscopio invertido se leyeron 10 campos a 40 X por cada muestra, apoyándose para la identificación de los organismos en las claves taxonómicas de Smith (1950), Prescott (1981), Patrick y Reimer (1975), Prescott (1962), Bourrely (1985) y Ortega (1984).

3. FASE DE GABINETE

Con base en los datos obtenidos en campo al georreferenciar con el GPS, se elaboraron los mapas que muestran la variación en la morfometría para cada uno de los embalses con ayuda del Software Map Source versión 3.01.

3.1 Parámetros físicos y químicos

Se elaboraron "Diagramas de Caja" a fin de obtener la dispersión del conjunto de datos de cada parámetro fisicoquímico para establecer de forma preliminar un análisis comparativo que permitiera observar las semejanzas o diferencias entre estos. A cada uno de los parámetros físicos y químicos se le aplicó la prueba de Levene para determinar los supuestos de normalidad y homocedasticidad, posteriormente se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) por medio del programa estadístico Statgraphics Plus versión 5.0 para determinar si existían diferencias estadísticamente significativas entre las estaciones de muestreo en cada uno de los embalses incluyendo los dos niveles de profundidad contemplados en los casos que la profundidad de los embalses se determinó.

Para una mejor comprensión del comportamiento hidrológico de los sistemas se realizaron las gráficas correspondientes a cada uno de los parámetros analizados, las cuales muestran los valores registrados en cada uno de los puntos de muestreo en ambos embalses, así como una gráfica por parámetro basada en los promedios mensuales.

3.2 Análisis de flora y fauna

Se elaboró un registro de los géneros, y de ser posible de especies, de plantas emergentes, arraigadas y flotantes, para caracterizar la vegetación presente en cada uno de los cuerpos de agua. De igual forma, se realizó una lista de la fauna observada e identificada en cada bordo.



3.3 Análisis de fitoplancton

Se realizó la identificación de géneros de fitoplancton hallados en cada uno de los sistemas y se obtuvieron las densidades de microalgas en agua por extrapolación del número de organismos encontrados en los 10 campos al total de ellos en las cámaras de sedimentación y el volumen de la muestra. Posteriormente se elaboró una lista de los organismos encontrados en ambos sitios.

3.4 Análisis de impacto ambiental

Para el estudio de impacto ambiental de estos embalses se consideró conveniente el uso de métodos de identificación de los impactos como son la lista de verificación (Check list) y las matrices de interacción, específicamente se utilizó una adaptación de la Matriz de Leopold a las características de este estudio. Estos métodos de identificación permiten reconocer las relaciones de causa-efecto de las acciones llevadas a cabo para la construcción y mantenimiento de estos sistemas y los elementos del ambiente que pudieron ser afectados por ellos.

La Lista de Verificación consiste en hacer una relación de los distintos elementos que pueden ser objeto de alguna alteración ambiental a causa de una o varias actividades. Se consideran todos los elementos ambientales existentes en el sitio y todas las acciones que se desarrollarán para llevar a cabo una obra. Después de ello y para la construcción de la matriz, es necesario que las acciones de la creación de éstos sistemas se agrupen en etapas y los elementos del ambiente en categorías. Las etapas del proyecto consideradas son las siguientes, aunque cabe mencionar que durante las dos primeras etapas no se estuvo presente y, para la llevar a cabo la evaluación de impacto, se consideraron las afectaciones observadas en bordos que se construyeron durante el periodo de estudio cerca de la zona:

- a) Preparación del sitio
- b) Construcción del bordo (se considera que el embalse Lagarto como fue construido a principios de la década de los 80's y el embalse Cuauhtémoc alrededor de 1920, fecha registrada en una placa en la compuerta del embalse)
- c) Operación y mantenimiento del embalse

Cada una de estas etapas agrupa una serie de acciones que son definidas a partir de la descripción de la creación y mantenimiento de los embalses; dicha información se obtuvo al investigar con las personas encargadas del manejo de los cuerpos y con los pobladores de las comunidades cercanas.

Al hacer la Matriz de Leopold se indica en su parte superior, en forma de columnas, las acciones del hombre o del proyecto que pueden alterar el medio ambiente y en su parte izquierda, a manera de filas o renglones, las características del medio a evaluar, considerando los factores ambientales que pueden ser alterados o modificados (Ortiz, 1998).

Los componentes ambientales considerados en este estudio se muestran a continuación y están divididos en sus correspondientes medios:



Medio Físico:

- * Clima
- * Suelo
- * Hidrología

Medio Biológico:

- * Flora
- * Fauna
- * Paisaje
- * Hábitat

Aspectos Socioeconómicos:

- * Población
- * Empleo
- * Recreación
- * Economía
- * Calidad y estilo de vida
- * Servicios públicos

De las observaciones hechas en campo y para la descripción de los impactos generados se tomó como base la clasificación propuesta en el Manual Básico de Evaluación del Impacto al Ambiente y la Salud en Proyectos de Desarrollo, del Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud (CPEHS, 1990):

- a) **Carácter:** se refiere al sentido del impacto, el cual puede ser adverso cuando altera al ambiente en sentido negativo o benéfico cuando la modificación es favorable al ambiente.
- b) **Magnitud:** se consideraron tres categorías:
- No significativo: El impacto es poco evidente, muy local y/o de corto plazo.
 - Moderado: Cuando es evidente, de mediana extensión y/o de mediano plazo.
 - Significativo: cuando el impacto es muy evidente, y puede ser de gran extensión y/o de largo plazo.
- c) **Duración.**
- A corto plazo: Efectos que aparecen inmediatamente o en lapsos relativamente cortos una vez que se realizan las actividades del proyecto y que pueden desaparecer con ella.
 - A mediano plazo: Los efectos se manifiestan hasta un período de tiempo que va de 1 a varios años.
 - A largo plazo: Efectos que aparecen en períodos de tiempo amplios al inicio de la acción y que pueden no desaparecer con ella.



d) **Reversibilidad.**

- Reversibles: Efectos sobre el ambiente que pueden volver a las condiciones existentes antes de implementar las actividades del proyecto una vez que dichas actividades se suspenden.
- No reversibles: Efectos sobre el ambiente que por su naturaleza no permiten que las condiciones iniciales se restablezcan aunque las actividades del proyecto sean suspendidas o eliminadas.

e) **Mitigación.**

- Remediabiles: Que pueden tener una medida de control o de mitigación.
- No remediabiles: No poseen medida de control o de mitigación.

f) **Importancia:** la importancia se define en función de la extensión

- Puntual: Sólo se presenta en el lugar en donde aparece la acción del proyecto.
- Local: El impacto rebasa el nivel puntual, abarcando la zona de proyecto y las zonas aledañas.
- Regional: El impacto trasciende a la localidad y se proyecta en una región más amplia como puede ser una zona biogeográfica, una subcuenca o cuenca hidrológica, una región fisiográfica, un Estado, etc.

g) **Asociación con otros impactos.**

- Acumulativos: Son aquellos impactos que se suman a través del tiempo y que pueden conjuntarse en otros impactos generados al ambiente que no son significativos pero que juntos cambian el carácter del impacto.
- No acumulativos: Que sólo actúan con el mismo impacto en cualquier momento y espacio y que no se asocian con otros impactos al ambiente.
- Sinérgicos: Impactos que se asocian entre si potenciándose para dar lugar a un impacto mayor al que provocan por separado.

Al tener la matriz se procede a la identificación de las interacciones de causa-efecto entre las acciones del proyecto y los elementos del ambiente, señalándose en la celda correspondiente. En cada celda se coloca la clave de la categoría del impacto que se ha identificado, con base en criterios de carácter (adverso o benéfico) y de magnitud (significativo, moderadamente significativo y no significativo) de los impactos, quedando de la siguiente forma:



TIPO DE IMPACTO	CLAVE	DESCRIPCIÓN
Adversos		El impacto provocado a los elementos del ambiente es negativo, afectando alguna o algunas de sus características.
Adverso no significativo	a	El impacto es apenas perceptible en el ambiente siendo puntual, momentáneo y observándose a corto plazo, con una intensidad reducida.
Adverso moderadamente significativo	N	El impacto al ambiente se presenta a nivel local, siendo a corto o mediano plazo sus efectos y sólo se manifiesta de manera temporal y con una intensidad moderada.
Adverso significativo	A	El impacto al ambiente trasciende a nivel local, observándose sus efectos en el terreno regional, manteniéndose el impacto por un tiempo más largo que el anterior impacto (a mediano o largo plazo). Además, el impacto se presenta de una manera compleja, afectando no sólo a un componente del ambiente, sino a varios y con una intensidad importante.
Benéfico		El impacto provocado por las acciones del proyecto es positivo hacia los elementos del ambiente
Benéfico no significativo	b	El impacto positivo al ambiente, sólo se presenta a nivel puntual, siendo sus efectos a momentáneos, observándose en un período de tiempo definido (impacto temporal). La intensidad es reducida
Benéfico moderadamente significativo	P	El impacto al ambiente se presenta a nivel local, siendo a corto o mediano plazo sus efectos y sólo se manifiesta de manera temporal, con una intensidad moderada.
Benéfico significativo	B	La magnitud del impacto es mayor que la anterior condición, al ser los beneficios no sólo locales sino regionales y se observa el impacto en varios elementos del ambiente, con una intensidad importante.
Desconocidos		
Impacto desconocido	?	Se observa una relación entre una acción y un elemento del ambiente, pero se desconoce el sentido del impacto (adverso o benéfico) y su magnitud (significativo o no significativo).

Una vez efectuada la identificación, descripción y caracterización de los cambios ambientales derivados de la realización de la obra, se realizó un análisis de orden numérico basado en las frecuencias de los impactos y sus proporciones en cada una de las etapas del proyecto así como su relación particular con cada elemento ambiental considerado.

Finalmente se señalan y describen las medidas de prevención, mitigación y control que pueden aplicarse a los impactos adversos identificados en las diferentes etapas y acciones del proyecto.

El Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental define a las medidas de mitigación como el conjunto de acciones que deberá ejecutar el promovente para atenuar los impactos y restablecer o compensar las condiciones ambientales existentes antes de la perturbación que se causare con la realización de un proyecto en cualquiera de sus etapas (SEMARNAT, 2000).



A continuación se muestra la clasificación de las medidas de mitigación

- **Preventivas.** Conjunto de acciones que deberá ejecutar el promovente para evitar efectos previsibles de deterioro del ambiente. Evitan la aparición del efecto modificando los elementos definitorios de la actividad.
- **De remediación.** Aquellas que prevén la intervención sobre ciertos impactos una vez producidos.
- **De rehabilitación.** Acciones aplicadas sobre impactos producidos, que evitan que se continúe con el proceso de daño al factor afectado, con el fin de llevarlo a su estado original.
- **De compensación.** No evitan la aparición del efecto, ni lo anulan o atenúan, pero contrapesan la alteración del factor por la aplicación de impactos de signo positivo.
- **De reducción.** Corrigen el proyecto para conseguir una mejor integración ambiental; para ello modifican el proceso productivo, introducen elementos no previstos, alteran las condiciones de funcionamiento o actúan sobre la distribución de los elementos del proyecto.



VI. RESULTADOS

Para una mejor comprensión de los resultados obtenidos, en algunos de los parámetros se presenta una tabla con los valores máximos, mínimos y el promedio registrados cada mes, seguida de una gráfica que representa los promedios mensuales de los puntos de muestreo. En el embalse Lagarto se tuvo un total de seis puntos de muestreo, en dos de los cuales se obtuvo muestra de agua de superficie y fondo cuando el nivel de agua fue de por lo menos 1 m de profundidad. En el sistema Cuauhtémoc se establecieron tres puntos de muestreo y en uno de ellos se pudo determinar superficie y fondo. Para una mejor comprensión de los resultados, a cada muestra, incluyendo las de superficie y fondo, se asignó un número, el cual la representa en las gráficas, mismo que se resume de la siguiente forma:

Tabla 1. Descripción de los sitios de muestreo en los embalses.			
Embalse	No. de punto de muestreo	No. de muestra	Punto de Muestreo
Lagarto	1	1	Compuerta, muestra de agua de la superficie
	1	2	Compuerta, muestra de agua del fondo
	2	3	Zona este del embalse (ubicado entre el afluente y efluente)
	3	4	Canal de agua que abastece al sistema
	4	5	Punto cercano al lugar donde llega el agua del canal
	5	6	Zona norte del cuerpo, donde se observaron crecimientos fitoplanctónicos
	6	7	Centro del cuerpo de agua, muestra de agua de la superficie
	6	8	Centro del cuerpo de agua, muestra de agua del fondo
Cuauhtémoc	1	1	Punto cercano al afluente
	2	2	Centro del cuerpo, muestra de agua de la superficie
	2	3	Centro del cuerpo, muestra de agua del fondo
	3	4	Punto cercano al efluente, zona más profunda y de crecimiento de vegetación, principalmente <i>Schoenoplectus sp.</i>

En las **figuras 3 y 4** se puede apreciar de forma más clara los sitios de muestreo en los embalses.

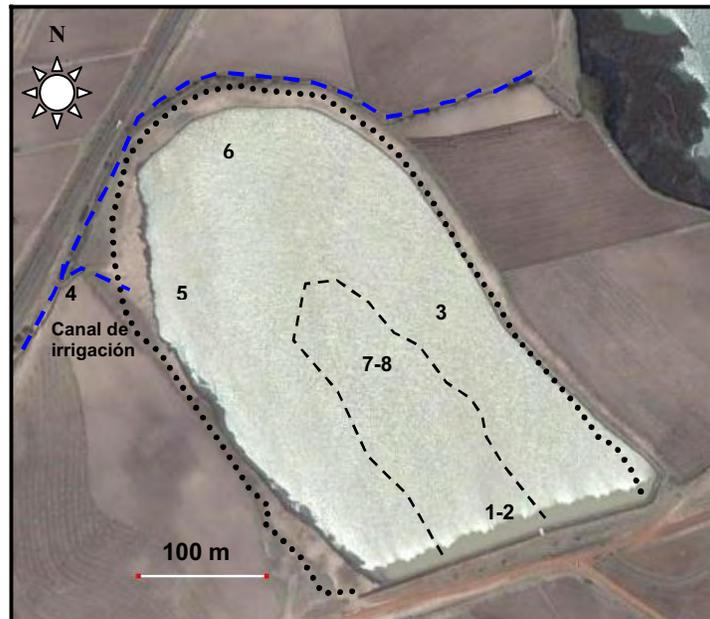
De forma general, al realizar los muestreos se presentaron vientos constantes, sobre todo después del medio día en ambos embalses. Así mismo se registraron nublados al atardecer con excepción de los meses de marzo a junio, que fueron soleados.

Como ya se mencionó, en el mes de julio no se realizó muestreo en los embalses, sin embargo, en las gráficas de algunos parámetros se muestran proyecciones (en línea punteada) del comportamiento de ese mes, tomando en cuenta las concentraciones registradas en junio y agosto.

1. Morfometría

El embalse Lagarto presentó el menor volumen de agua y profundidad en el mes de junio, la superficie que ocupó fue de alrededor de 16,278 m² y alcanzó su máximo nivel en octubre ocupando un área estimada de 155,451 m², así como un volumen aproximado de 447,129 m³ (**Figura 3**), cuando llegó a desbordarse del lado este del cuerpo hacia los campos de cultivo (ver **Figuras 5 y 6**). Las

coordenadas geográficas de este sistema son $19^{\circ}47'36.9''$ de latitud norte y $98^{\circ}04'34.3''$ de longitud oeste, a una altitud de 2339 msnm.



+¿Figura 3. Variaciones máximas y mínimas del volumen en el embalse Lagarto.
..... Nivel máximo de agua ----- Nivel mínimo de agua

En el embalse Cuauhtémoc en el mes de junio se obtuvo el menor registro de área (reducido a no más de 10 m^2) y volumen, aunque se sabe que en julio (no se muestreo) su área se redujo a 0 m^2 , octubre es el mes donde se presentó el máximo nivel de agua llegando a cubrir un área estimada de $58,672 \text{ m}^2$ y contener un volumen aproximado de $88,024 \text{ m}^3$ (Figura 4). Para mayor comprensión ver Figuras 8 y 9. Sus coordenadas geográficas son $19^{\circ}46'50.4''$ de latitud norte y $98^{\circ}06'08.5''$ de longitud oeste, a una altitud de 2302 msnm.

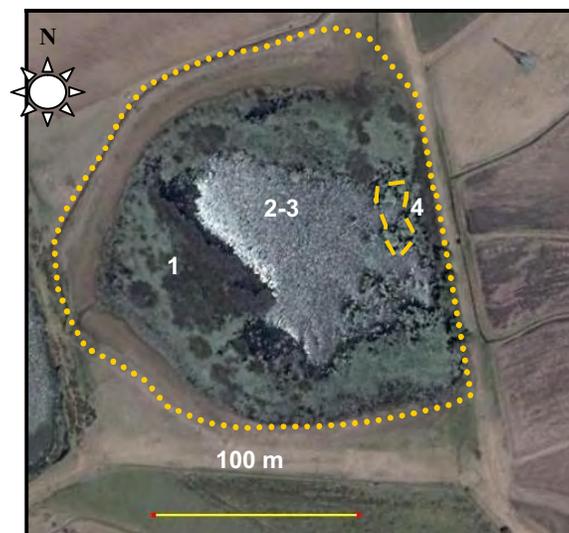


Figura 4. Variaciones máximas y mínimas del volumen en el embalse Cuauhtémoc.
..... Nivel máximo de agua ----- Nivel mínimo de agua (junio)

2. Parámetros Físicos y Químicos

Profundidad y Transparencia

El embalse Lagarto presentó dos etapas determinadas por la época de seca y la época de lluvia, la primera se observó de diciembre de 2004 a junio de 2005 y la segunda de agosto a noviembre del mismo año. Junio es el mes registrado en que el embalse tuvo menor volumen de agua menos de 1 m de profundidad en la compuerta y en el centro del cuerpo y alrededor de 25 cm en el resto de los sitios de muestreo (aunque en julio continuó la falta de lluvia y se sabe que en este mes, en que no se muestreó, el volumen disminuyó aún más. En agosto, al iniciar el período de lluvias, el sistema comenzó a llenarse nuevamente y fue en octubre cuando alcanzó su máximo nivel y profundidad, 5 m en la compuerta, 4 m en el centro y entre 0.6 y 0.8 m en los otros sitios (**Figuras 5 y 6**).



Figura 5. Embalse Lagarto en Junio



Figura 6. Embalse Lagarto en Octubre

La visibilidad al disco de Secchi fue baja (no mayor a 11 cm) en la mayoría de los meses y sitios de muestreo dentro del embalse, a excepción del canal (sitio 4, en el que la transparencia fue casi total), en general en todo el cuerpo se observaron una gran cantidad de sólidos en el agua; en abril se registró el valor mínimo de transparencia (5 cm) y el máximo valor fue de 11 cm en enero, el agua del canal de irrigación se observó con pocos sólidos ya que se podía observar el fondo del canal y este tiene alrededor de 40 cm de profundidad, por lo que la transparencia fue casi total durante los meses de investigación. La **figura 7** muestra la profundidad máxima y la transparencia promedio alcanzada cada mes.

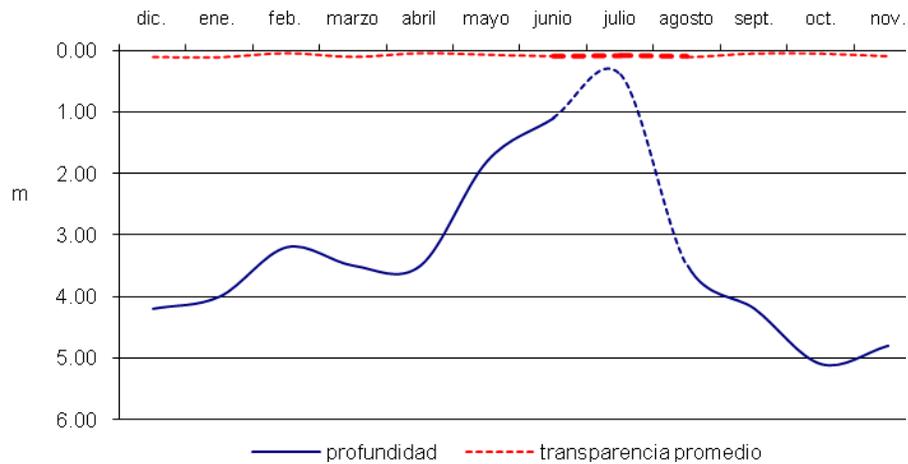


Figura 7. Profundidad y transparencia en E. Lagarto.

En el bordo Cuauhtémoc durante la época de seca, se observó que el nivel del agua disminuyó gradualmente al ser utilizada y no recibir aportes del embalse contiguo que lo alimenta, en junio el sistema quedó prácticamente seco, ya que sólo quedaron charcas pequeñas. Empezó a llenarse en agosto y llegó a su mayor capacidad en octubre con una profundidad máxima de 3 m. en el área de la compuerta (**Figuras 8 y 9**).



Figura 8. Embalse Cuauhtémoc en Junio



Figura 9. Embalse Cuauhtémoc en Octubre



En los meses de abril y mayo los remansos de agua que permanecían en este bordo, se encontraban con muchos sólidos, reflejados en la transparencia que tuvo un valor de 0 cm; en cambio en junio únicamente se observó una charca pequeña (de alrededor de 10 m²) de 15 cm de profundidad y de agua cristalina, el registro de mayor transparencia se dió en septiembre alcanzando 50 cm en la periferia del embalse mientras que en el centro y compuerta fue menor (20 y 10 cm respectivamente). La **figura 10** muestra la profundidad máxima y la transparencia promedio alcanzada cada mes.

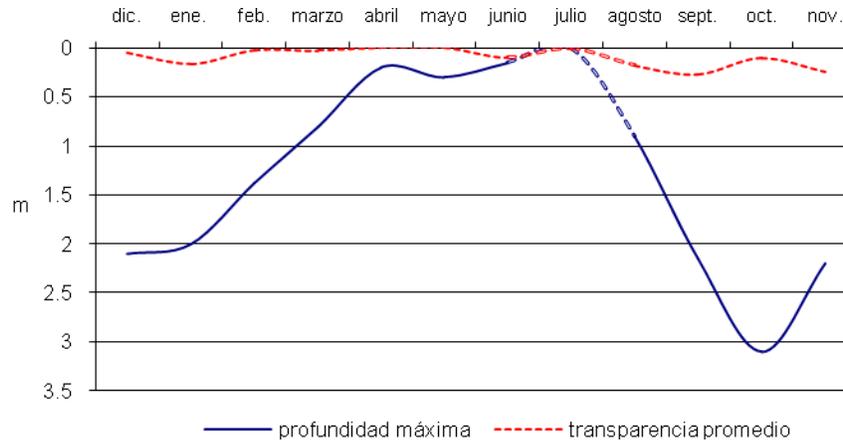


Figura 10. Profundidad y transparencia en E. Cuauhtémoc.

Temperatura

En sistema Lagarto la temperatura (**Figura 11**) estuvo por debajo de los 20°C en la mayor parte de los muestreos, siendo enero el mes más frío y de mayo a agosto los más cálidos. La temperatura ambiente, aunque ligeramente, siempre fue mayor a la del agua. En enero se registraron los valores más bajos para ambas, 13 y 10.5°C respectivamente. En junio, la temperatura ambiente fue notoriamente más elevada que la del agua (25.8°C).

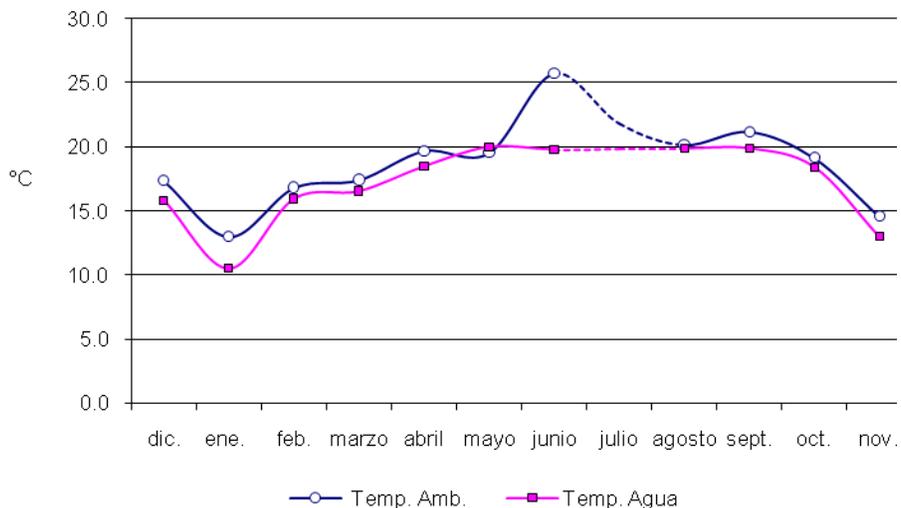




Figura 11. Variaciones de temperatura en E. Lagarto.

En el bordo Cuauhtémoc los valores más bajos de temperatura (**Figura 12**) también se encontraron en enero y de este mes a junio se registró un incremento gradual en la temperatura, durante abril, mayo y junio la temperatura del agua fue mayor que la del ambiente. Al iniciarse nuevamente el llenado del cuerpo acuático y la época de lluvia, la temperatura del agua volvió a ser menor que la del ambiente, manteniendo valores similares en agosto (17.7°C), septiembre (17.9°C) y octubre (17.7°C), con una mayor diferencia entre la temperatura del agua y la ambiental en septiembre.

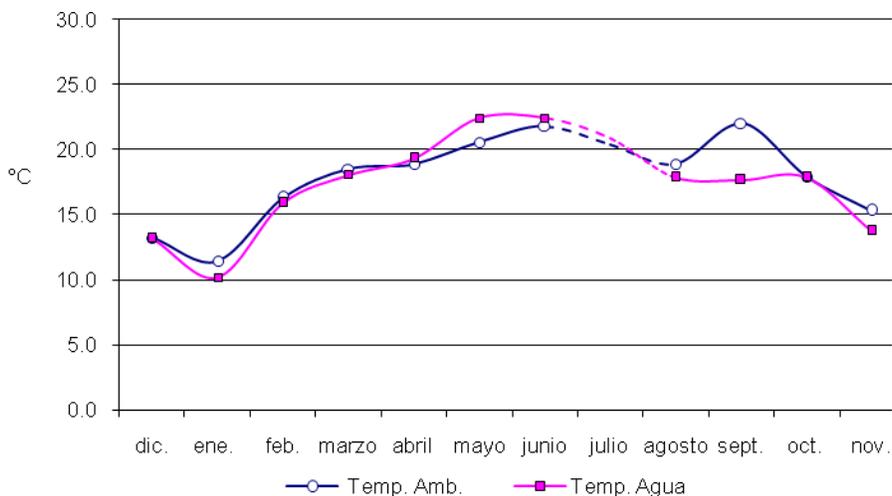


Figura 12. Variaciones de temperatura en E. Cuauhtémoc

Para todos los parámetros físicos y químicos del agua evaluados se obtuvo que al aplicar las pruebas de Levene para verificar el cumplimiento de los supuestos de normalidad y homocedasticidad, estos se cumplieron cabalmente y cuando se aplicó la prueba de Análisis de Varianza (ANDEVA) se observó que en general los datos no muestran diferencias estadísticamente significativas (ver los resultados de ambas pruebas en el **Anexo 1**) entre los distintos sitios y niveles muestreados, por lo que en consecuencia se utilizaron gráficas basada en los promedios mensuales en cada bordo.

pH

En el caso del bordo Lagarto el valor mínimo fue de 5.04 en agosto; sin embargo, este se dio en el canal que abastece de agua el sistema, en los puntos de muestreo dentro del cuerpo el valor mínimo fue de 5.29 en octubre (sitio 2); el máximo registro fue de 6.97 en marzo en la parte profunda de la compuerta. Los valores y tendencia registrados en los puntos de muestreo del embalse fueron muy similares durante todo el periodo de estudio (**Figura 13**).

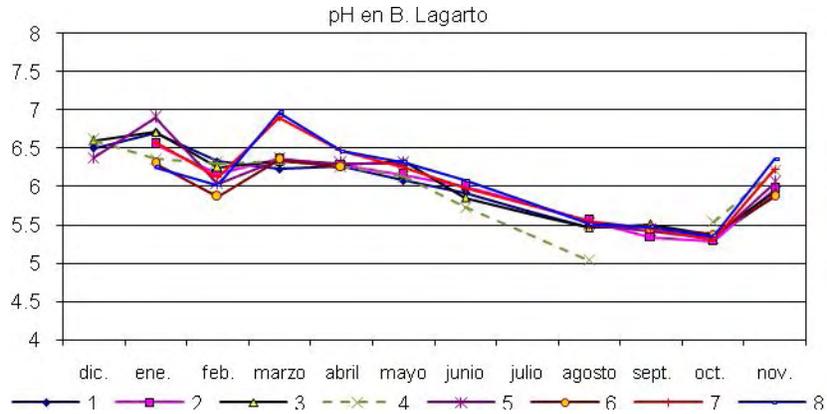


Figura 13. Valores mensuales de pH en cada punto de muestreo.

En el bordo Cuauhtémoc los valores de pH oscilaron entre 4.78 en el mes de agosto en la compuerta (sitio 4) y 7.75 en marzo en el centro del cuerpo en la muestra de agua de superficie. Los valores registrados fueron muy cercanos en todos los sitios del embalse (Figura 14).

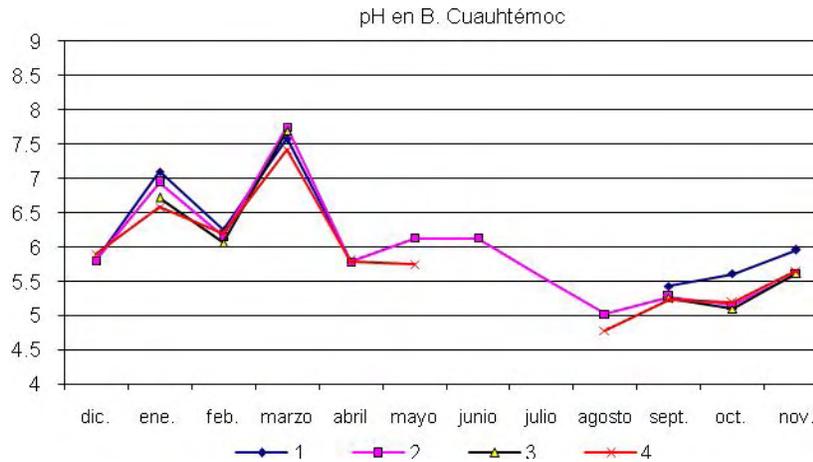


Figura 14. Valores mensuales de pH en cada punto de muestreo.

La **tabla 2** muestra los valores mínimos, máximos y el promedio mensual de pH en los embalses. Los valores marcados en cada tabla indican los valores máximos y mínimos registrados en cada embalse. En esta y todas las tablas correspondientes a cada parámetro se remarca el valor mínimo y máximo registrado durante el periodo de estudio.

Tabla 2. Valores de pH

Embalse	Valor	dic.	ene.	feb.	marzo	abril	mayo	junio	agosto	sept.	oct.	nov.
Lagarto	mín.	6.38	6.25	5.87	6.23	6.25	6.08	5.73	5.04	5.34	5.29	5.87
	máx.	6.6	6.9	6.33	6.97	6.47	6.33	6.08	5.55	5.5	5.54	6.36
	promedio	6.52	6.54	6.14	6.48	6.32	6.22	5.93	5.44	5.44	5.33	6.06
Cuauhtémoc	mín.	5.80	6.58	6.25	7.42	5.78	5.75	6.13	4.78	5.24	5.10	5.61
	máx.	5.90	7.10	6.06	7.75	5.79	6.13	6.13	5.02	5.43	5.61	5.96
	promedio	5.83	6.84	6.17	7.61	5.78	5.94	6.13	4.90	5.30	5.27	5.71



La **figura 15** muestra el comportamiento basado en los promedios mensuales del pH en los embalses Lagarto y Cuauhtémoc. En general, en el primer cuerpo, desde el inicio del muestreo los valores fueron menores a 7; de diciembre a junio los registros estuvieron por arriba de 6, después de iniciada la época de lluvia los valores descendieron un poco más sobre todo de agosto a octubre, siendo este último mes donde se obtuvieron los registros mas bajos, en noviembre el sistema mostró un aumento en el pH.

En el sistema Cuauhtémoc se observó (**Figura 15**) que de diciembre a abril los valores fluctuaron de manera notoria, ya que de un mes a otro los valores cambiaron hasta en una unidad; los valores más altos de pH se registraron en marzo estando todos por arriba del valor neutral, de abril a junio el pH no oscila de forma tan drástica, después de comenzar a llenarse el sistema los valores de pH muestran un incremento con excepción de octubre donde descienden ligeramente.

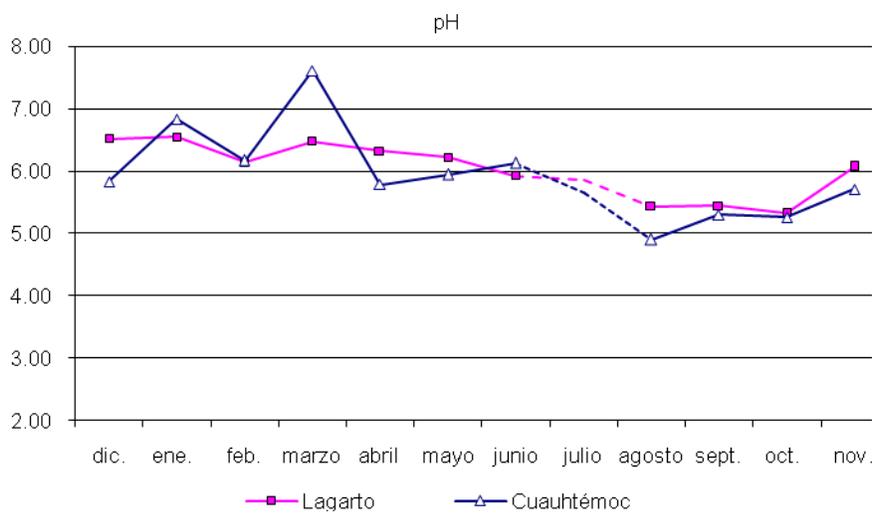


Figura 15. Gráfica de promedios mensuales de pH en cada uno de los embalses.

Conductividad eléctrica

En la represa Lagarto (**Figura 16**) la conductividad del agua fluctúa entre 64.4 (noviembre) y 140.3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (junio). Los valores de conductividad de los puntos dentro del embalse fueron muy cercanos en casi todos los muestreos, mientras que en el sitio 4, de marzo a junio, los valores fueron menores en comparación con los que estaban dentro del sistema. El valor de la conductividad descendió conforme aumentó el volumen de agua en el embalse, presentando un ligero incremento en el mes de septiembre.

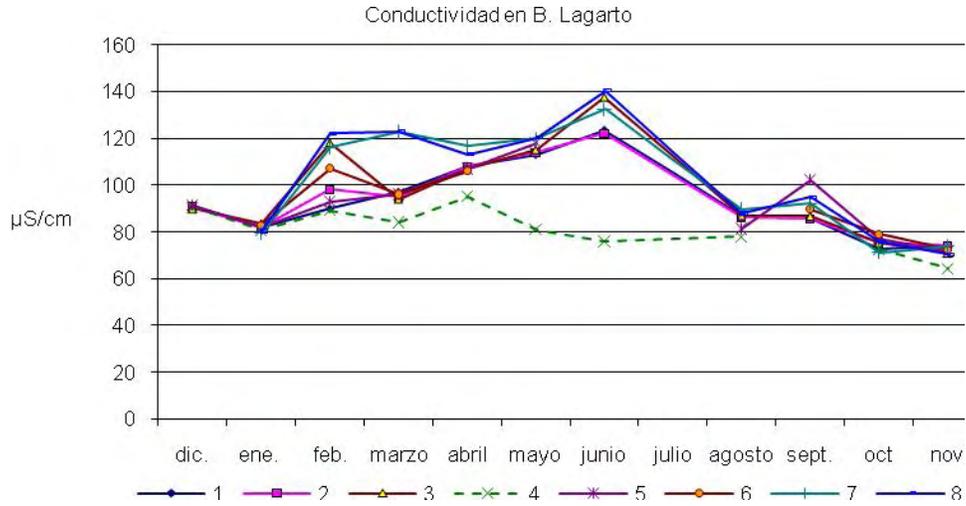


Figura 16. Valores mensuales de conductividad en cada punto de muestreo.

En el embalse Cuauhtémoc (**Figura 17**) se observó que los valores fueron similares durante el estudio; en mayo, junio y agosto, los valores de conductividad aumentaron notoriamente en los remansos de agua que permanecían, siendo éste último mes cuando se registro el valor más alto con 231 $\mu\text{S}/\text{cm}$, después los valores fueron descendiendo contrario al nivel de agua, siendo octubre el mes en el cual se hicieron los registros más bajos.

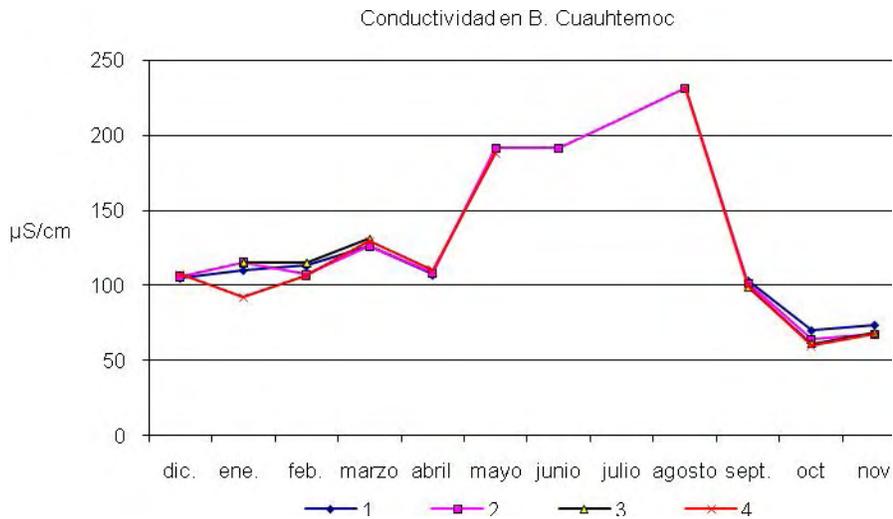


Figura 17. Valores mensuales de conductividad en cada punto de muestreo.



El comportamiento de la conductividad se muestra en la **tabla 3**.

Tabla 3. Valores Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S} / \text{cm}$)

Embalse	Valor	dic.	ene.	feb.	marzo	abril	mayo	junio	agosto	sept.	oct.	nov.
Lagarto	mín.	89.8	79.4	89	84	95	81	75.9	77.9	85.5	71.3	64.4
	máx.	91.4	83.5	122	123	117	120	140.3	89.6	102.3	78.9	74.5
	promedio	90.7	81.6	104.1	101	107.6	111.6	122	85.3	91.0	75.2	71.5
Cuauhtémoc	mín.	105	91.6	106	126	107	188	191	231	99.1	59.6	67.3
	máx.	107	115.4	115	131	110	191	191	231	103.2	70.2	73.9
	promedio	106	108.1	110.3	128	108.3	189.5	191	231	100.8	63.8	69.3

En general se observó (**figura 18**) que en el bordo Lagarto los valores más bajos se registraron cuando el sistema presentaba un buen nivel de agua, cuando este comenzó a disminuir el valor de la conductividad aumentó ligeramente, siendo en junio cuando se registraron los valores promedio más altos y en noviembre cuando se obtuvieron los más bajos.

El comportamiento de la conductividad en el embalse Cuauhtémoc se vio afectado por el volumen de agua, ya que los registros más altos (agosto) de éste parámetro coinciden son los niveles más bajos de agua, al mismo tiempo que los valores mínimos se observaron en la época de mayor volumen.

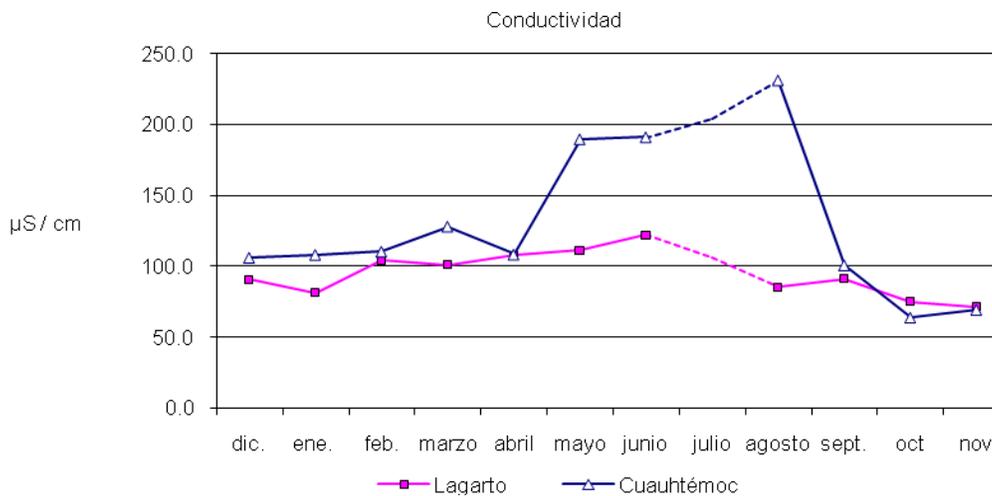


Figura 18. Gráfica de promedios mensuales de conductividad en ambos embalses.



Alcalinidad

Los valores de este parámetro en el sistema Lagarto (**Figura 19**) oscilaron entre 27 y 74 mg/L CaCO₃ en los meses de abril y junio respectivamente, sin embargo, el primer valor se dio en el canal de agua que abastece al sistema (sitio 4) que junto con el valor obtenido en el sitio 5 influyeron en el comportamiento del promedio mensual ya que en el resto de los puntos los valores fueron más elevados. Dentro del embalse el valor más bajo se obtuvo en el mes de octubre en el punto 3, el más alto se dio en la compuerta en la muestra de agua de superficie. En general en los meses de muestreo los valores de alcalinidad fueron muy similares en los puntos dentro del embalse.

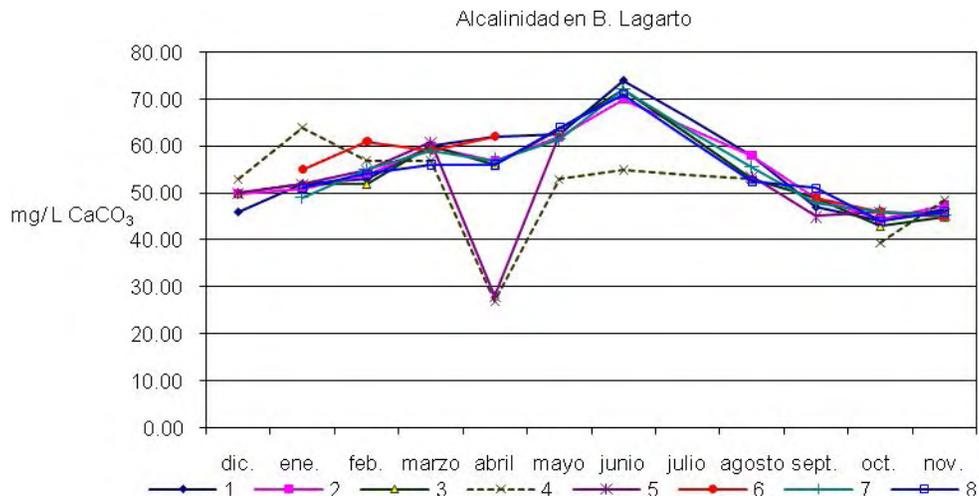


Figura 19. Concentraciones mensuales de alcalinidad en cada punto de muestreo.

En el bordo Cuauhtémoc (**Figura 20**) los valores más bajos se observaron de abril a agosto siendo en estos meses cuando se registraron los valores más bajos de 23.0 mg/L CaCO₃ cerca del efluente (sitio 4), mientras que el valor más elevado de alcalinidad se obtuvo en sitio 1 en marzo registrando 67.0 mg/L CaCO₃. Con respecto a este parámetro los valores en el embalse estuvieron muy cercanos, por lo que no hubo valores que mostrarán diferencias significativas entre ellos.

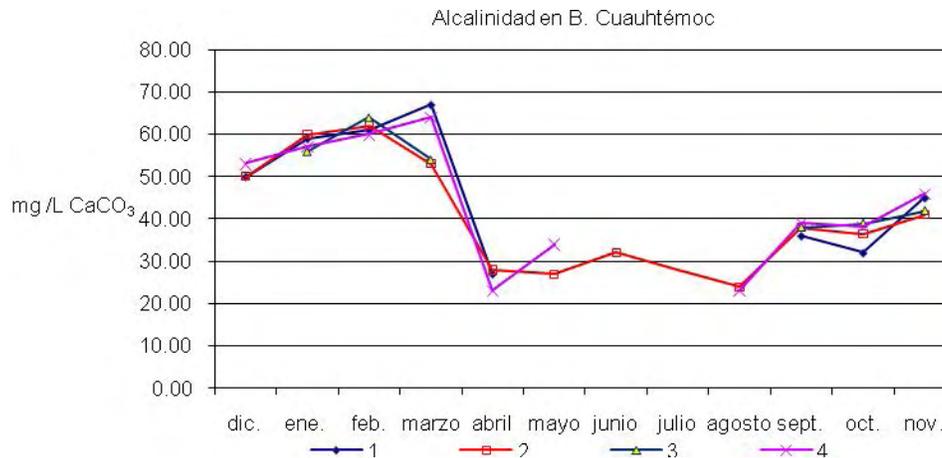




Figura 20. Concentraciones mensuales de alcalinidad en cada punto de muestreo. En cuanto a la alcalinidad la **tabla 4** muestra los valores registrados.

Tabla 4. Valores de Alcalinidad (mg CaCO₃/L)

Embalse	Valor	dic.	ene.	feb.	marzo	abril	mayo	junio	agosto	sept.	oct.	nov.
Lagarto	mín.	46	49	52	56	27	53	55	52.5	45	39.5	45
	máx.	53	64	61	61	62	64	74	58	51	46	48.5
	promedio	49.8	53.3	55.1	59.0	50.6	61.3	69.0	54.8	48.3	44.1	46.2
Cuauhtémoc	mín.	50	57	60	64	23	27	32	23	36	32	41
	máx.	53	60	64	67	28	34	32	24	39	39	46
	promedio	51	58	61.8	59.5	26	30.5	32	23.5	37.8	36.4	43.5

El comportamiento general de la alcalinidad para los embalses se muestra en la **figura 21**. Se observó que en el sistema Lagarto los valores de alcalinidad aumentaron conforme disminuyó el nivel de agua. El promedio mensual más bajo fue de 44.13 y el más alto fue de 69 mg/L CaCO₃, observados en octubre y junio respectivamente. En el mes de abril el comportamiento mensual disminuyó por influencia de los valores registrados en los sitios 4 y 5.

En el bordo Cuauhtémoc los valores de alcalinidad mostraron dos tendencias, la primera fue la de aumentar y ésta se dio de diciembre a febrero y de agosto a noviembre cuando el embalse tenía un nivel de agua considerable ya que, de abril a agosto se observaron los valores más bajos de alcalinidad, coincidiendo con los niveles de agua más bajos del sistema. El valor promedio mensual más bajo fue de 23.5 en agosto y el promedio más alto de 61.8 mg/L CaCO₃ en febrero.

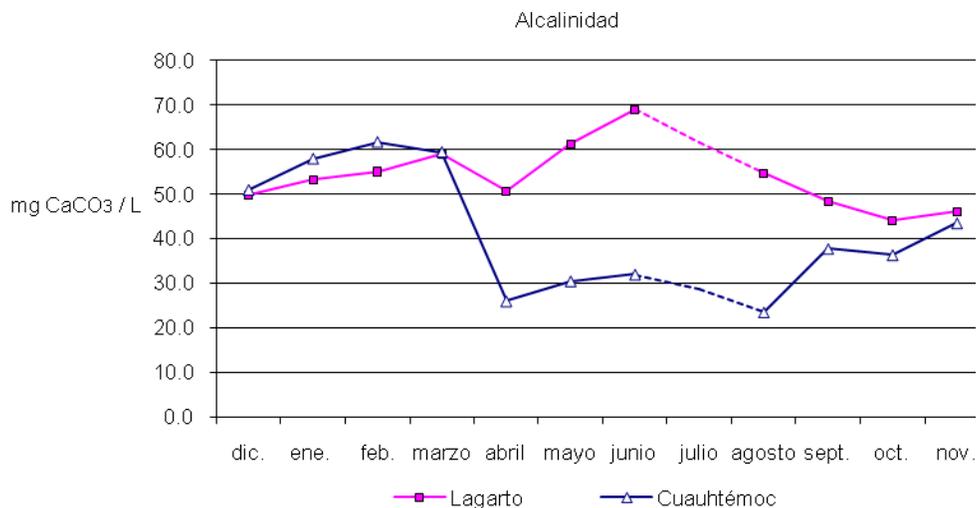


Figura 21. Gráfica de promedios mensuales de Alcalinidad en ambos embalses.



Dureza Total

En éste parámetro los valores, en el bordo Lagarto (**Figura 22**), fluctuaron entre 20.02 registrado en noviembre y 51.05 mg/L CaCO_3 observado en dos ocasiones, en enero en los sitios 1 y 8 y en junio en los sitios 1 y 7. Durante los muestreos los valores registrados fueron muy similares dentro del sistema, aún los del canal de irrigación, excepto en junio y agosto donde presentó una menor cantidad de CaCO_3 respecto a lo hallado en el agua del embalse. Las concentraciones más bajas se presentaron en abril, mayo y noviembre, en junio las concentraciones aumentaron en todos los sitios de forma considerable; después de la época de lluvia las concentraciones disminuyen de forma gradual en todos los sitios, en octubre el registro más bajo se presentó en el sitio 5 y en el mes de noviembre aumentó siendo este el sitio donde se obtuvo el registro más alto.

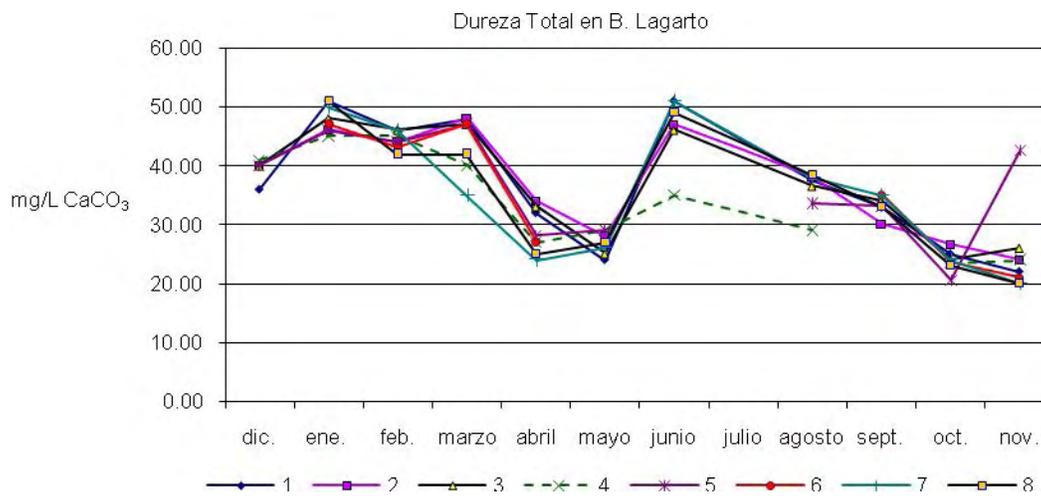


Figura 22. Concentraciones mensuales de dureza total en cada punto de muestreo.

En el sistema Cuauhtémoc la concentración más baja fue de 12.01 mg/L CaCO_3 registrada en noviembre, mientras que el valor más alto fue de 79.08 mg/L CaCO_3 en junio, ambas en el sitio 2. De febrero a abril se observó que el sitio 1 mostró concentraciones distintas respecto a los otros sitios; en junio los sitios muestreados presentaron distintos valores de dureza ya que el punto 2 registra casi el doble del punto 4 y este mes la concentración aumentó a casi al doble de la registrada en mayo. Después de iniciadas las lluvias los valores son más cercanos entre sí y disminuyen mes a mes hasta que en noviembre se registran los valores más bajos (**Figura 23**).

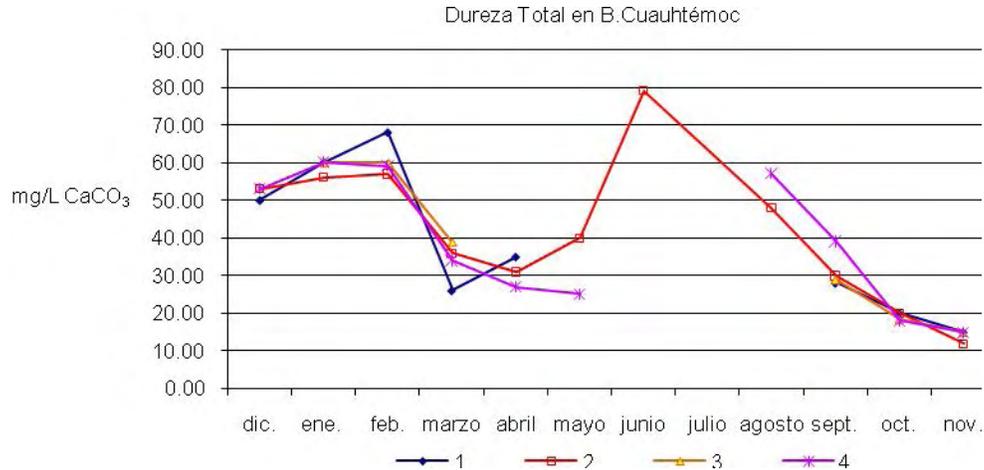


Figura 23. Concentraciones mensuales de dureza total en cada punto de muestreo.

El registro obtenido de la dureza total se muestra en la **tabla 5**.

Tabla 5. Valores de Dureza Total (mg CaCO₃/L)

Embalse	Valor	dic.	ene.	feb.	marzo	abril	mayo	junio	agosto	sept.	oct.	nov.
Lagarto	mín.	36	46.05	42.04	35.04	24.02	24.02	35.04	29.03	30.03	20.52	20.02
	máx.	41	51.05	46.05	48.05	34.03	29.03	51.05	38.54	35.04	26.53	42.54
	promedio	39.40	48.05	44.54	44.29	28.78	26.88	46.55	35.89	33.32	23.77	24.96
Cuauhtémoc	mín.	50.06	56.06	57.06	26.03	27.03	25.03	79.08	48.05	28.03	18.02	12.01
	máx.	53.06	60.06	68.07	39.04	35.04	40.04	79.08	57.06	39.04	20.02	15.02
	promedio	52.06	59.06	61.06	33.78	31.03	32.53	79.08	52.55	31.53	19.14	14.26

En general en el embalse Lagarto de enero a mayo se observó una disminución en la concentración de CaCO₃ puesto que en junio la concentración aumentó notoriamente, de éste mes hasta noviembre los valores decrecen, siendo octubre cuando se registraron las concentraciones más bajas. Los promedios mensuales más bajos fueron de 23.77 y 24.96 mg/L CaCO₃ observados en octubre y noviembre respectivamente y aunque en enero y junio se registraron valores altos es en enero cuando se obtuvo el promedio mensual más alto (**Figura 24**).

En el embalse Cuauhtémoc, el comportamiento de éste parámetro es muy diverso de un mes a otro, las concentraciones disminuyeron al mismo tiempo que el volumen, sin embargo, en junio la concentración de CaCO₃ aumentó casi al doble del mes anterior para luego disminuir de forma gradual hasta noviembre (**Figura 24**).

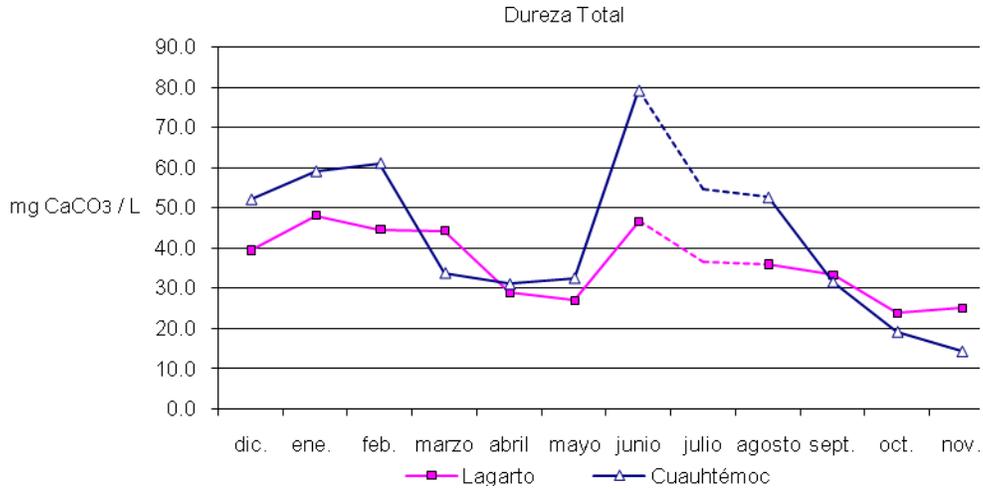


Figura 24. Grafica de promedios mensuales de dureza en ambos embalses.

Oxígeno Disuelto y DBO

En el embalse Lagarto la concentración de oxígeno fue variable a lo largo del tiempo y de un sitio a otro (Figura 25). Los valores registrados oscilaron entre 3.8 y 11.46 mg/L. El primer valor se dio en el mes de octubre en el fondo de la compuerta y cuando el sistema alcanzó su máximo nivel, en este mes también se registró un nivel bajo de oxígeno en el sitio 6 y 8. El segundo valor se observó en el canal que abastece de agua al sistema en febrero, dentro del embalse el valor más alto se registró en este mismo mes en el centro del cuerpo (sitio 7).

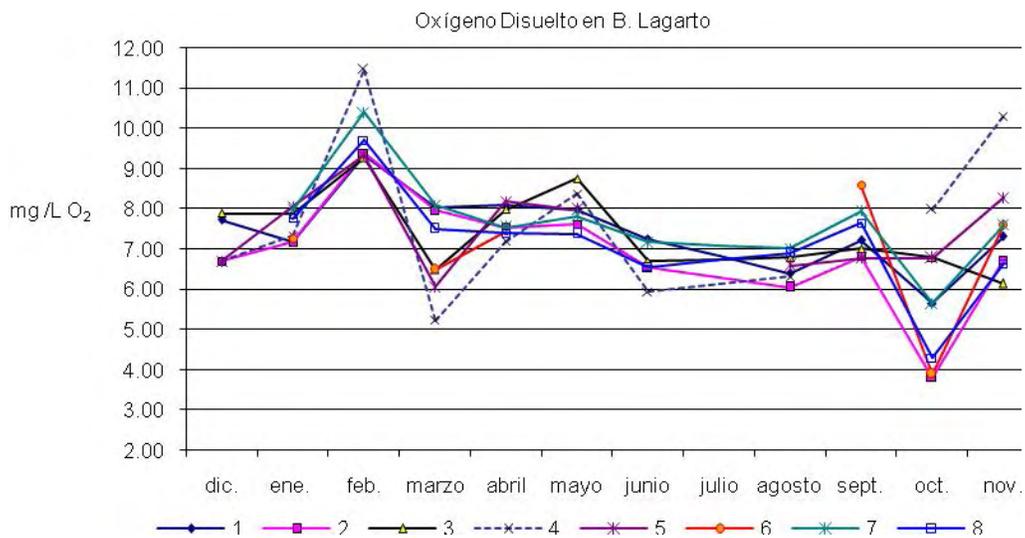


Figura 25. Concentraciones mensuales de oxígeno disuelto en cada punto de muestreo.



En el bordo Cuauhtémoc (**Figura 26**), los niveles de oxígeno se observaron entre 4.68 y 9.31 mg/L en octubre y febrero respectivamente. El menor registro se observó en la parte profunda del sistema (sitio 3), mientras que el mayor se dió en el efluente (sitio 4), es en ese mes cuando se obtuvieron las mayores concentraciones de oxígeno. En junio, aunque se observó una charca pequeña, no fue posible tomar una muestra de agua para determinar éste parámetro debido a la poca profundidad.

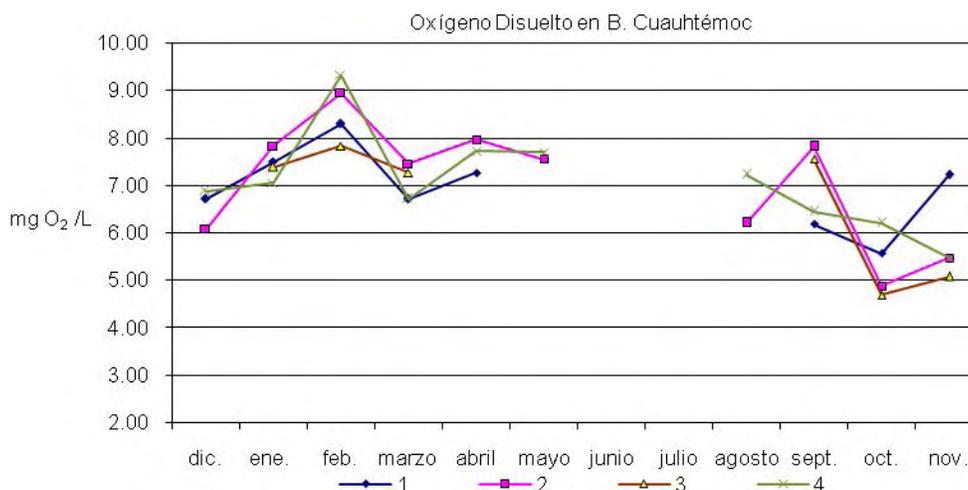


Figura 26. Concentraciones mensuales de oxígeno disuelto en cada punto de muestreo.

El comportamiento general del oxígeno para los embales se muestra en la **tabla 6**.

Tabla 6. Valores de Oxígeno Disuelto (mg O₂/L)

Embalse	Valor	dic.	ene.	feb.	marzo	abril	mayo	junio	agosto	sept.	oct.	nov.
Lagarto	mín.	6.71	7.17	9.28	5.24	7.2	7.38	5.94	6.05	6.79	3.8	6.15
	máx.	7.89	8.06	11.46	8.09	8.2	8.76	7.27	7.02	8.59	7.98	10.32
	promedio	7.15	7.58	9.85	6.99	7.68	7.99	6.70	6.59	7.44	5.61	7.58
Cuauhtémoc	mín.	6.07	7.04	7.82	6.71	7.27	7.54	-	6.2	6.18	4.68	5.07
	máx.	6.87	7.82	9.31	7.45	7.96	7.68	-	7.22	7.8	6.2	7.22
	promedio	6.55	7.43	8.59	7.03	7.65	7.61	7.50	6.71	6.99	5.33	5.80

En general en el bordo Lagarto se observó un incremento en los valores de oxígeno de diciembre a febrero, para descender paulatinamente hasta octubre. En octubre se registran algunos valores bajos por lo que gráficamente es en este mes cuando se observa la menor concentración de este gas (**Figura 27**).

En el sistema Cuauhtémoc, en octubre y febrero se registró el menor promedio mensual de 5.33 y el mayor de 8.59 respectivamente. De diciembre a febrero las concentraciones de oxígeno aumentan para luego disminuir, aunque en marzo lo hace de manera más drástica, de abril a agosto este descenso es más sutil de un mes a otro. Después de la época de lluvia las concentraciones comienzan a incrementarse, sin embargo, en octubre se registran valores bajos, afectando el promedio mensual (**Figura 27**).

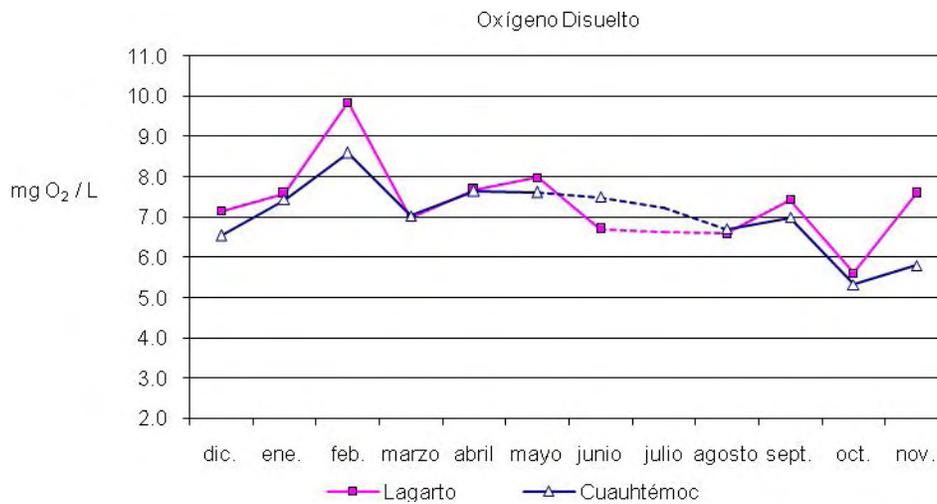


Figura 27. Gráfica de promedios mensuales de oxígeno en ambos embalses.

En cuanto a la Demanda Bioquímica de Oxígeno, el embalse Lagarto presentó concentraciones de 0.77 a 1.45 mg O₂/L después de cinco días de incubación. Los registros más bajos se dieron de abril a junio, ya que después de la época de lluvia los niveles de oxígeno en las muestras fueron aumentando, no obstante en septiembre se observó un ligero descenso (Figura 28).

En el bordo Cuauhtémoc se observó un comportamiento similar, aunque en general, los niveles de oxígeno fueron menores que en Lagarto. Las concentraciones oscilaron entre 0.59 y 1.22 mg/L, siendo marzo cuando se observó el mayor registro, luego de la época de lluvias los niveles de oxígeno aumentaron de forma gradual (Figura 28).

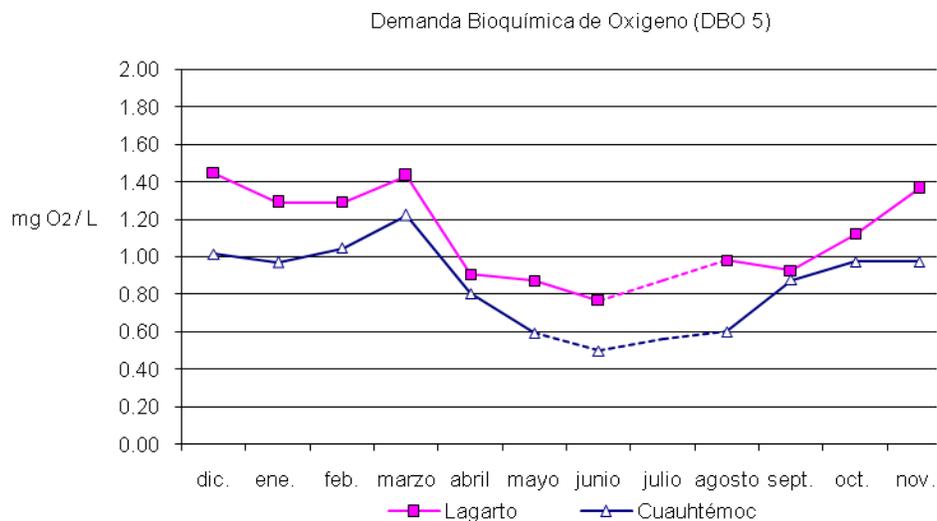


Figura 28. Gráfica de la DBO en ambos embalses.



Amonio

Con respecto a este parámetro, puede observarse que las concentraciones de amonio variaron en mayor grado de un sitio a otro en el embalse Lagarto (**Figura 29**), sobre todo en marzo, abril, agosto y septiembre. En febrero se observa que la concentración de amonio en el canal es mucho mayor que en el cuerpo de agua; para marzo los valores aumentaron dándose los más altos en el centro del sistema (sitios 7 y 8). Para el mes de abril, las concentraciones fueron mayores y variaron mucho más entre sí, presentándose en un intervalo de 0.192 a 0.528 mg NH₄⁺/L, el registro más alto se dió en la zona donde en otra épocas del año hay florecimientos de fitoplancton (sitio 6). Al comenzar a llenarse el sistema, la concentración de amonio fue más baja que en meses anteriores, ésta concentración aumentó en septiembre y octubre, pero en noviembre descendió ligeramente. Además, aunque los valores de amonio fueron distintos en los sitios, de un mes a otro mostraron casi siempre la misma tendencia de aumentar o disminuir.

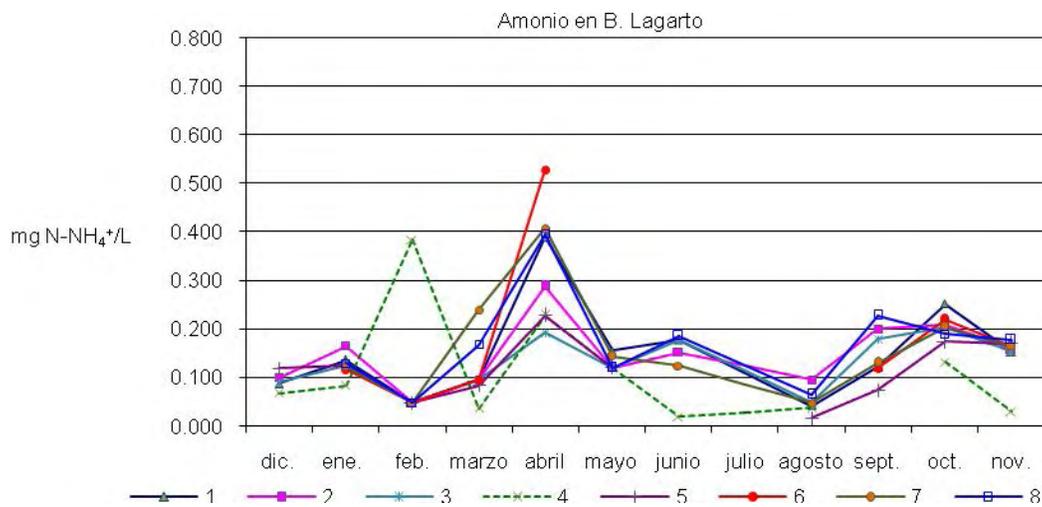


Figura 29. Concentraciones mensuales de amonio en cada punto de muestreo.

En el embalse Cuauhtémoc (**Figura 30**) las concentraciones son similares en los puntos de muestreo, se observó un incremento del amonio conforme descendía el nivel de agua, esto de diciembre a abril, alcanzando las máximas concentraciones en este último mes, por arriba de 0.6 mg NH₄⁺/L; después de éste mes los valores disminuyen en mayo y vuelven a aumentar de manera leve en la charca encontrada en junio. Después de la época de lluvia se encontraron valores bajos de amonio, menos de 0.1 mg NH₄⁺/L, aunque aumentan ligeramente en septiembre, el resto de los meses las concentraciones disminuyeron.

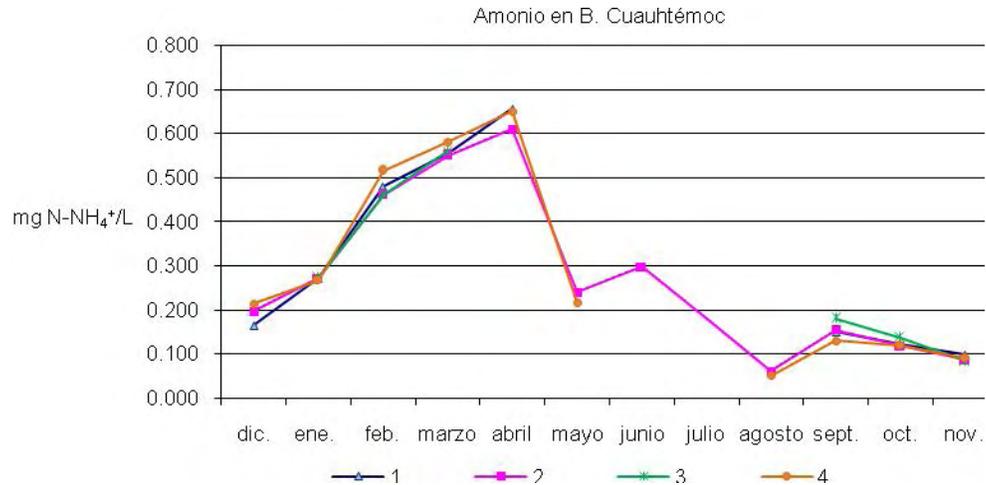


Figura 30. Concentraciones mensuales de amonio en cada punto de muestreo.

La **tabla 7** muestra los valores de amonio y sus promedios mensuales.

Tabla 7. Valores de Amonio (mg NH₄⁺/L)

Embalse	Valor	dic.	ene.	feb.	marzo	abril	mayo	junio	agosto	sept.	oct.	nov.
Lagarto	mín.	0.680	0.084	0.048	0.036	0.192	0.120	0.019	0.017	0.074	0.132	0.030
	máx.	0.119	0.166	0.384	0.240	0.528	0.156	0.186	0.096	0.228	0.252	0.178
	promedio	0.093	0.126	0.090	0.114	0.332	0.129	0.140	0.051	0.151	0.198	0.147
Cuauhtémoc	mín.	0.164	0.268	0.460	0.550	0.610	0.216	0.298	0.050	0.130	0.118	0.084
	máx.	0.214	0.272	0.515	0.580	0.655	0.240	0.298	0.060	0.180	0.137	0.098
	promedio	0.191	0.271	0.479	0.561	0.638	0.228	0.298	0.055	0.154	0.124	0.090

En el bordo Lagarto, las concentraciones de amonio van de 0.017 a 0.528 mg NH₄⁺/L en agosto y abril respectivamente. De diciembre a marzo se observa un comportamiento más o menos homogéneo, ya que en abril se registró el mayor promedio mensual, después de la época de lluvia de agosto a octubre las concentraciones aumentan de forma gradual para luego descender en noviembre (**Figura 31**).

Las concentraciones registradas en el sistema Cuauhtémoc fueron más elevadas, los valores se mantuvieron entre 0.050 (agosto) y 0.655 (abril) mg NH₄⁺/L. De diciembre a abril el aumento en las concentraciones se da hasta en dos o más décimas de unidad con respecto de la anterior; después de abril los valores registrados fueron menores a los 0.2 mg, al iniciarse las lluvias, de agosto a septiembre se observó un incremento en la concentración para luego disminuir (**Figura 31**).

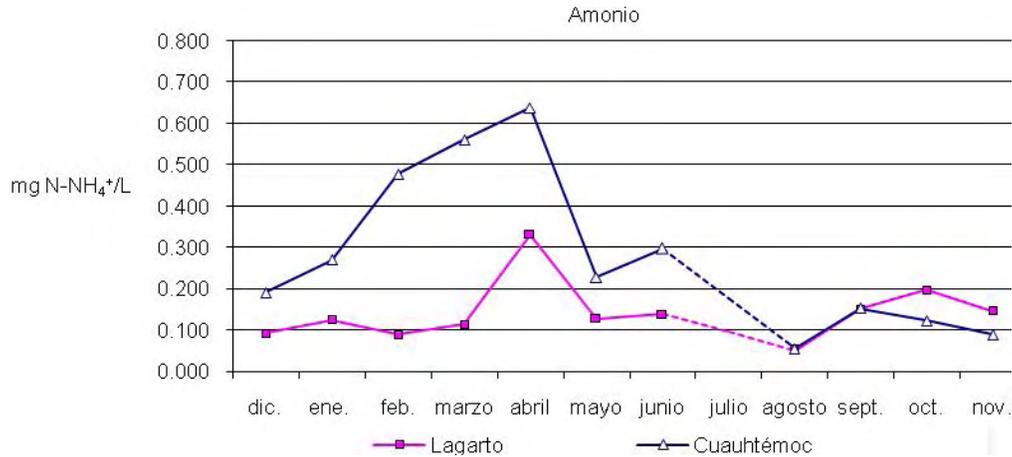


Figura 31. Gráfica de promedios mensuales de amonio en ambos embalses.

Nitratos

En la represa Lagarto las concentraciones de nitratos fueron variadas según el sitio de muestreo, ya que casi durante toda la investigación se observó que las concentraciones de nitratos de un sitio a otro variaban hasta en tres decimales del menor al mayor registro (Figura 32). Las concentraciones fluctuaron entre 0.219 mg NO₃/L en el mes de septiembre a 0.834 mg en marzo, sin embargo, este valor que es el más elevado, se dió en el canal de agua que abastece al sistema, dentro del embalse el más alto se dió en el sitio 5 ese mismo mes. En el mes de septiembre se observó que los valores más bajos se dieron en la zona norte del embalse (sitios 5 y 6). Los meses de mayor fluctuación fueron febrero, marzo, mayo y septiembre.

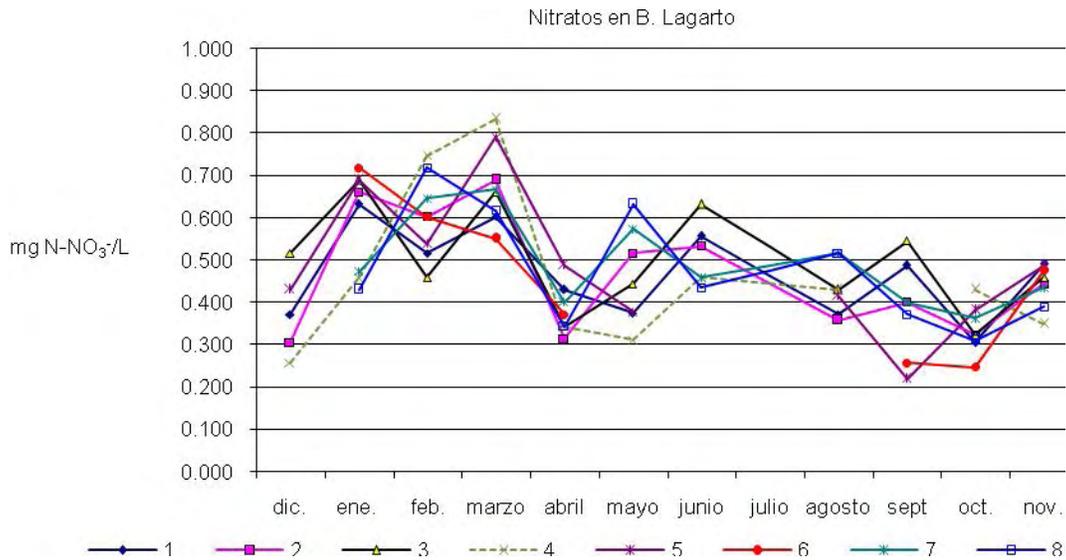


Figura 32. Concentraciones mensuales de nitratos en cada punto de muestreo.



En el embalse Cuauhtémoc (**Figura 33**), igual que en el caso anterior, las concentraciones variaron según el punto de muestreo pero mostraron una tendencia similar; dichas concentraciones oscilaron entre 0.228 y 0.776 mg, en los meses de septiembre y febrero respectivamente. De diciembre a junio la mayoría de los valores de nitratos se presentaron entre 0.5 y 0.7 mg NO₃; Después de la época de lluvia los valores fueron menores, en el mes de septiembre se observó que la concentración del efluente (sitio 3) fue del doble que la del afluente (sitio1), en los meses siguientes estos valores fueron muy cercanos.

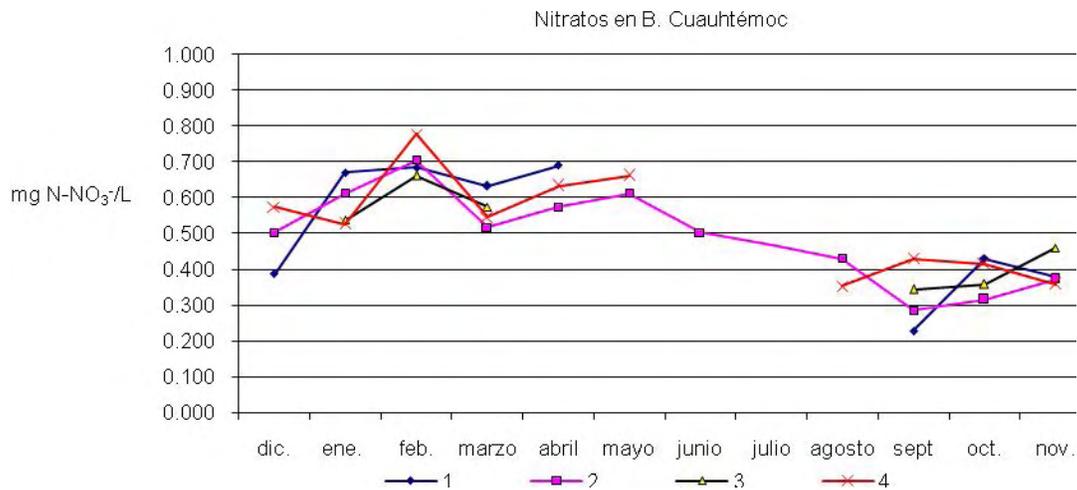


Figura 33. Concentraciones mensuales de nitratos en cada punto de muestreo.

El comportamiento general de los nitratos se muestra en la **tabla 8**.

Tabla 8. Valores de Nitratos (mg NO₃/L)

Embalse	Valor	dic.	ene.	feb.	marzo	abril	mayo	junio	agosto	sept.	oct.	nov.
Lagarto	mín.	0.257	0.430	0.459	0.551	0.314	0.375	0.436	0.358	0.219	0.247	0.349
	máx.	0.517	0.690	0.748	0.834	0.488	0.632	0.632	0.517	0.545	0.430	0.491
	promedio	0.376	0.594	0.604	0.677	0.379	0.462	0.513	0.4341	0.38333	0.3355	0.4415
Cuauhtémoc	mín.	0.387	0.525	0.661	0.517	0.574	0.612	0.502	0.352	0.228	0.314	0.372
	máx.	0.574	0.670	0.776	0.632	0.690	0.661	0.502	0.430	0.430	0.430	0.459
	promedio	0.488	0.586	0.706	0.567	0.632	0.636	0.502	0.391	0.32167	0.3794	0.3917

El comportamiento de los nitratos en los embalses se muestra en la **figura 34**. En general en el bordo Lagarto se observó que las concentraciones de nitratos aumentaron en tres ocasiones: de diciembre a marzo, en mayo y junio y en noviembre. Después de comenzar a llenarse nuevamente el cuerpo las concentraciones disminuyen (de agosto a octubre) y luego aumentan nuevamente.

En el bordo Cuauhtémoc las concentraciones fueron mayores durante la época de seca, ya que se presentaron por arriba de los 0.5 mg NO₃⁻ en febrero; de junio a septiembre se registró un descenso en los valores, a partir de octubre vuelven a incrementarse (**figura 34**). De manera general se observó que los nitratos, en ambos sistemas, se reducen de febrero a septiembre y posteriormente se incrementaron.

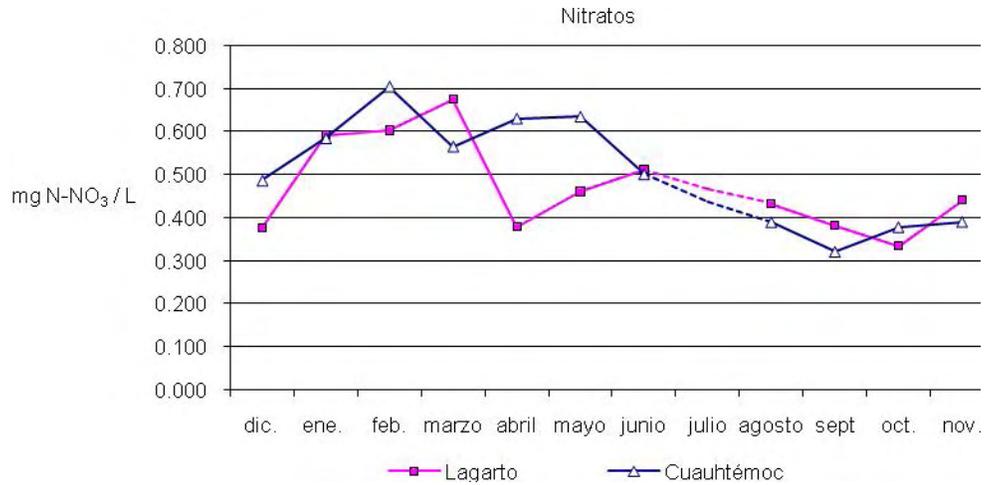


Figura 34. Gráfica de promedios mensuales de nitratos en ambos embalses.

Fosfatos

En la represa Lagarto, los valores variaron de forma muy notoria respecto uno de otro en los meses de marzo, abril, junio y septiembre (**Figura 35**). Las concentraciones oscilaron entre 0.078 mg registrado en agosto y 0.962 mg de PO₄ en marzo. En el mes de marzo los valores más altos se registraron en el centro y compuerta del embalse (sitios 1, 2, 7 y 8), en abril el mayor registro se dio en el sitio 6 donde en otras épocas del año se observa vegetación y crecimientos fitoplanctónicos, sin embargo, los valores bajos de este mes se presentaron en los sitios 1, 2, 7 y 8; en junio aunque fueron menos sitios muestreados también presentaron concentraciones distintas que oscilaron entre 0.16 y 0.507 mg, mientras que en agosto se registraron las menores concentraciones en los sitios 5 y 6 y las mayores en el 1 y 2 (compuerta).

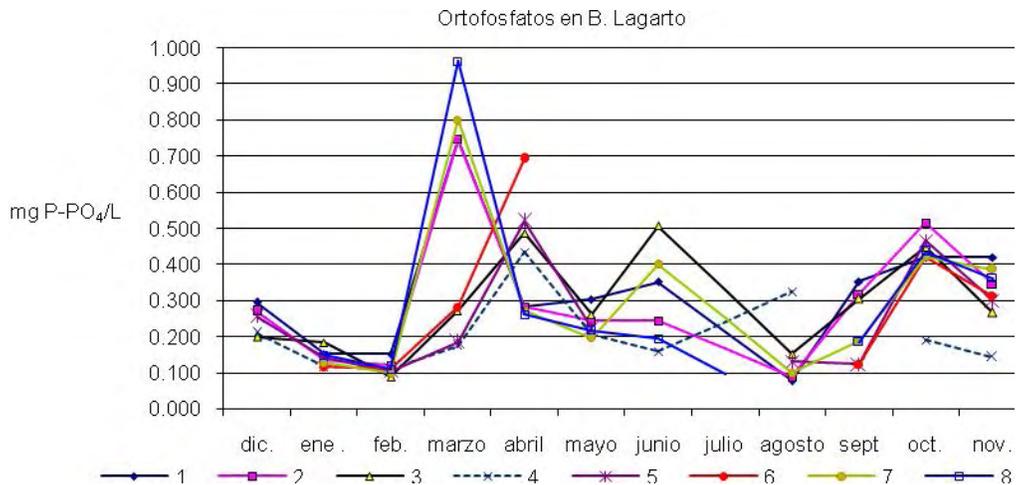


Figura 35. Concentraciones mensuales de ortofosfatos en cada punto de muestreo.



En el caso del sistema Cuauhtémoc (**Figura 36**), la tendencia de los valores es el mismo mes con mes. La mayor concentración se registró en mayo con 1.048 mg (sitio 2) y la menor en septiembre con 0.061 mg de PO_4^{2-} (sitio 4). De abril a mayo la concentración aumentó considerablemente en el sitio 2 para luego en junio descender de manera drástica. Aunque la tendencia de los valores es la misma en marzo y abril la diferencia de concentraciones de fosfatos entre los sitios es de más de dos décimas. De septiembre a noviembre se observó que las concentraciones son similares dentro del embalse y que en casi todos los sitios son menores a 0.5 mg.

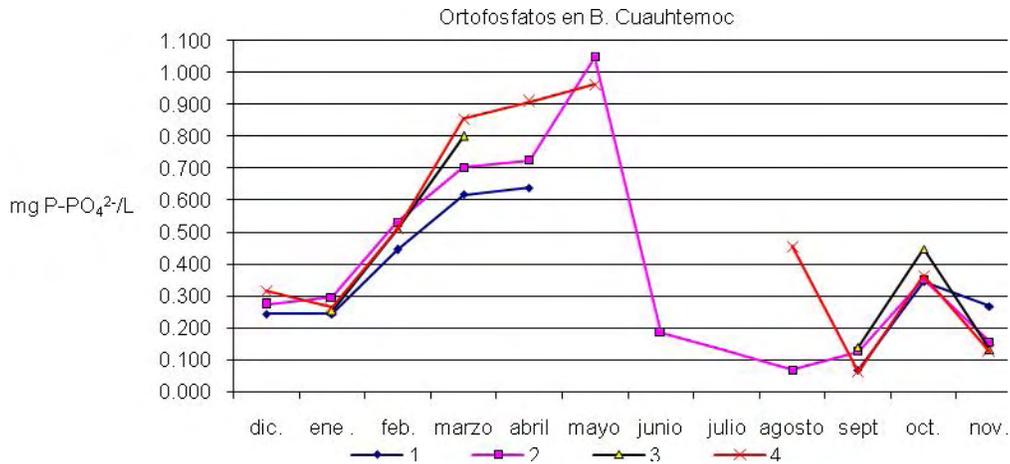


Figura 36. Concentraciones mensuales de ortofosfatos en cada punto de muestreo.

La **tabla 9** muestra el comportamiento de los fosfatos en los bordos.

Tabla 9. Valores de Fosfatos ($\text{mg PO}_4^{2-}/\text{L}$)

Embalse	Valor	dic.	ene.	feb.	marzo	abril	mayo	junio	agosto	sept.	oct.	nov.
Lagarto	mín.	0.200	0.117	0.089	0.175	0.261	0.196	0.160	0.078	0.124	0.192	0.144
	máx.	0.295	0.185	0.153	0.962	0.692	0.304	0.507	0.326	0.353	0.514	0.421
	promedio	0.246	0.141	0.112	0.521	0.404	0.236	0.310	0.146	0.228	0.415	0.317
Cuauhtémoc	mín.	0.244	0.244	0.444	0.617	0.638	0.962	0.186	0.067	0.061	0.344	0.125
	máx.	0.315	0.295	0.531	0.854	0.908	1.048	0.186	0.455	0.139	0.447	0.268
	promedio	0.277	0.263	0.498	0.744	0.757	1.005	0.186	0.261	0.098	0.376	0.170

En el bordo Lagarto los promedio mensuales se vieron afectados por los valores extremos registrados, como se puede observar en la **figura 37**, tal es el caso del promedio del mes de marzo y abril; así se tiene que el menor promedio mensual fue de 0.112 en el mes de febrero y el mayor de 0.521 en marzo. Durante la época de seca no se observó un comportamiento claro de tendencia de los fosfatos puesto que se registraron incrementos y disminución de valores, no obstante, de agosto a octubre los fosfatos se incrementan de forma gradual.



En el sistema Cuauhtémoc las concentraciones de fosfatos (**figura 37**) más elevadas se dieron durante la época de seca alcanzando los máximos niveles en el mes de mayo, al iniciarse las lluvias se observa que los valores de PO_4^{2-} no son constantes dentro del sistema, ya que en agosto y octubre éstos son más elevados que en septiembre y noviembre.

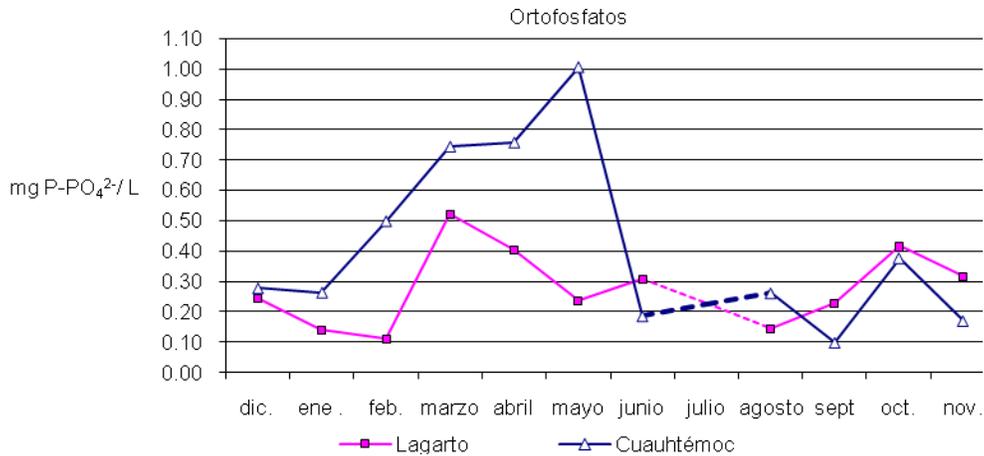


Figura 37. Gráfica de promedios mensuales de fosfatos de ambos embalses.

Sólidos Disueltos

La cantidad de sólidos en el bordo Lagarto (**Figura 38**) va de 0.094 a 0.622 mg/L en enero y abril respectivamente, el menor registro se dió en el canal (sitio 4) donde el agua se observó clara en la mayor parte de los muestreos, de los puntos dentro del embalse fue en el sitio 1 donde se observó el menor registro en el mes de febrero. Se observó, que al igual que con otros parámetros, sobre todo de febrero a junio la cantidad de sólidos presentes en cada punto de muestreo varió de manera muy notoria uno del otro. Además en el mes de abril, en uno de los cuales se presenta menor volumen de agua, se observó que la cantidad de sólidos presentes en las muestras de superficie (sitios 1 y 7), la cantidad de sólidos fue mucho mayor que en las muestras de fondo (sitios 2 y 8). Durante la época de seca las fluctuaciones en las cantidades encontradas son más evidentes que después de iniciadas las lluvias.

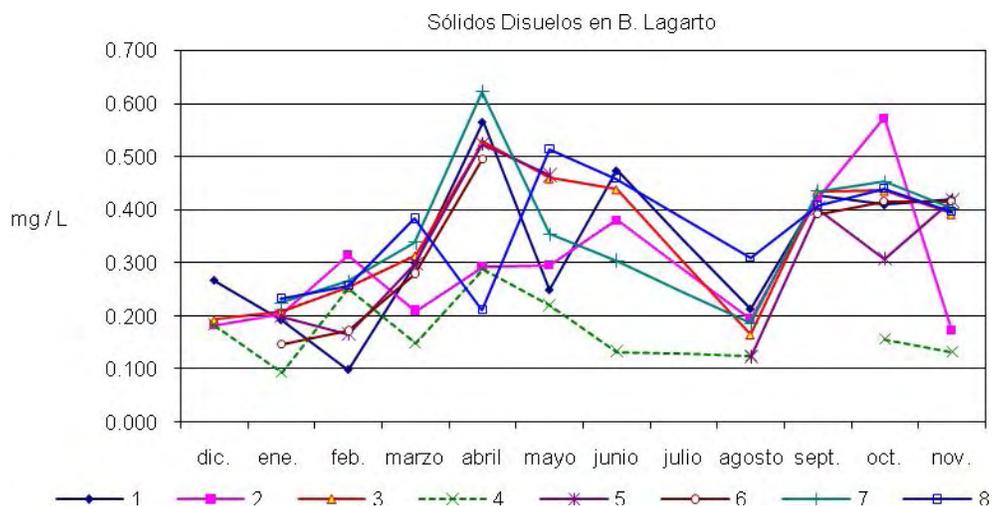




Figura 38. Concentraciones mensuales de sólidos disueltos en cada punto de muestreo.

En el embalse Cuauhtémoc (**Figura 39**), en noviembre se registró el menor contenido de sólidos con 0.176 mg y en abril el mayor contenido con 3.633 mg/L ambas en el sitio 2; en el embalse los valores fueron similares durante casi todos los muestreos; fue en el mes de abril cuando las cantidades encontradas presentaron mayor diferencia entre los sitios. A partir de agosto la cantidad de sólidos disminuyó en todas las muestras registrándose en ellas menos de 0.5 mg.

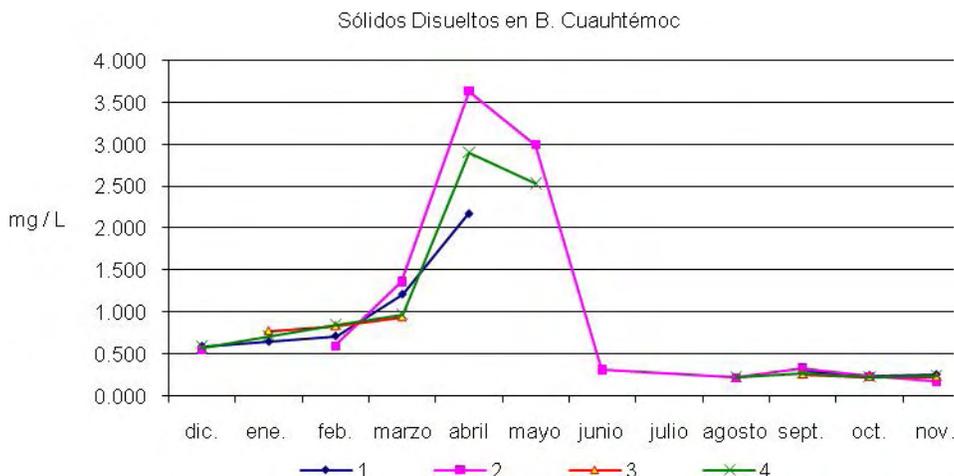


Figura 39. Concentraciones mensuales de sólidos disueltos en cada punto de muestreo.

El comportamiento de los sólidos disueltos se puede observar en la **tabla 10**.

Tabla 10. Valores de Sólidos Disueltos (mg/L)

Embalse	Valor	dic.	ene.	feb.	marzo	abril	mayo	junio	agosto	sept.	oct.	nov.
Lagarto	mín.	0.183	0.094	0.099	0.150	0.211	0.220	0.133	0.123	0.392	0.157	0.420
	máx.	0.267	0.225	0.315	0.383	0.622	0.514	0.474	0.309	0.436	0.572	0.133
	promedio	0.207	0.188	0.222	0.284	0.441	0.365	0.365	0.188	0.417	0.399	0.344
Cuauhtémoc	mín.	0.557	0.649	0.596	0.980	2.181	2.998	0.317	0.215	0.263	0.231	0.176
	máx.	0.594	0.780	0.855	1.367	3.633	2.538	0.317	0.234	0.334	0.245	0.257
	promedio	0.580	0.716	0.752	1.126	2.907	2.768	0.317	0.225	0.296	0.235	0.228

En general en el sistema Lagarto se observó una constancia en el contenido de sólidos disueltos, ya que los promedios mensuales no rebasaron los 0.5 mg; enero y agosto es cuando se tiene un menor contenido de ellos, mientras que en abril se presenta una mayor cantidad de sólidos en el agua; sin embargo, este pico mensual se debe también a que en algunos sitios se registraron cantidades más elevadas (**Figura 40**).

En el bordo Cuauhtémoc las mayores cantidades de sólidos se presentaron en la época de seca, siendo abril y mayo cuando el agua se observó con mayor cantidad de sólidos disueltos, mientras que después de las lluvias el contenido de éstos disminuyó, los promedios mensuales indican que los meses con menor cantidad de sólidos fueron agosto y noviembre (**Figura 40**).

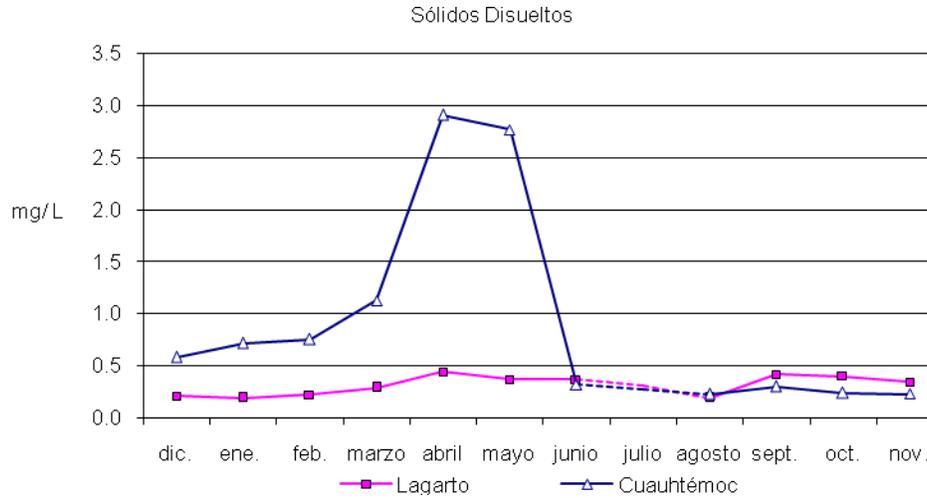


Figura 40. Gráfica de promedios mensuales de sólidos disueltos en ambos embalses.

Sólidos Suspendidos

En el bordo Lagarto (Figura 41) se observó que las cantidades de sólidos suspendidos presentes en las muestras de agua de los puntos de muestreo variaron de forma evidente entre sí, pero la mayoría presentaba la misma tendencia, así tenemos que en el mes de febrero en el canal de irrigación se presentó la mayor cantidad de sólidos y dentro del embalse los valores fueron menores; en abril los valores variaron aún más, fue el sitio 6 donde se registró la mayor cantidad (0.644 mg/L) de todo el año, aunque en mayo y junio las concentraciones se incrementaron en los sitios sin exceder el máximo ya registrado. De febrero a junio es cuando se tiene un incremento en casi todos los valores. Después de la época de lluvia, sobre todo de agosto a septiembre, las cantidades encontradas descendieron de manera considerable, ya que de septiembre a noviembre los valores no excedieron de 0.1 mg.

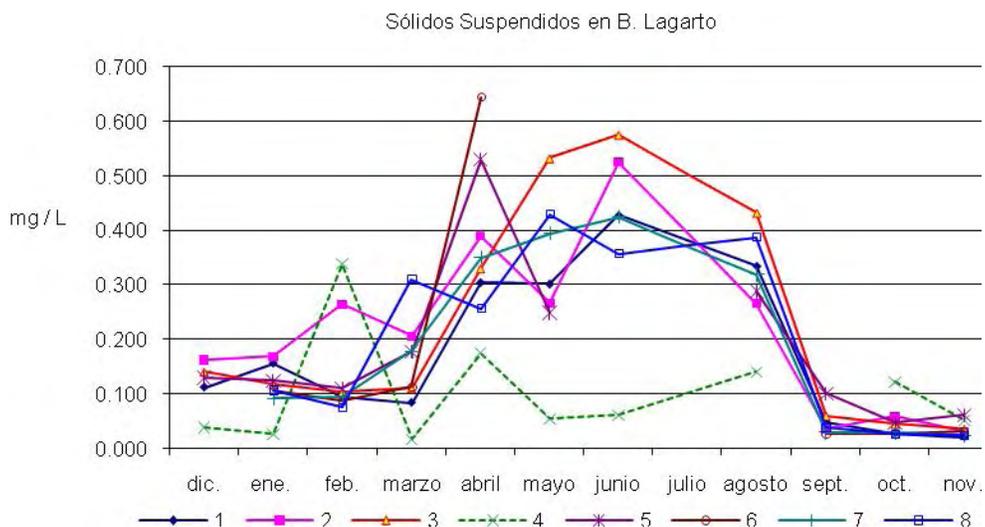


Figura 41. Concentraciones mensuales de sólidos suspendidos en cada punto de muestreo.



En el sistema Cuauhtémoc (**Figura 42**) en los sitios 2, 3 y 4 las cantidades registradas mensualmente fueron similares, no así en el sitio 1 en el que las cantidades fueron mayores, en éste sitio en el mes de marzo el contenido de sólidos suspendidos fue mucho mayor que en los otros puntos, pero no sucedió lo mismo en abril y mayo cuando sólo se observaron unas charcas de agua. Los máximos registros se obtuvieron en abril y mayo, es este ultimo se registraron 2.3 mg de sólidos en las muestra del sitio 4; la charca que se observó en junio presentó pocos sólidos. De septiembre a noviembre los valores disminuyen en todo el embalse y es en noviembre, en el centro del cuerpo, cuando se registró el menor contenido con 0.005 mg/L.

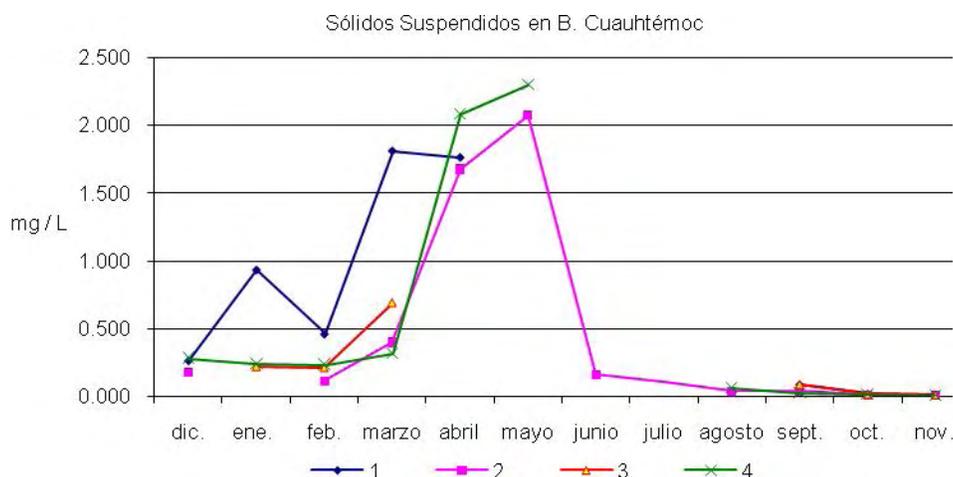


Figura 42. Concentraciones mensuales de sólidos suspendidos en cada punto de muestreo.

La **tabla 11** muestra su comportamiento general de los sólidos suspendidos.

Tabla 11. Valores de Sólidos Suspendidos (mg/L)

Embalse	Valor	dic.	ene.	feb.	marzo	abril	mayo	junio	agosto	sept.	oct.	nov.
Lagarto	mín.	0.041	0.028	0.077	0.019	0.176	0.055	0.062	0.141	0.028	0.028	0.022
	máx.	0.163	0.169	0.338	0.311	0.644	0.532	0.575	0.432	0.101	0.123	0.063
	promedio	0.114	0.113	0.147	0.150	0.373	0.319	0.396	0.310	0.049	0.049	0.036
Cuauhtémoc	mín.	0.173	0.220	0.109	0.312	1.676	2.073	0.160	0.038	0.022	0.007	0.005
	máx.	0.280	0.931	0.458	1.080	2.085	2.300	0.160	0.059	0.090	0.018	0.012
	promedio	0.238	0.464	0.253	0.801	1.840	2.187	0.160	0.048	0.057	0.013	0.008

El agua del embalse Lagarto presento las mayores concentraciones de sólidos de abril a junio, alcanzando las más altas en este último mes con un promedio mensual de 0.396 mg, a partir de este mes las valores registrados comienzan a descender y es en noviembre cuando se presentan las menores cantidades de sólidos en el agua (**Figura 43**).



En el sistema Cuauhtémoc también se observó que el contenido de sólidos fue mayor durante la época de seca, sin embargo en este embalse las cantidades fueron mucho mayores. De marzo a junio los sólidos se incrementan considerablemente alcanzando en mayo la mayor concentración de ellos, para junio y después de comenzar a llenarse nuevamente el embalse, desciende la cantidad de sólidos en el agua, ya que de septiembre a noviembre no se rebasaron los 0.005 mg/L (**Figura 43**).

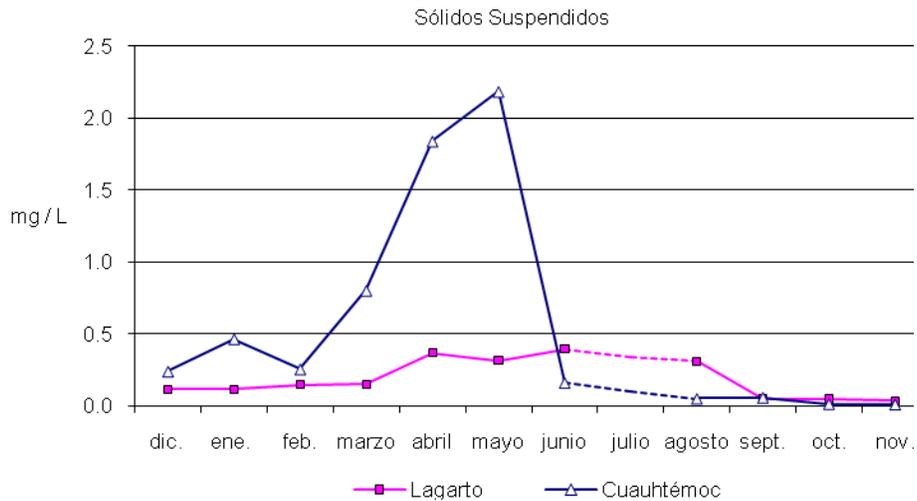


Figura 43. Gráfica de promedios mensuales de sólidos suspendidos en ambos embales.

Como forma de resumir el comportamiento general de ambos bordos, en la **Tabla 14** se muestran los resultados de los parámetros físicos y químicos analizados en los embales:

Tabla 12. Valores mínimos y máximos registrados en los embales.					
		Lagarto		Cuauhtémoc	
Parámetro	Unidades	mínimo	máximo	mínimo	máximo
Temperatura	°C	10.5	20.0	10.2	22.4
pH	pH	5.04	6.97	4.78	7.75
Conductividad	µS/cm	64.4	140.3	59.6	231
Alcalinidad	mg/L CaCO ₃	27	74	23	67
Dureza total	mg/L CaCO ₃	20.02	51.05	12.01	79.08
O.D.	mg O ₂ /L	3.8	11.46	4.68	9.31
DBO5	mg O ₂ /L	0.77	1.43	0.59	1.22
Amonio	mg N-NH ₄ /L	0.017	0.528	0.05	0.655
Nitratos	mg N-NO ₃ /L	0.219	0.834	0.228	0.776
Fosfatos	mg P-PO ₄ /L	0.078	0.962	0.061	1.048
Sólidos Disueltos	mg/L	0.094	0.622	0.176	3.633
Sólidos Suspendidos	mg/L	0.019	0.644	0.005	2.300

3. Vegetación acuática

Las siguientes figuras muestran las zonas de crecimiento de macrofitas en los embalses, en el caso del bordo Cuauhtémoc la cubierta vegetal es más notoria:

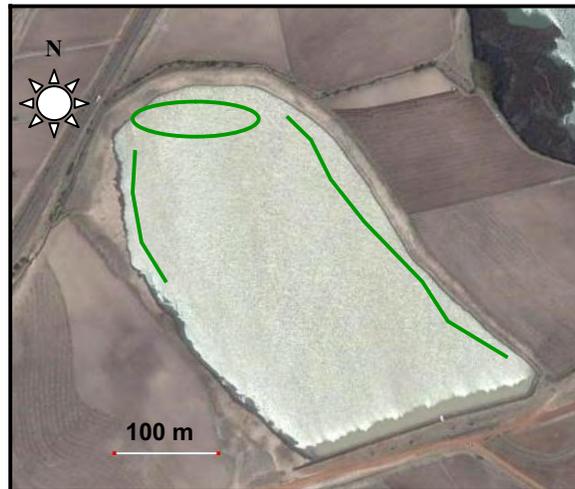


Figura 44. En color verde se indican los principales lugares de crecimiento de la vegetación en el embalse Lagarto.

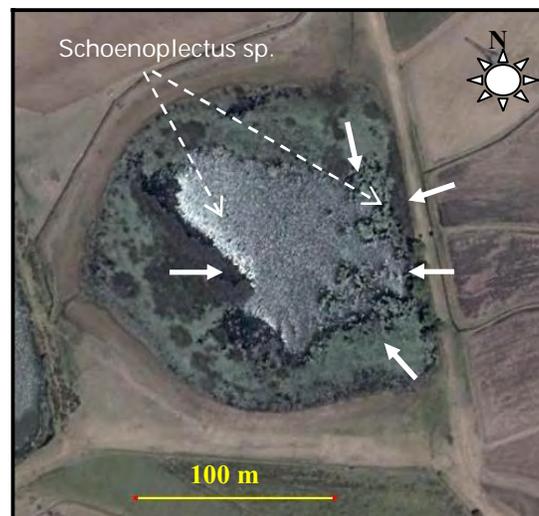


Figura 45. Zonas de crecimiento de la vegetación que permanece durante todo el año (*Schoenoplectus sp* principalmente.), ya que hay géneros que aparecen sólo durante cierta época del año en el embalse Cuauhtémoc.



En casi todos los meses de muestreo en ambos embalses se observó algún tipo de vegetación, siendo quien prevaleció por más tiempo *Schoenoplectus sp*, después de la época de lluvia el crecimiento de hidrófitas fue mayor en los cuerpos. Dado que muchas macrofitas son compartidas se presenta sólo una tabla de los géneros y/o especies registradas en ambos embalses, según la clasificación de macrofitas basada en la forma de vida dominante (Lot *et al.*, 2004), para cada embalse se utilizó en la tabla su abreviatura quedando de la siguiente forma el Embalse Lagarto (**E.L.**) y el Embalse Cuauhtémoc (**E.C.**):

NOMBRE	IMAGEN	OBSERVACIONES
Hidrófita Enraizada Emergente		
<p><i>Schoenoplectus sp.</i> (posiblemente <i>S. tabernaemontani</i>)</p>		<p>E. L.: Se presentó sólo en la periferia del sistema, en la zona noreste. Con organismos jóvenes y no formó manchones, ya que estuvo disperso. Se observó durante todo el periodo de muestreo.</p> <p>E. C.: formó grandes manchones dentro y en la periferia del cuerpo, sobre todo en el afluente y efluente. Los individuos median alrededor de 1.50 y 2.00 m. Dentro de los manchones se encontraban los nidos de las gallaretas y patos.</p>
<p><i>Polygonum</i> (posiblemente <i>P. mexicanum</i>)</p>		<p>E. L.: Se encontró en la zona litoral del cuerpo, su mayor crecimiento se dio en el mes de agosto, durante su floración proporcionó un tono "rosado" al sistema. Estuvo presente de agosto a octubre, yendo en decadencia su presencia en los siguientes meses.</p> <p>E. C.: se observó en agosto y septiembre, con pocos ejemplares a la orilla del sistema.</p>
<p><i>Ludwigia sp.</i> (posiblemente <i>L. palustris</i>)</p>		<p>E. L.: se observó durante casi todo el muestreo; de diciembre a marzo se presentó aunque con poca población, de agosto a noviembre se vio asociada con <i>Nymphoides fallax</i> y <i>Potamogeton sp.</i> principalmente,</p> <p>E. C.: estuvo presente de diciembre a marzo y de agosto a noviembre, solo en los meses de abril a junio no se le registró, por la desecación del sistema. Formó manchones que cubrieron gran parte de la superficie del cuerpo junto con <i>Nymphoides fallax</i> y <i>Potamogeton sp.</i></p>



Hidrófita Enraizada Sumergida		
<i>Potamogeton sp.</i>		<p>E. L.: se observó en la zona norte del cuerpo, junto con otras especies como <i>Marsilea mollis</i>, <i>Ludwigia sp.</i> y <i>Nymphoides fallax</i>, de agosto a septiembre y en mucho menor proporción en octubre y noviembre.</p> <p>E. C.: esta planta se presentó de agosto a octubre, asociada con <i>Ludwigia sp.</i>, <i>Nymphoides fallax</i> y en ocasiones con <i>Marsilea mollis</i>.</p>
Hidrófita Enraizada de Hojas Flotantes		
<i>Marsilea mollis</i>		<p>E. L.: Se presentó sólo en los meses de septiembre y octubre, aunque su población no fue numerosa, ya se sólo se podían observar pocos individuos de esta especie.</p> <p>E. C.: tuvo poca presencia, sólo se observó de agosto a octubre</p>
<i>Nymphoides fallax</i>		<p>E. L.: no se registró.</p> <p>E. C.: tuvo una gran presencia de agosto, al inundarse nuevamente el cuerpo, hasta diciembre, su flor se observó solo en septiembre y octubre. Formó manchones junto con <i>Ludwigia sp.</i> Debajo de sus hojas y en sus raíces se encontraron algas filamentosas.</p>
Hidrófita Libremente Flotadora		
<i>Azolla sp.</i> (posiblemente <i>A. mexicana</i>)		<p>E. L.: se le observó de noviembre a marzo en la zona más baja del cuerpo (parte contraria a la compuerta) al disminuir el nivel de agua se postró en el suelo manteniéndose solo hasta que éste estuvo húmedo.</p> <p>E. C.: se presentó al ir disminuyendo el nivel del agua. Prosperó a la orilla del sistema, en suelo poco inundado pocas veces se le vio flotando en el agua. Se observó de diciembre a febrero.</p>
<p>E.L.: embalse Lagarto E.C.: embalse Cuauhtémoc</p>		

4. Fauna

Los animales que se presentan en los ecosistemas pueden ser representativos de ellos e indicar características importantes de cada hábitat, algunos de ellos se presentan de forma temporal, ya sea que su población se ve favorecida por factores ambientales o por lo contrario, que las características del ambiente ya no sean favorables para su desarrollo. En la siguiente lista se presenta la fauna que fue registrada durante la investigación en los sistemas Lagarto y Cuauhtémoc, se presenta una sola lista ya que algunos de ellos son compartidos.

NOMBRE	IMAGEN	OBSERVACIONES
<i>Ciprinus carpio communis</i> y <i>C. carpio specularis</i>		Este pez se pudo observar en algunas ocasiones, al pescar los pobladores en los embalses, los organismos eran de talla pequeña, aunque según los lugareños, se han llegado a pescar individuos de hasta 3 Kg. Esta especie es cultivada en éstos y otros embalses del municipio como parte de actividades de extensionismo.
Acocíl (<i>Cambarellus sp.</i>)		Este organismo se registró en el mes de diciembre en el canal de irrigación que alimenta al embalse Lagarto. Aunque no se observó en otras ocasiones en los dos sistemas, es posible que habiten en ellos, puesto que los embalses se encuentran comunicados por canales de irrigación y pueden ser arrastrados por la corriente.
Rana (<i>Rana sp.</i>)		No se obtuvo ningún ejemplar de esta especie, pero se pudo observar y escuchar, además se obtuvieron sus huevas que se encontraron al reverso de las hojas de <i>Nymphoides fallax</i> (en el bordo Cuauhtémoc) y en los tallos de <i>Ludwigia sp.</i>
Garza blanca (<i>Ardea alba</i>)		Esta ave fue vista en ambos embalses en diciembre y observada en otros cuerpos de agua hasta febrero, aunque en grupos de pocos individuos. Considerando que es menos común que la garza ganadera (<i>Bubulcus ibis</i>) es necesario considerar a ésta última como posible visitante de estos embalses.



<p>Pato (<i>Anas sp.</i>) (posiblemente <i>A. diazi</i>, pato mexicano)</p>		<p>En el embalse Lagarto no se observaron patos nadando en agua, no obstante, si fueron vistos en el cuerpo de agua contiguo a él, por lo que se considera que estos organismos utilizan en algún momento este sistema. Mientras que en Cuauhtémoc éste tipo de pato se observó en varias ocasiones (enero-febrero y agosto-noviembre); las poblaciones viven junto a la de las gallaretas en los manchones formados por <i>Schoenoplectus sp.</i> Dado su carácter migratorio no se descarta la presencia de otras especies de patos.</p>
<p>Gallareta (<i>Fulica americana</i>)</p>		<p>En el bordo Lagarto esta ave fue vista ocasionalmente cerca de los manchones de <i>Schoenoplectus sp.</i> y nadando en el agua, aunque en grupos pequeños. En el sistema Cuauhtémoc se observó durante casi todo el año, ya que en las formaciones de <i>Schoenoplectus sp.</i> tenían sus nidos, no se observaron cuando el sistema presentó poco volumen de agua. En otras ocasiones se presencio la caza de esta ave por parte de lugareños.</p>
<p><i>Sceloporus sp.</i></p>		<p>Este tipo de organismos fue observado alrededor de los sistemas y es considerado como parte de la fauna que reside habitualmente alrededor de estos cuerpos.</p>

En el área donde se ubican los embalses, en general se observaron algunos mamíferos los cuales están introducidos en el área para actividades ganaderas como son *Equus caballus* (caballo), *Bos taurus* (vaca) y *Ovis aires* (borregos) o por su convivencia con el hombre como *Canis familiaris* (perro),

Un listado más amplio de las especies reportadas para la zona se muestra en el **Anexo 2 Cuadro 2.**



5. Registro de Fitoplancton

La siguiente tabla muestra el número de géneros de fitoplancton en total en los conteos al microscopio encontrados en cada embalse:

Tabla 13. Número de géneros por división de fitoplancton registrados en cada embalse.

	Chlorophyta	Chromophyta	Cyanophyta	Euglenophyta	Total
Lagarto	7	9	6	0	22
Cauhtémoc	10	8	3	2	23

Figura 46. Gráfica de distribución porcentual del fitoplancton en el bordo Lagarto.

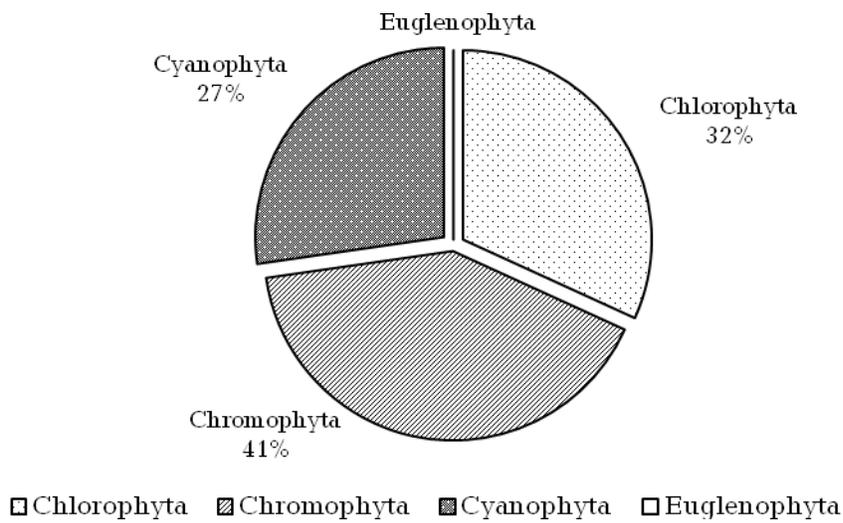
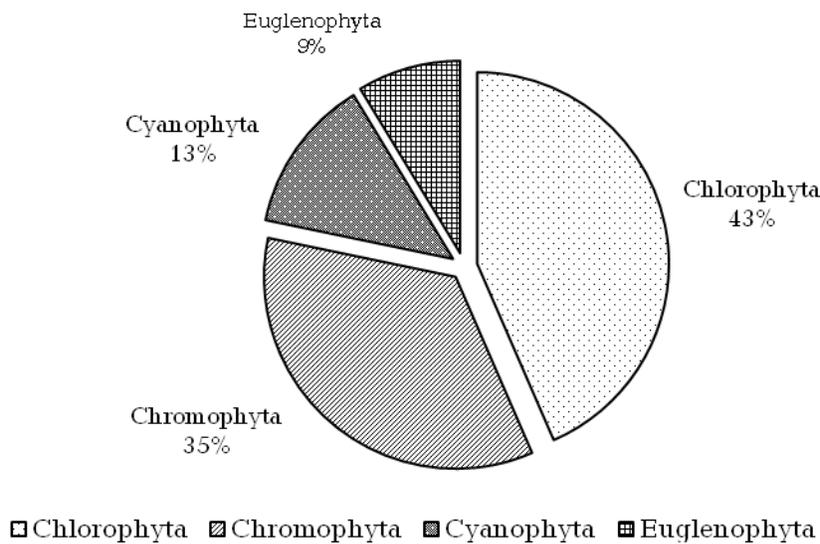


Figura 47. Gráfica de distribución porcentual del fitoplancton en el bordo Cauhtémoc.





A continuación se presenta una lista (**Tabla 14**) de los géneros y/o especies halladas en los cuerpos de agua, basada en la clasificación de Ortega (1984):

Tabla 14. Lista de géneros de fitoplancton registrados en los embalses.

División	Clase	Género	Especie	Lagarto	Cuauhtémoc
Chlorophyta	Chlorophyceae	<i>Ankistrodesmus</i>	<i>sp</i>		X
		<i>Characium</i>	<i>sp</i>		X
		<i>Chlorella</i>	<i>sp</i>	X	X
		<i>Closterium</i>	<i>sp</i>	X	X
		<i>Crucigenia</i>	<i>C. tetrapedia</i>		X
		<i>Microspora</i>	<i>sp</i>	X	X
		<i>Mougeotia</i>	<i>sp</i>	X	
		<i>Mougeotiopsis</i>	<i>sp</i>	X	
		<i>Nephrocytium</i>	<i>N. lunatum</i>	X	X
		<i>Selenastrum</i>	<i>sp</i>		X
		<i>Staurastrum</i>	<i>sp</i>		X
		<i>Spyrogira</i>	<i>spp</i>		X
		<i>Ulothrix</i>	<i>sp</i>	X	
		<i>*Zygnema</i>	<i>sp</i>	X	X
Chromophyta	Diatomophyceae (Bacillariophyceae)	<i>Achnantes</i>	<i>sp</i>	X	
		<i>Cymbella</i>	<i>sp</i>	X	X
		<i>Eunotia</i>	<i>sp</i>	X	
		<i>Cyclotella</i>	<i>sp</i>		X
		<i>Fragilaria</i>	<i>sp</i>	X	X
		<i>Melosira</i>	<i>sp</i>	X	
		<i>Navicula</i>	<i>sp</i>	X	X
		<i>Nitzschia</i>	<i>sp</i>	X	X
		<i>Rhoicosphaenia</i>	<i>R. curvata</i>	X	X
		<i>Surirella</i>	<i>sp</i>	X	X
		<i>Synedra</i>	<i>sp</i>		X
Cyanophyta	Cyanophyceae	<i>Anabaena</i>	<i>sp</i>	X	
		<i>Chroococcus</i>	<i>sp</i>	X	
		<i>Cylindrospermum</i>	<i>sp</i>	X	X
		<i>Gomphosphaeria</i>	<i>sp</i>	X	
		<i>Merismopedia</i>	<i>M. elegans</i>	X	X
		<i>Nostochopsis</i>	<i>sp</i>	X	
		<i>Rabdoderma</i>	<i>sp</i>		X
		<i>Euglenophyta</i>	Euglenophyceae	<i>Euglena</i>	<i>sp</i>
	<i>Phacus</i>	<i>sp</i>			X

* Género hallado en observaciones al microscopio, no en los conteos.

Más detalle acerca de los géneros encontrados se observan en el anexo fotográfico (**Anexo 2**) al final del trabajo.



Cabe mencionar que se observaron al microscopio muestras tomadas de algunos sitios o crecimientos algales en las hidrófitas. Se notó que algunos de los géneros hallados en estos lugares no se registraron en los conteos, por ello se hace mención aparte de ellos.

Se observaron crecimientos formados por las clorofitas *Zygnema sp.* y *Spirogyra sp.*, esta última con una y con dos hélices, por lo que se deduce que son dos especies diferentes aunque no se concluyó cuales. Estas algas se encontraron formando concentraciones con apariencia de "natas" en la periferia de los cuerpos.

En el bordo Lagarto, éstas concentraciones crecieron principalmente en la zona norte y noreste del cuerpo (sitio 6) (ver fotos en el Anexo 2), área muy protegida de los vientos y con poco movimiento de la masa de agua, el crecimiento llego a alcanzar varios metros de largo y de ancho; estos crecimientos se presentaron en los meses de mayor inundación y, a pesar del tamaño de estos crecimientos, no se encontraron organismos de estos géneros en los conteos de este embalse.

En Cuauhtémoc se observó que los crecimientos formados por *Zygnema* y *Spyrogyra* eran apenas de algunos cm de largo, y *Spyrogyra* (de una hélice) se observó creciendo al reverso de las hojas de *Nymphoides fallax*. Los crecimientos se registraron en los meses que el cuerpo presentó mayor volumen.

Densidad poblacional

De acuerdo al análisis hecho en el sistema Lagarto, durante la época de seca se registró una menor cantidad de organismos en comparación con la época de lluvia, siendo diciembre cuando se obtuvo el menor registro con 52,796.3 org/L, de diciembre a junio se observa que la densidad no supera un millón de organismos por litro. Al comenzar a llenarse nuevamente el embalse se incrementó la cantidad de fitoplancton en el agua, aunque de agosto a noviembre este incremento no es constante ya que en octubre se observó un descenso, septiembre es el mes con mayor densidad poblacional con 3,767,395.5 org/L (Figuras 48).

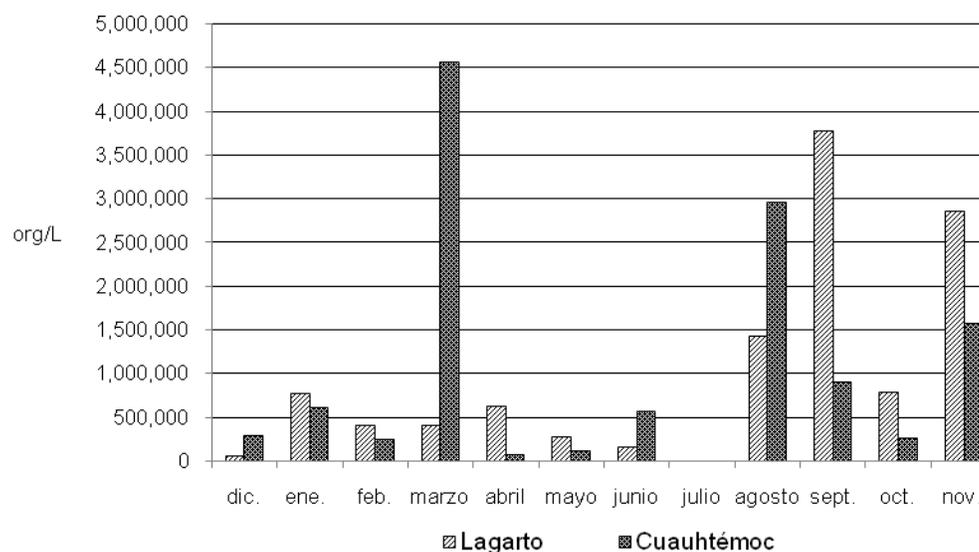


Figura 48. Gráfica de la Densidad Fitoplanctónica en los embalses.



En cuanto al número de géneros registrados y tomando como apoyo las claves mencionadas en la metodología, en este sistema dominaron las diatomeas seguidas de las clorofitas y cianofitas (**Figura 46**). En los meses de febrero, marzo y noviembre se encontraron más diatomeas siendo los géneros más abundantes *Fragilaria* y *Nitzschia* en marzo, después de la época de lluvias la más abundante fue *Navicula* (septiembre a noviembre), en los meses de mayo y agosto no se encontraron organismos de esta división. En tanto que las clorofitas fueron más constantes en cuanto a su presencia, la más abundante en casi todos los muestreos fue *Chlorella* seguida de *Ulothrix*, junio es el mes donde no se registraron géneros de ésta división. La presencia de cianofitas no fue constante ni tampoco la de algún género, sólo *Cylindrospermum* y *Anabaena* se registraron en dos ocasiones, ambas en mayo y en septiembre y enero respectivamente y *Chroococcus* en febrero, junio y noviembre, al comenzar a llenarse el sistema (de septiembre a noviembre) se registraron cianofitas. No se registraron euglenofitas. Los meses con mayor número de géneros registrados fueron febrero con 8 y noviembre con 7 géneros (ver **Figura 51**), en la **Figura 49** se muestra el porcentaje mensual que cada división representó según el número de géneros registrados en los conteos, en cinco de los meses muestreados se encontraron organismos de las tres divisiones.

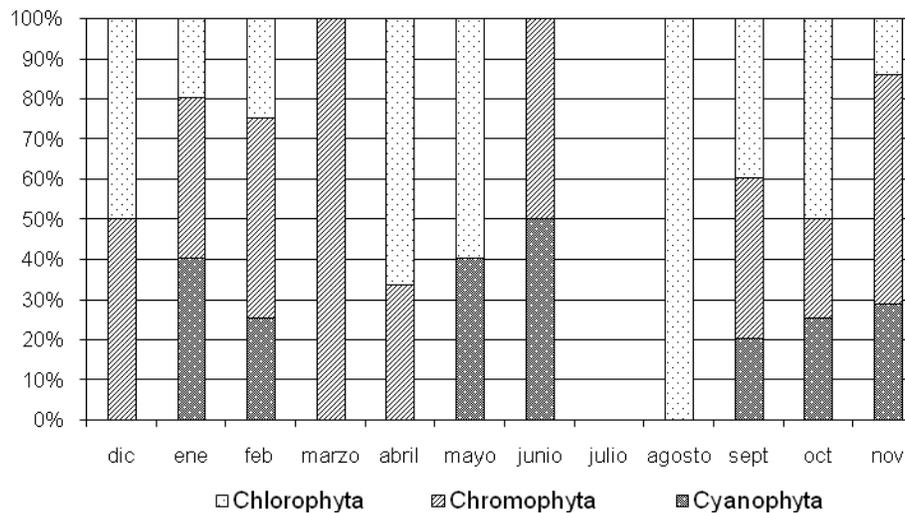


Figura 49. Porcentaje mensual de cada división en el embalse Lagarto.

En el embalse Cuauhtémoc la cantidad de fitoplancton hallado es variado de un mes a otro, por lo que no se observó un comportamiento claro de éste durante una u otra época, así mismo, los conteos se vieron afectados por la cantidad de sólidos presentes en las muestras, sobre todo de abril a junio. En el mes de abril se registró el menor número de organismos con 67,881 org/L. y en marzo el mayor número de ellos con 4,561,603.2 org/L.; sin embargo, el aumento notable en marzo de y agosto, se debe a la mayor presencia de alguno o algunos géneros en particular en estos casos de *Chlorella sp* y *Navicula sp* respectivamente (ver **Figura 47**).

En este cuerpo se encontraron organismos de las cuatro divisiones (**Figura 51**), el mayor número de géneros se encontró en el mes de agosto (11) y luego decreció mostrando un ligero aumento en noviembre. Durante la época de seca el número de géneros vario de un mes a otro aunque fueron menores a la época de lluvia ya que al comenzar a llenarse el cuerpo de agua se observó un



incremento en el número de géneros. En este sistema las clorofitas fueron más abundantes y junio es el único mes donde no se registraron, le siguen las diatomeas, cianofitas y euglenofitas. De las clorofitas el género más abundante fue *Chlorella sp.* y fue la causante del incremento poblacional registrado en marzo, en agosto se obtuvo la mayor riqueza de clorofitas (6 géneros). Las diatomeas también aumentaron después de agosto aunque desde junio ya se registraron cuatro géneros, de éstos el más abundante fue *Navicula* observada en siete muestreos y en los cuales representó por lo menos el 50% de los conteos, le siguió *Fragilaria* aunque no es las mismas proporciones. En cuanto las cianofitas se registraron 3 géneros en total en los meses de marzo, agosto y septiembre, en los dos últimos *Merismopedia*. Sólo en enero y mayo se registraron euglenofitas. En agosto y septiembre se observó el mayor número de géneros, 11 y 8 respectivamente. En la **Figura 50** se muestre el porcentaje mensual que cada división representó según el número de géneros encontrados, como se puede observar las clorofitas y diatomeas se presentaron en igual número de meses y en proporciones similares.

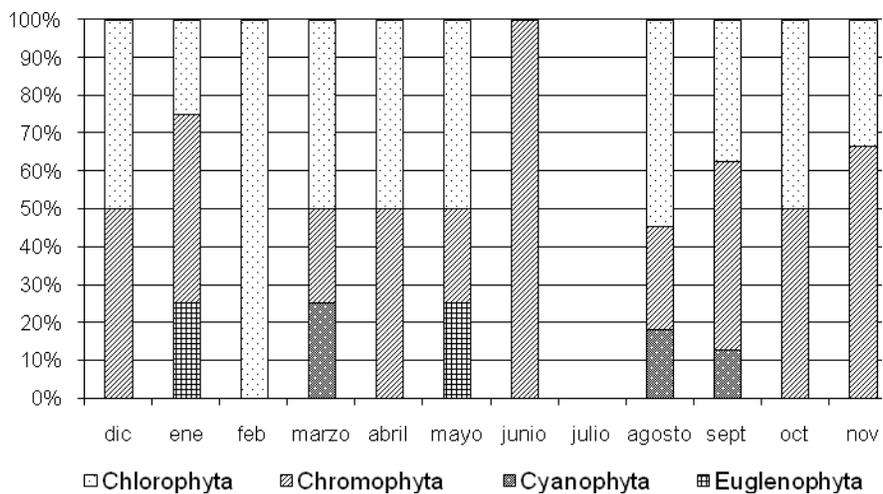


Figura 50. Porcentaje mensual de cada división en el embalse Cuauhtémoc.

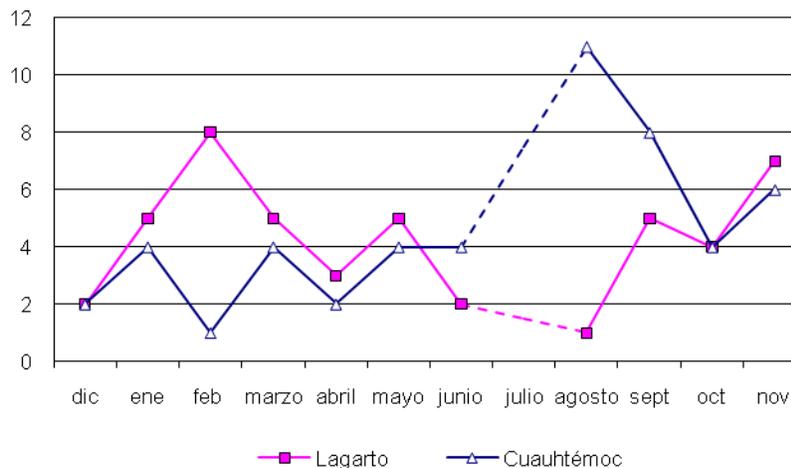


Figura 51. Número de géneros registrados en cada sistema mensualmente.



6. DESCRIPCIÓN AMBIENTAL PARA LA EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS

Aspectos Generales Del Medio Natural y Socioeconómico

Como parte de los resultados, en el siguiente apartado se muestra la información requerida para llevar a cabo la evaluación de impacto ambiental, para ello se presentan las características físicas, biológicas y socioeconómicas del lugar donde se ubican los embalses y su zona de influencia.

6.1. Clima

6.1.1 Tipo de clima

En Puebla los climas que predominan son los templados, en la zona de influencia del área de estudio se presentan climas Templado Subhúmedo con Lluvias en Verano, de Humedad Media, Templado Subhúmedo con Lluvias todo el año y Semifrío Subhúmedo con Lluvias en Verano, de Mayor Humedad principalmente

El municipio se localiza dentro de la zona de los templados de la sierra norte (INEGI, 2006, Mapa de climas), se identifican tres tipos de climas en el municipio:

Clave del clima	Características	% superficie municipal
* C(w ₁)(w)	Templado subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media	83.9
C(w ₂)	Templado subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad	10.32
C(E)(w ₂)	Semifrío subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad	5.69
* Clima de la zona donde se ubican los embalses		Fuente: INEGI, 1995

6.1.2 Temperaturas promedio mensuales y extremas

El registro más reciente para esta zona fue tomado de la estación meteorológica San Nicolas Tetela, con clave 21-021, con las coordenadas 20°00'20" latitud norte y 97°31'57" longitud oeste a una altitud de 1520 msnm.

Registra en el periodo 2001-2005 una temperatura promedio anual de 15.3°C, en el año más frío 14.3°C y el año más caluroso 16.1°C. Los meses más fríos son noviembre, diciembre y enero (INEGI, 2006).

En la estación Llano Verde con clave 21-051 se registraron las siguientes temperaturas mensuales promedio (INEGI, 1995):



mes	Llano Verde	Sn. Nicolás Tetela	
	1994 T°C	2005 T°C	2001-2005 T°C
Enero	11.4	12.0	12.2
Febrero	12.4	14.0	13.7
Marzo	14.2	17.3	15.9
Abril	15.2	18.0	16.6
Mayo	16.0	18.7	17.7
Junio	14.9	18.5	17.3
Julio	14.4	17.3	16.5
Agosto	14.2	16.4	16.5
Septiembre	13.5	16.0	15.5
Octubre	12.8	15.1	15.6
Noviembre	11.6	13.2	13.8
Diciembre	12.1	13.3	12.5
Anual	13.6	-	-

Fuente: INEGI, 1995 e INEGI, 2006

6.1.3 Precipitación promedio mensual y anual (mm)

En la misma estación se registra una precipitación promedio anual de 886.6 mm; la precipitación del año más seco fue de 375 mm y la del año más lluvioso de 1 334 mm (INEGI, 2006).

Precipitación promedio mensual			
mes	Llano Verde	Sn. Nicolás Tetela	
	1994 mm	2005 mm	2001-2005 mm
Enero	7.9	0.0	1.6
Febrero	9.7	0.0	8.8
Marzo	10.8	0.0	10.8
Abril	26.6	0.0	15.0
Mayo	49.1	0.0	40.0
Junio	101.8	209.0	126.6
Julio	145.0	87.0	75.4
Agosto	119.1	248.0	125.0
Septiembre	154.6	170.0	221.0
Octubre	76.4	589.0	237.2
Noviembre	30.6	31.0	25.2
Diciembre	13.0	0.0	0.0
Anual	744.5	-	886.6

Fuente: INEGI, 1995 e INEGI, 2006



6.1.4 Vientos

Otro de los factores para el clima de la zona son los vientos alisios, procedentes del golfo de México, que acarrearán aire húmedo necesario para la precipitación. Durante la parte seca del año predominan con frecuencia vientos secos que provienen del oeste. Las perturbaciones ciclónicas que se originan entre junio y octubre tanto en el Atlántico como en el Pacífico no llegan a penetrar con toda su fuerza, pero algunos provocan en la región periodos de copiosas y prolongadas lluvias. Las incursiones de masa de aire frío procedentes del norte son más o menos frecuentes en diciembre, enero y febrero, siendo las principales responsables de las temperaturas bajas y de lapsos pasajeros de nubosidad (Rzedowski y Rzedowski, 1979).

6.1.5 Intemperismos severos

Heladas: las heladas constituyen uno de los problemas más importantes durante la temporada fría (invierno) y principios de la primavera, por ser esta una región agrícola y no poder garantizar una buena cosecha sin conocer los periodos de mayor posibilidad de ocurrencia. Se presentan en zonas cuya altitud va de 500 a más de 3 000 m, en una gran variedad de climas, así como en un número de días variable. El intervalo es de 40 a 80 días; sin embargo, la estación meteorológica Sn. Nicolás Tetela registró un promedio de 15 heladas por año en el periodo 2001-2005. La primera helada por lo general se produce en octubre, la última en marzo y la máxima incidencia en diciembre.

Nieblas: las nieblas son nubes bajas que tienen su base en el suelo y que por lo tanto impiden la visibilidad; su formación se debe al enfriamiento bajo el punto de rocío del aire húmedo que se encuentra próximo al terreno. En esta región se puede observar este fenómeno, sobre todo en los meses de invierno.

Granizadas: Se registra un promedio de 2 a 4 días al año con tormentas de granizo.

Nevadas: La frecuencia menor de nevadas (0.03 a 1.14) se reporta en las zonas de clima semicálido y en las de templado húmedo y subhúmedo del norte del estado (Secretaría de Gobernación, 1988).

6.2. Geología y Geomorfología

El municipio se localiza en el occidente de la región morfológica de la sierra Norte o sierra de Puebla, que está formada por sierras más o menos individuales paralelas, comprimidas unas con otras y que suelen formar grandes o pequeñas altiplanicies intermontanas que aparecen frecuentemente escalonadas hacia la costa.

El relieve del municipio está constituido por una serie de grandes complejos montañosos, cerros aislados, una gran masa y un valle, estos elementos están bien definidos (INEGI, 2000).

6.2.1 Características geomorfológicas

La zona estudio se ubica en la provincia de Eje Neovolcánico, en la Subprovincia Lagos y Volcanes del Anáhuac, en esta zona se encuentran materiales sedimentarios calcáreos y no calcáreos, que han sido sepultados parcialmente por rocas volcánicas (INEGI, 2000)



6.2.2 Estratigrafía

Estratigráficamente el INEGI (2000) reporta para esta zona, registros en tiempo geológico de las eras Cenozoico, de los periodos Cuaternario y Terciario, del Mesozoico, del periodo Cretácico, presentando rocas de tipo ígneo extrusiva y sedimentaria.

Mesozoico

Las rocas mesozoicas pertenecen al período Triásico y están representadas por una potente secuencia de sedimentos continentales (lechos rojos) pertenecientes a la formación Huizachal. La secuencia consta de arenisca, conglomerado y algunas capas de lutita arenosa TR(ar-cg), que forman estratos masivos y delgados y subyacen en discordancia angular a los depósitos del Jurásico Inferior(INEGI, 2000).

Cenozoico

En la parte norte del estado, las rocas sedimentarias del Cenozoico son todas de tipo clástico. Fueron depositadas de manera progradante en franjas paralelas a la costa del Golfo de México; de tal forma que afloran depósitos del Paleoceno, Eoceno y Oligoceno. Del primero, lo representa la unidad Tpal(lu-ar), que está formada por una interestratificación de lutita y arenisca (secuencia tipo flysch), que presentan huellas de pistas de organismos; sobreyace en concordancia a las unidades de caliza y lutita del Cretácico Superior (INEGI, 2000).

Cuaternario

Los derrames basálticos del Cuaternario, Q(lgeb), forman parte del volcanismo básico que dio origen a la configuración típica del Eje Neovolcánico. Tienen una extensión amplia, especialmente desde la zona centro occidental hasta la parte centro oriental del estado; en donde constituyen numerosos aparatos volcánicos, depósitos piroclásticos y derrames. En la carta geológica, esta unidad incluye rocas lávicas basálticas de variada textura, depósitos de material piroclástico de tamaño de "lapilli", gran cantidad de ceniza fina y escoria; así como bloques y "bombas" de diferente tamaño, que se encuentran escasamente consolidados y localmente estratificados (INEGI, 2000).

6.2.3 Geotermia

El volcanismo reciente en esta región, ha generado numerosos aparatos volcánicos (algunos de ellos, como el Popocatepetl, están aún en actividad) y focos termales (como los baños termales en Chignahuapan). Se trata de una gran estructura volcánica de aproximadamente 21 km de diámetro; se ubica al sur de Teziutlán y constituye una de las zonas geotérmicas más importantes del país (INEGI, 2000).

En la zona de Chignahuapan, la mayor temperatura registrada en un manantial termal, alcanza los 49°C (Baños de Chignahuapan). El agua de esta fuente presenta una concentración relativamente alta de calcio y magnesio y presenta un carácter bicarbonatado-clorurado, lo que sugiere la existencia a una cierta profundidad de agua de alta temperatura, diluida por aguas subterráneas más someras (INEGI, 2000).



En la misma zona, el manantial llamado La Alcaparroza presenta, aunque un poco baja, una temperatura superficial de 21°C, la presencia de depósitos de azufre elemental y sus características geoquímicas sugieren la existencia de una cámara magmática profunda, todavía activa, así como de un acuífero hipotermal (INEGI, 2000).

6.3. Suelo

6.3.1 Tipo de suelo

El municipio presenta una gran diversidad edafológica; se identifican suelos pertenecientes a ocho grupos que a continuación se describen (Secretaría de Gobernación, 1988):

- * Regosol
- * Andosol (T)
- * Planosol (W)
- * Feozem (H)
- * Luvisol (L)
- * Cambisol (B)
- * Vertisol (V)
- * Litosol (I)

Los más abundantes en el municipio se muestran en la siguiente tabla:

Fórmula edafológica	Nombre	Textura	Ha	%
Vp/3	Vertisol pélico	fina	513	27.1
Vc/3		fina		
Rd/2	Regosol distrito	media	-	-
Th/2	Andosol húmico	media	-	-
HI/3	Feozem lúvico	fina	850	14.8
Hh/2		media		

Fuente: INEGI, 2006. Anuario estadístico del Estado de Puebla

El embalse "El Lagarto" posee suelos de tipo Feozem-Lúvico y Vertisol-Pélico con textura media (en los primeros 30 cm) (INEGI, 1984).

El embalse "Cuauhtémoc", posee suelos de tipo Vertisol-Pélico y Feozem-Lúvico con textura fina (en los primeros 30 cm) (INEGI, 1984).

A continuación se describen los suelos en los que están ubicados los bordos:

Feozem (H): son adecuados para cultivos que toleran exceso de agua, aunque mediante obras de drenaje pueden destinarse a otros cultivos, son de fertilidad moderada a alta. Cubre grandes extensiones del centro y centro-oeste; presenta fase dúrica (tepetate a menos de 50 cm de profundidad) o dúrica profunda (tepetate entre 50 y 100 cm de profundidad).



Luvisol (L): son suelos ricos en nutrientes, con horizonte cálcico o presencia de material calcáreo por lo menos en la superficie. Son de fertilidad moderada a alta. Se presenta en áreas dispersas del municipio, sobre todo en el centro-oeste.

Vertisol (V): suelos de textura arcillosa y pesada que se agrietan notablemente cuando se secan. Presentan dificultades para su labranza, pero con manejo adecuado son aptos para una gran variedad de cultivos, si el agua de riego es de mala calidad, pueden salinizarse o alcalinizarse. Su fertilidad es alta. Cubren una larga y ancha franja que cruza del centro hacia el noreste del municipio; presenta fase dúrica y dúrica profunda.

6.4. Hidrología

La totalidad del territorio del Norte de Puebla, se encuentra comprendido dentro de dos regiones hidrológicas. Estas regiones son, en orden de extensión: RH27 Región Tuxpan-Nautla y una pequeña porción de la RH26 Región Pánuco. La zona de estudio se ubica en la primera región mencionada (INEGI, 2000).

Región Hidrológica (RH-27) Tuxpan-Nautla.

Se extiende en la Planicie Costera del Golfo Norte, y parte de la vertiente este de la Sierra Madre Oriental; ocupa casi toda la parte norte del estado de Puebla (24.56% de la superficie de la entidad). La región se extiende hasta los estados de Veracruz-Llave e Hidalgo. La entidad está representada por las cuencas (A), Río Nautla; (B), Río Tecolutla; (C), Río Cazonas y (D), Río Tuxpan (INEGI, 2000).

La zona donde se ubican los embalses y su zona de influencia se encuentra en la región hidrológica RH27 B, Tuxpan-Nautla, Subcuenca del Río Tecolutla.

6.4.1 Hidrología Superficial

El coeficiente de escurrimiento alcanza en general, valores altos, dadas las abruptas pendientes y la creciente deforestación; fluctúa del 10 a más del 30% para la mayor parte de la región. Estas condiciones propician un escurrimiento anual en esta área de aproximadamente $6\,697\text{ mm}^3$, que es casi 60% del escurrimiento virgen de toda la entidad. De este volumen, $4\,333\text{ mm}^3$ anuales fluyen al estado de Veracruz-Llave, aunque se reciben aportaciones de Tlaxcala e Hidalgo, por 423 mm^3 .

6.4.1.1 Principales Ríos

Chignahuapan es recorrido por ríos pertenecientes a la subcuenca del Tecolutla; uno de sus principales formadores, el Ajajalpa, corre por el valle intermontano por más de 25 kilómetros, a su paso, recibe numerosos afluentes que bañan el norte y sur destacando el Chignahuapan y la Magdalena, San Pedro, Arroyo Hondo, Río Blanco, entre otros .

Los arroyos que se dirigen hacia el norte, se concentran formando el Atotonilco, afluente del Necaxa que a su vez es tributario del Tecolutla.



También cuenta con numerosos arroyos intermitentes que se originan en las distintas formaciones montañosas del interior y se unen en los ríos mencionados (Secretaría de Gobernación, 1988).

Cerca de la zona de estudio se ubica el río Ajajalpa a unos 0.5 kilómetros del embalse Lagarto dirección norte, y el cual en algunos puntos puede ser desviado para que sus aguas recarguen los embalses.

6.4.1.2 Embalses y cuerpos de agua

El municipio cuenta con 160 cuerpos de agua entre lagunas y bordos, destacando los siguientes: la laguna de Ajolotla, la más grande del municipio, al oriente del poblado de Ajolotla; la laguna que se localiza al oriente de Chignahuapan; los bordos del Rodeo, la Primavera, San Francisco y el Lagarto en los alrededores del Villa Cuauhtémoc; los bordos de San Francisco al noroeste de Cuauteloluco, y el ubicado al sur de Cruz Colorada (Secretaría de Gobernación, 1988; INEGI, 2006).

6.4.2 Hidrología Subterránea

Las fuentes de agua subterránea comprenden el agua que se infiltra y se almacena en los materiales porosos y permeables del subsuelo. El agua subterránea puede circular lentamente a través de estos materiales y eventualmente, aflorar a la superficie en forma de manantiales. El municipio cuenta con 6 pozos profundos (INEGI, 1995).

6.5. Vegetación

6.5.1 Tipos de vegetación

De acuerdo a la clasificación de Rzedowski (1983), el área de estudio se encuentra en la Provincia Florística de las Serranías Meridionales, pertenecientes a la Región Mesoamericana de Montaña. Esta región se considera como el límite florístico entre el Reino Neártico y Neotropical.

Esta clasificación, considera que la mayor parte del país está claramente determinada por elementos neotropicales, sin embargo en las zonas de montaña la demarcación es más confusa ya que la composición florística de estas zonas de montaña que si bien el elemento boreal en algunos sitios o comunidades vegetales predomina ligeramente sobre el meridional (de afinidades andinas), en otros lugares por el contrario, es impracticable trazar una demarcación entre los reinos Neotropical y Holártico (Rzedowski, 1983).

Lo anterior sucede con las zonas que se encuentran en la Sierra Madre Oriental y Occidental, así como en el Eje Neovolcánico.

La zona de estudio se encuentra ubicada en la Provincia de las Serranías Meridionales, la cual coincide con la Provincia Fisiográfica del Eje Neovolcánico Transversal.

En el área donde se ubican los embalses se pudo observar que se encuentra muy poca o nula vegetación reportada en bibliografía, ya que las tierras se encuentran totalmente destinadas al uso agrícola y ganadero, el tipo de vegetación principal es el pastizal inducido.



6.5.1.1 Principales asociaciones

El municipio cuenta con bosques de coníferas, principalmente de pinos, asociaciones boscosas de pino-encino y oyamel, asociados en ocasiones a vegetación secundaria arbustiva; cuenta con especies tales como ocote (*Pinus teocote*), trompillo (*Pinus oocarpa*), pino lacio (*Pinus patula.*), aile (*Alnus firmifolia*), modroño (*Arbustus glandulosa*), encino (*Quercus sp.*), tesmilillo, jarilla, laurelillo y oyamel (*Abies religiosa*).

6.5.2 Vegetación Acuática

6.5.2.1 Fitoplancton

Debido a la falta de estudios para la zona, se ha tomado como referencia los registros de fitoplancton en bordos similares en el estado de Puebla, en los cuales se han identificado algunos géneros registrados también en este estudio. Para tener mayor detalle de las especies reportadas en dichos trabajos observe el **Cuadro 1** en el **Anexo 2**.

6.5.3 Uso de suelo

Con base en INEGI (2000) los tipos de vegetación que se presentan el área de influencia del proyecto, son los siguientes:

- a) Agricultura de Riego
- b) Bosque de Pino, Encino y Oyamel

Cabe mencionar que la vegetación original ha sido desplazada desde hace varios años por las actividades antropogénicas, lo cual ha repercutido en que amplias zonas no presenten vegetación. De esta forma se han desplazado los ecosistemas naturales por pastizales y zonas agrícolas, sin dejar de lado la continua deforestación a la que ha sido sometida la región.

6.5.3.1 Principales cultivos agrícolas

La mayor parte de lo obtenido en la cosecha es utilizada para el consumo de las familias, de entre los principales cultivos se encuentran los siguientes:



Especie	Nombre Local	Utilidad
Agricultura		
<i>Zea mays</i>	maíz	comestible
<i>Phaseolus vulgaris</i>	fríjol	comestible
<i>Medicago sativa</i>	alfalfa	comestible
<i>Pirus malus</i>	manzana	comestible
<i>Persea americana</i>	aguacate	comestible
Pastizal		
<i>Panicum barbinode</i>	paral	forraje
<i>Pennisetum clandestinum</i>	kikuyu	forraje
<i>Cynodon plectostachyum</i>	estrella mejorada	forraje
<i>Digitaria decumbens</i>	pangola	forraje
<i>Paspalum conjugatum</i>	grama	forraje
Bosque		
<i>Pinus pseudostrobus</i>	ocote	madera
<i>Pinus patula</i>	pino colorado	madera
<i>Quercus oleoides</i>	encino	madera
<i>Abies religiosa</i>	oyamel	madera
<i>Liquidambar styraciflua</i>	ocozote	madera
Fuente: INEGI, 2006. Anuario Estadístico de Puebla *Solo se mencionan las especies útiles comercialmente		

6.6. Fauna

Los cambios geológicos, climáticos y la vegetación que tuvo lugar durante el pleistoceno, pudieron causar el movimiento y la concentración de fauna en ambientes templados de la Cordillera Neovolcánica, generando así diversidad de especies características de regiones Neotropical y Neártica (Secretaría de Gobernación, 1988).

La zona del proyecto y área de influencia se encuentran localizadas en la Región Zoográfica Neártica, en la Provincia Biótica Hidalguense (Smith, 1940).

Esta provincia se encuentra en una zona de transición entre la región Neártica y Neotropical; razón por la cual Álvarez y La Chica (1974, citados en Ceballos y Galindo, 1984) consideran que la distribución de los mamíferos en el Eje Neovolcánico, el 32% de las familias presentan afinidades de tipo neártico, el 32% afinidades neotropicales y el 36% son compartidas de las dos regiones.

En el área de estudio y sus alrededores se observó fauna ligada a vegetación secundaria que es la dominante, por lo que dicha fauna está adaptada a las condiciones prevalecientes. En términos generales, la fauna característica del área de estudio ha sido desplazada a otros hábitats debido al continuo proceso de fragmentación por lo que sus poblaciones en la mayor parte de la zona se encuentran disminuídas. Entre la fauna presente cerca de los cuerpos de agua se encuentran tlacuaches (*Didelphis sp.*), musarañas (*Sorex sp.*), murciélagos (varias especies), armadillos (*Dasypus novemcinctus*), conejos (*Sylvilagus sp.*), liebres (*Lepus sp.*), ratones (*Peromyscus sp.*), ardillas (*Sciurus sp.*, *Spermophilus sp.*), diversos carnívoros y venados (*Odocoileus sp.*). No se encontraron especies que tengan algún status de protección, de acuerdo con la NOM-059-ECOL-2001.



El grupo de las aves se encuentra bien representado, con ejemplares de las familias Ardeidae, Phalaropodidae, Tyranhidae, Trochilidae, Cathartidae, Columbidae, Picidae, Tytonodae, Falconidae y Caprimulgidae.

En cuanto a la herpetofauna destacan por su abundancia, sobre todo en las partes altas, los reptiles de la familia Iguanidae (lagartijas) y la familia Crotalidae (serpientes). Dentro del grupo de los anfibios se encuentran *Rana sp.* (rana) y *Ambystoma sp.* (ajolote).

En el **Anexo 2 Cuadro 2** se presenta una lista de las especies reportadas para la zona.

6.7. MEDIO SOCIOECONÓMICO

6.7.1 Población

La siguiente tabla muestra la composición de la población:

Población Total			Edad Media (sic)		
Total	Hombres	Mujeres	Promedio	Hombres	Mujeres
51 536	25 023	26 513	21	20	22

Fuente: INEGI, 2006. Anuario Estadístico de Puebla

El municipio tiene 159 localidades, todas con menos de 500 habitantes, la mayoría de ellas registra de 1 a 49 habitantes.

6.7.2 Población económicamente activa

La población económicamente activa en el municipio en el año 2005 fue 4 315 habitantes (7.5%). Por lo que se refiere a su distribución por sectores, la siguiente tabla indica las actividades a las cuales se dedica la población:

Sector	Actividades	% población
Primario	Agricultura, ganadería, caza y pesca	57.9
Secundario	Minería, extracción de petróleo y gas, industria manufacturera, electricidad, agua y construcción	17.3
Terciario	Comercio, transporte y comunicaciones, servicios financieros, de administración pública y defensa, comunales y sociales, profesionales y técnicos, restaurantes y hoteles, personales de mantenimiento y otros.	22.1

Fuente: INEGI, 2006. Anuario Estadístico de Puebla



6.7.3 Vivienda y Servicios

El municipio cuenta con 11 596 viviendas, 11 543 son propias; de mayor a menor proporción están hechas de cemento, tierra y madera/mosaico u otro material.

La siguiente tabla muestra el tipo de vivienda y los servicios con los que cuentan:

Tipo de vivienda		Viviendas con	
	%		%
Casa sola	94.10	Energía eléctrica	96.12
Depto. o vecindad	3.03	Agua de la red	82.98
Móvil	0.008	Drenaje	69.67
Refugio	0	Servicio Sanitario	89.69
No especificado	2.7		

Fuente: INEGI, 2006. Anuario Estadístico de Puebla

El municipio tiene 68 sistemas de agua entubada, las tomas instaladas son las correspondientes a domésticas, comerciales e industriales, distribuidas en 64 localidades. 18 localidades cuentan con servicio de drenaje y alcantarillado.

6.7.4 Fuentes de abastecimiento de agua

Las formas por las cual el municipio y los que están a su alrededor abastecen de agua a la población y el volumen que representa, se muestran en la siguiente tabla:

Municipio	Fuente de abastecimiento de agua potable por tipo			Volumen promedio diario de extracción (miles de m ³ /día)		
	Pozo Profundo	Manantial	Otro	Pozo Profundo	Manantial	Otro
Chignahuapan	6	157	3	0.89	5.92	0.35
Zacatlán	3	72	-	0.13	16.21	-
Aquixtla	1	56	-	0.89	12.70	-
Tetela de Ocampo	0	84	1	0	3.96	0.39

Fuente: INEGI, 2006. Anuario Estadístico de Puebla

6.7.5 Tenencia de la tierra

En cuanto a la tenencia de la tierra cuenta con 41 propiedades sociales, entre ejidos y comunidades agrarias que representan 48 517.650 hectáreas, las cuales están destinadas (y sus combinaciones) a la agricultura, ganadería, forestal y recolección (INEGI, 2006).

6.7.6 Grupos étnicos

Existen grupos de origen náhuatl, totonaca y mixteco.



De acuerdo a los resultados que presenta el II Censo de Población y Vivienda del 2005, en el municipio habitan un total de 343 personas que hablan alguna lengua indígena.

6.7.8 Marco económico

6.7.8.1 Actividades Económicas

Agricultura: se cultiva principalmente maíz, haba, avena, cacahuate, arvejón y trigo; con relación a la fruticultura encontramos manzana y durazno, y en cuanto a las hortalizas tenemos: chícharo, papa, alcachofa y otros como alfalfa y cebada.

Ganadería: existe diversidad de ganado, como bovino para carne y leche, porcino, caprino, ovino, equino, además se cuenta con asnal, mular, ganso, paloma y por último mencionaremos la crianza de aves de huevo.

Pesca: en la laguna de Ajolotla y Almota, además de distintos bordos del municipio, existe cría de especies nativas como carpa, cangrejo, rana y algunas introducidas como la carpa, lobina, trucha arcoíris y carpa de Israel.

Apicultura: esta actividad se viene desarrollando satisfactoriamente, logrando una producción de miel de excelentes propiedades nutricionales.

Industria: el municipio cuenta con fabricación de alimentos, industria textil, fabricación de prendas de vestir, calzado e industria del cuero, igualmente se ha desarrollado la industria y producción de esferas.

Minería: entre sus principales yacimientos se extrae ocre, tepeltxy-arcilla.

Forestal: cuenta con importante zona boscosa en donde se explota madera utilizada para la fabricación de muebles rústicos, así como para la construcción. Las especies que predominan son distintos tipos de pinos como el oyamel y el encino. Cabe señalar que el municipio figura entre los primeros lugares como productor de madera a nivel estatal.

Turismo: entre sus principales atractivos está la iglesia de Nuestra Señora de la Salud, en la que se venera un hongo petrificado hallado en 1880; ermita donde se venera a la virgen del Ocote. El salto de Quetzalapan, caída de agua de 200 metros que forma un manantial sulfurosa de aguas calientes. Balnearios de baños calientes, San Antonio y Los Azufres; manantial las Almueras. Caza de pato y conejo. También se llevan a cabo la feria regional con exposición agrícola-ganadera-industrial en la última semana de mayo y la feria de la esfera en el mes de octubre.

6.7.9 Comunicaciones y transporte

El municipio se comunica por la carretera Puebla-Apizaco y por la autopista Chignahuapan-Tejocotal, Tulancingo-México. Igualmente por la carretera federal No. 140 (México-Veracruz), por la carretera federal No. 119, que entra al estado de Puebla por el municipio de Tlaxco, Tlaxcala a una distancia de 110 Km de la ciudad de Puebla (INEGI, 2006; Calleros y Romo, 2004).



7. IMPACTOS AMBIENTALES GENERADOS

7.1. Lista de verificación (checklist) de acuerdo a Leopold, 1971.

La lista de acciones que incluye el desarrollo del proyecto se indica en la siguiente tabla:

Lista de verificación de las acciones del proyecto		
Etapa	Acciones	Descripción
Preparación del Sitio	Selección del sitio	Elección la zona de ubicación del cuerpo y el área que ocupará
	Desmante	Eliminación de la cobertura arbórea del área
	Despalme	Eliminación de la cobertura vegetal del área
	Transporte de material y operación de maquinaria	Uso de maquinaria que transporta el materia para la construcción de la cortina y además de la necesaria para la excavación del terreno, presencia de personal
	Contratación de mano de obra	Generación de empleos al contratar personal para realizar la construcción del bordo
Construcción	Excavación	Retiro del suelo en el área que ocupará el bordo
	Construcción de dique y canales de irrigación	Construcción de la cortina de mampostería y excavación de los canales que conectarán a otros cuerpos al embalse
	Manejo de residuos domésticos	Recolección y disposición en contenedores apropiados de la basura generada por la construcción y personal
	Manejo y disposición de residuos peligrosos	Disposición de los residuos generados por las máquinas utilizadas en la obra
	Uso de material extraído	Utilización de la tierra extraída del área en la construcción de los bordos de contención del embalse
	Inundación del bordo	Llenado de agua a través de los canales conectados de otros sistemas
Operación y Mantenimiento	Aprovechamiento del embalse	Utilización del agua del embalse para riego agrícola, además de abrevaderos para ganado, sitios de recreación y realizar otras actividades como piscicultura
	Monitoreo y control de volúmenes	Revisión del volumen presente para cierre o apertura de la compuerta cuando así se requiera
	Vaciado	Apertura de la compuerta para que el bordo se vacíe
	Desazolve y/o Dragado	Remoción de sedimentos en el fondo del cuerpo para proporcionar una mayor área de captación
	Llenado	Inundación del sistema después del desazolve y/o dragado
	Contratación de mano de obra	Requerimiento de personal para realizar las obras de mantenimiento del cuerpo de agua
	Operación de maquinaria	Transito de maquinaria en el área para remover sedimentos y restauración de bordos de contención



Los elementos ambientales se agrupan en los siguientes componentes: Clima, Suelo, Hidrología, Flora (terrestre y acuática), Fauna (terrestre y acuática), Paisaje, Población, Empleo, Recreación, Economía, Calidad y estilo de vida y Servicios públicos.

Los elementos del ambiente considerados fueron los siguientes:

Lista de verificación de los elementos ambientales		
Medio	Componentes	Elementos
Medio Físico	Clima	Microclima Atmósfera
	Suelo	Características físicas y químicas Erosión Uso Actual
	Hidrología	a)Superficial: Volumen de ríos y arroyos Flujo laminar Cuerpos de agua asociados Calidad del agua b)Subterránea: Profundidad Calidad del agua
Medio Biológico	Flora	a)Terrestre: Composición y diversidad Especies en estatus de protección Especies de interés comercial b)Acuática: Composición y diversidad Especies en estatus de protección Especies de interés comercial
	Fauna	a)Terrestre: Composición y diversidad Especies en estatus de protección Especies de interés comercial b)Acuática: Composición y diversidad Especies en estatus de protección Especies de interés comercial
	Paisaje	Vista panorámica Relieve
	Hábitat	
Aspectos Socioeconómicos	Población	
	Empleo	
	Recreación	
	Economía	
	Calidad y estilo de vida	
	Servicios públicos	



7.2. Matriz de identificación de Leopold modificada para la identificación de los impactos en el sistema ambiental.

De acuerdo a la lista de los componentes ambientales que se considera se vieron afectados en las distintas etapas de la construcción de los embalses, se obtuvo la siguiente matriz, que indica la interacción de estos y el tipo de impacto generado.

			SIMBOLOGIA															
			Etapas del Proyecto															
			Preparación del Sitio				Construcción				Operación y Mantenimiento							
MED. SOCIOECONOMICA	MED. BIOTICA	MED. FISICA	Atmosfera	Suelo	Hidrologia	Flora	Fauna	Paisaje	Habitat	Poblacion	Empleo	Recreacion	Economia	Calidad y estilo de vida	Servicios publicos			
			Sistema de riego	Carretera	Canal	Impacto de riego y drenaje	Construcción de obra	Excavación	Construcción de estructuras	Almacenamiento de sedimentos	Impacto de riego y drenaje	Uso del terreno	Impacto de riego y drenaje	Uso del terreno	Uso del terreno	Uso del terreno	Uso del terreno	Uso del terreno
MED. FISICA	Clima	Microclima			a													
		Atmósfera			a			a									a	
	Suelo	Características físicas y químicas			a													
		Erosión																
	Hidrología	Superficial	Uso Actual					a										
			Volumen de ríos y arroyos															
		Flujo laminar						a										
		Subterránea	Cuerpos de agua asociados															
			Calidad del agua															
			Volumen Profundidad															
Calidad del agua																		
MED. BIOTICA	Flora	Terrestre	Composición y diversidad			a												
			Especies en estatus de protección															
			Especies de interés comercial															
		Acuática	Composición y diversidad															
			Especies en estatus de protección															
			Especies de interés comercial															
	Fauna	Terrestre	Composición y diversidad			a												
			Especies en estatus de protección															
			Especies de interés comercial															
		Acuática	Composición y diversidad															
			Especies en estatus de protección															
			Especies de interés comercial															
Paisaje	Vista panorámica																	
	Relieve																	
MED. SOCIOECONOMICA	Habitat	Población																
		Empleo																
		Recreación																
		Economía																
		Calidad y estilo de vida																
		Servicios públicos																



Es importante aclarar que la construcción de este tipo de matrices a menudo incluye valoraciones numéricas que indican la magnitud del impacto como lo describen autores como Gómez-Orea (1999), sin embargo y para efectos del estudio, en este caso sólo se incluyeron los tipos de impactos con valoraciones cualitativas.

7.3. Construcción del escenario modificado por la construcción de los embalses.

A continuación se presenta la descripción de las características de los elementos ambientales al ser modificados por el proyecto:

Componente Ambiental	Escenario Ambiental Previo	Escenario Ambiental Modificado por la construcción de los embalses
Microclima	<p>Debido a la casi nula cobertura vegetal natural y a la presencia temporal de los cultivos agrícolas, la temperatura del aire se eleva en determinadas horas del día, así como la del suelo, puesto que este último en algunas épocas del año permanece sin ningún tipo de cultivo.</p> <p>Las partículas suspendidas están determinadas por el acarreo por vientos y por algunas emisiones vehiculares, aunque en este caso son muy esporádicas, ya que el flujo de vehículos es escaso.</p>	<p>La construcción de los bordos puede influir en la humedad del aire y la temperatura, tanto del aire como del suelo de la zona, debido a que, por una parte, al realizar las actividades de despalme se elimina la poca cubierta vegetal, alterando las condiciones mas o menos constantes de humedad y temperatura a condiciones menos estables, dependiendo de las variaciones diarias y estacionales de insolación y lluvias. Al terminar la construcción de los bordos, la permanencia del agua favorece la humedad del suelo y aire regulando su temperatura y facilitando el crecimiento de vegetación, con lo que se permite que el suelo no se erosione por vientos o lluvia. Estas afectaciones serán sólo en el área más cercana a la obra y de tipo permanente.</p> <p>Al mismo tiempo, durante la etapa de preparación del sitio, construcción y ocasionalmente durante la operación y mantenimiento, se generará el aumento de las partículas suspendidas por las actividades de la maquinaria; sin embargo, la calidad del aire no se verá afectada de manera significativa por el escaso número maquinaria que se utiliza. También estas actividades propician un aumento del ruido ambiente en la zona. Estas afectaciones únicamente se observan a nivel local a cuando más 50 metros del sitio de las obras.</p>
Suelo	<p>El uso de suelo actual de la zona de estudio es de tipo agrícola y pastizal inducido, en menor grado al uso ganadero, esto ha generado la alteración de las características originales del suelo debido a la eliminación de la cobertura vegetal, lo que en determinada época del año favorece los procesos de erosión hídrica.</p>	<p>Si bien el área para uso agrícola se ve disminuida, la disposición del agua para riego origina más beneficios al contar con éste recurso de manera controlada y por mayor tiempo. El uso de maquinaria para la construcción y mantenimiento sólo afecta de manera puntual y temporal, en el área de construcción y cercana a los embalses. Al realizar la extracción del material se modifican las características físicas y químicas del suelo en el área del proyecto. En contraste se generan impactos benéficos como son el crecimiento de vegetación herbácea cerca del cuerpo de agua por el aumento de la humedad del suelo que lo rodea.</p>



Hidrología	<p>Cerca de los sistemas se encuentra el río Ajajalpa el cual presenta distintos niveles de agua en función de la época del año. Al mismo tiempo, hay otros bordos cercanos a estos cuerpos a los que se conectan por canales. Este conjunto de bordos pueden influenciar desde antes de la construcción de éstos embalses, en la cantidad de agua que llega al río mencionado.</p>	<p>Las modificaciones a la hidrología del lugar se dan en el sentido de dirigir el agua de lluvia y de escurrimientos cercanos a un punto en particular, en este caso a los embalses presentes en la zona; los escurrimientos naturales pueden verse afectados por este hecho y por la construcción de canales de irrigación que conectan a los embalses. Las afectaciones son permanentes y pueden relacionarse también con la eliminación de la cubierta vegetal, ya que las características del agua que llega a las corrientes naturales pueden cambiar en función de este hecho. Estas afectaciones recaen en la zona de influencia de los cuerpos y son de tipo permanente.</p>
Vegetación Terrestre	<p>La vegetación que se encuentra en la zona esta conformada principalmente por elementos presentes en zonas de cultivo, seguida de pastizal y vegetación secundaria (estrato herbáceo y arbustivo esencialmente). Cabe mencionar que el área de estudio y zona de influencia han sido perturbadas con anterioridad a la construcción de los bordos. No se encontró ninguna especie de flora bajo el régimen de protección.</p>	<p>Las especies que habitan en el área de ubicación de los embalses (en su mayoría son cultivos agrícolas, y muy pocas de tipo secundaria, entre herbáceas y arbustivas) fueron removidas totalmente, causando un daño irreversible, aunque hay que tomar en cuenta que la zona ya ha sido impactada previamente por el cambio de uso de suelo. Sin embargo, la presencia del agua en los cuerpos construidos beneficia a la vegetación que los rodea, ya que favorece su crecimiento por la humedad que el recurso proporciona al suelo.</p>
Vegetación acuática	<p>Debido a que en la zona de estudio se ubican varios embalses, se pudo observar vegetación acuática (hidrófitas y crecimientos fitoplanctónicos) en ellos y en sus alrededores mayores crecimientos de vegetación secundaria.</p>	<p>Este tipo de vegetación se beneficia al crear más espacios para su desarrollo, particularmente especies endémicas o amenazadas. Sólo son afectadas con la disminución del volumen de agua a causa de la apertura de las compuertas, por la evaporación y la época de seca, esto de forma temporal cada año.</p>



Fauna Terrestre	<p>Al ser deforestada la vegetación original de la región para abrir zonas agrícolas se presentó un desplazamiento de las poblaciones de fauna silvestre hacia aquellas zonas más conservadas, que en este caso se encuentran al sur del municipio. En este caso, el número de especies observadas durante el trabajo de campo en el sitio fue muy reducido. No se encontró ninguna especie de fauna bajo el régimen de protección.</p>	<p>Las especies que habitan o se alimentan en esa zona se verán afectadas por las obras de construcción, ya sea por que sean removidas o dañadas físicamente; esta afectación será solo en el área de ubicación de los cuerpos y de tipo permanente, puesto que este espacio ya no se podrá recuperar. Este impacto puede ser apenas perceptible, ya que los terrenos son en si, de uso agrícola. No obstante, la fauna podrá contar con agua durante un mayor tiempo, aún en la época de seca y podrá disponer de la vegetación que crece alrededor de los sistemas.</p>
Fauna Acuática	<p>En los recorridos por diversos cuerpos de agua de la zona se observaron principalmente aves migratorias, adicionalmente en ellos se encuentran peces como la trucha.</p>	<p>La creación de este tipo de cuerpos de agua representa nuevos hábitats que ocupar para los diversos organismos acuáticos, como algunas aves y reptiles. Los beneficios son a largo plazo y serán influenciados por el mantenimiento que se les de a los embalses.</p>
Paisaje	<p>La deforestación de la vegetación natural a expensas de las actividades agrícolas han dado como resultado que en la mayor parte de la región sólo puedan observarse campos agrícolas</p>	<p>Los bordos por si mismos dan una mejor vista panorámica a los habitantes de la zona, misma que está considerablemente deforestada.</p>
Aspectos Socioeconómicos	<p>La gente de las comunidades cercanas esta dedicada casi en su totalidad a las actividades del campo y ganadería, por lo que los impactos en este sentido son benéficos para la población, pues la creación de este tipo de sistemas ofrece mejores rendimientos agrícolas y agua para el ganado, por lo que se favorece una mejora en su calidad de vida.</p>	<p>La construcción de estos cuerpos de agua, permite un impulso a la actividad agrícola de la zona y en consecuencia un mejoramiento en la calidad de vida, particularmente en la alimentación y comercio; por lo que los efectos generados en este sentido son principalmente de tipo benéfico.</p>

También para este apartado es importante aclarar que la integración de los escenarios modificados constituyen por sí mismos resultados de la evaluación a la vez que proceden de un análisis de las condiciones evaluadas.

**7.4. Descripción de los impactos al sistema ambiental por Componente y Acción.**

A continuación se describen los impactos generados en cada etapa y acción del proyecto por componente ambiental:

Componente Ambiental	Etapas y Acción del Proyecto	Tipo de Imp.	Descripción del Impacto	Duración	Importancia	Reversibilidad
Clima/ Microclima	Preparación del sitio/ Despalme	a	La eliminación de la cubierta vegetal afecta la filtración de agua y por ende la humedad del área. La modificación del microclima se dará por efecto del cambio de las condiciones naturales del sitio.	Corto Plazo	Local	No Reversible
	Operación y Mtto./ Aprovech. del emb.	b	La existencia de los cuerpos favorece la humedad del aire y del suelo, ayudando al equilibrio de las condiciones climáticas habituales de la zona. Este efecto es permanente	Largo Plazo	Local	No reversible
Clima /Atmosfera	Preparación del sitio/ Despalme	a	La generación de ruido y partículas suspendidas por efecto de la maquinaria es inevitable, de tal forma que se consideraron medidas de mitigación durante este proceso.	Corto Plazo	Puntual	Reversible
	Construcción/ Excavación	a	Se consideran los mismos términos que el párrafo anterior.	Corto Plazo	Puntual	Reversible
	Operación y Mtto./ Operación de maquinaria	a	Se consideran los mismos términos que el párrafo anterior.	Corto Plazo	Puntual	Reversible
Suelo/Características físicas y químicas	Preparación del sitio/ Despalme	a	Se considera que el suelo se verá afectado por la operación de maquinaria y por la eliminación de la cubierta vegetal, esto causará que el suelo quede expuesto; al ya no contar con la vegetación se favorece el deslave de la superficie por los vientos y agua de lluvia.	Largo Plazo	Puntual	No reversible



Suelo/Usos Actuales	Operación y Mnto./ Aprovech. de emb.	b	La humedad que proporcionan los sistemas favorece la proliferación y permanencia de la vegetación, que crecerá cerca de los embalses, mejorando en consecuencia, las características físicas del suelo. Este impacto será de tipo permanente y estará en función de la temporada de lluvia y volumen de agua.	Largo Plazo	Puntual	Reversible
	Construcción/ Excavación	a	Hasta el momento el uso potencial del suelo es agrícola, con la construcción de los sistemas se pierde permanentemente la superficie para este uso.	Largo Plazo	Puntual	Reversible
Hidrología/Superficial/ Volumen de ríos y arroyos	Construcción/ Inundación del bordo	a	La desviación de los escurrimientos superficiales hacia los cuerpos puede provocar que no lleguen los mismos niveles de agua a las corrientes cercanas o por el contrario, que por no tener cobertura vegetal las aguas que lleguen a las corrientes lleguen cargadas de materia y/o partículas recogidas a su paso. Estos impactos serán permanentes en cuanto al volumen de agua y de tipo temporal en cuanto a la cantidad de material arrastrado.	Largo Plazo	Local	No reversible
	Construcción/ Construcción de dique y	a	La presencia de los canales que conectan a los embalses unos con otros y recorren distancias considerables en algunos casos, pueden afectar el flujo de los escurrimientos superficiales, haciendo que se desvíen o ya no lleguen a los ríos o arroyos de la zona.	Largo Plazo	Local	No reversible
Hidrología/Superficial/ Cuerpos de agua asociados	Operación y Mnto./ Monitoreo y control de volumen	b	Esta operación evitará que los niveles de agua sean excesivos, causando un desbordamiento que pudiera afectar a los campos de cultivo y a las comunidades cercanas; asimismo permitirá	Mediano Plazo	Puntual	Reversible



			que el agua no se estanque y mantenga una circulación más o menos constante. Esta acción debe ser permanente para evitar posibles desbordamientos			
Hidrología/Superficial/ Calidad del agua	Operación y Mtto./Vaciado	a	Esta acción puede modificar la calidad del agua superficial por la mezcla del agua con los sedimentos removidos, también afectará a los cuerpos de agua asociados.	Corto Plazo	Local	No Reversible
Hidrología/Subterránea/ Volumen	Construcción/ Inundación del bordo	b	El hecho de que el agua permanezca concentrada en un punto favorece la infiltración de ésta hacia el subsuelo, sobre todo en los periodos de mayor inundación del sistema. Esto es de forma temporal, ya que los niveles de agua están condicionados a las época de lluvia y seca así como al uso del agua	Corto Plazo	Puntual	Reversible
Flora/Terrestre/ Composición y diversidad	Preparación del sitio/ Despalme	a	El uso de maquinaria, material de construcción así como la presencia humana, conforman un ambiente que posiblemente repercutirá en la distribución y/o abundancia de algunas especies de la flora cercana a los cuerpos. Esto es de tipo temporal, pues se considera que cerca de los cuerpos la vegetación es de tipo silvestre y no se quitara cubierta vegetal innecesaria.	Corto Plazo	Puntual	No Reversible
Flora/Acuática/ Composición y Diversidad	Construcción/ Inundación del bordo	b	Desde que el bordo comienza a inundarse, aumentan los espacios de crecimiento para estos organismos, beneficiándolos de forma permanente	Largo Plazo	Local	Reversible
	Operación y Mtto./ Aprovech. del emb.	P	La flora tiene en los embalses un nuevo medio para habitar, el cual le proporciona las condiciones adecuadas para su supervivencia	Largo Plazo	Local	Reversibles



Flora/Acuática/ Especies de interés comercial	Operación y Mtto./ Vaciado	a	La disminución del volumen de agua vulnera la presencia de algunas de las especies para las cuales la existencia de agua es fundamental para su supervivencia. Este impacto es temporal	Corto Plazo	Puntual	Reversible
	Operación y Mtto./ Desazolve y/o Dragado	a	Al eliminar el suelo del fondo del cuerpo cuando este seco o con poco volumen, se puede afectar a alguna de las hidrófitas presentes al dañar el sustrato. Este impacto es temporal, pues pasado algún tiempo las hidrófitas pueden volver a colonizar los sistemas.	Corto Plazo	Puntual	Reversible
	Operación y Mtto./ Aprovech. del emb.	b	Algunas de las especies pueden ser aprovechadas para obtener otros productos, tal es el caso del tule, que puede ser utilizado como elemento de construcción, como fibra de amarre o de uso artesanal.	Largo Plazo	Local	Reversible
Fauna/Terrestre/ Composición y Diversidad	Preparación del sitio/ Despalme	a	La eliminación de la cubierta vegetal puede afectar la zona de alimentación y/o de refugio de la fauna cercana el área de construcción de los bordos.	Largo Plazo	Puntual	No Reversible
	Construcción/ Construcción de dique y ...	a	La presencia de estos sistemas puede representar una barrera para el flujo de la fauna, aunque se considera un impacto no significativo dado que los canales y las compuertas no son de gran tamaño.	Mediano Plazo	Local	No Reversible
	Operación y Mtto./ Aprovech. del emb	b	La presencia de estos cuerpos beneficia tanto a la fauna silvestre como al ganado, ya que estos son usados como abrevaderos, además de favorecer la cubierta vegetal cercana. Este beneficio es permanente y esta en función de la época de lluvia y seca.	Largo Plazo	Local	Reversible



Fauna/ Acuática/ Composición y diversidad	Operación y Mtto./ Aprovech. del emb.	P	La presencia de los embalses aumenta los sitios donde pueden habitar diversos organismos acuáticos silvestres, además pueden ser utilizados para la acuicultura y tener beneficios de forma permanente.	Mediano Plazo	Puntual	No Reversibles
Fauna/ Acuática/ Especies de interés comercial	Operación y Mtto./ Aprovech. del emb.	b	Los bordos pueden ser utilizados, además de para riego agrícola, también como sitios donde se introduzcan peces para venta y autoconsumo, en este caso la carpa barrigona y de Israel.	Largo Plazo	Local	Reversible
Paisaje/ Vista panorámica	Preparación del sitio/ Despalme	a	En esta etapa el paisaje puede parecer poco atractivo a simple vista al observarse sin cubierta vegetal, es de tipo temporal, ya que con el tiempo la vegetación regresara a poblar el campo.	Corto Plazo	Puntual	Reversible
	Construcción/ Inundación del bordo	b	El llenado de los cuerpos de agua mejorará la apariencia de la zona excavada y proporcionara de forma permanente una mejor imagen de los campos agrícolas.	Largo Plazo	Local	Reversible
Paisaje/ Relieve	Construcción/ Excavación	a	Esta acción modificará el plano, por lo que las condiciones de relieve actuales serán modificadas en la zona donde se construya el bordo. Estas afectaciones serán permanentes puesto que el relieve será totalmente modificado en el área.	Largo Plazo	Puntual	No reversible
Hábitat	Construcción/Excava ción	a	La eliminación de la cubierta vegetal puede afectar la zona de alimentación y/o de refugio de la fauna cercana del área de construcción de los bordos.	Largo Plazo	Puntual	No reversible



	Operación y Mtto./ Aprovech. del emb.	P	Desde que los cuerpos comienzan a llenarse, estos sistemas representan nuevos espacios donde habitar, refugio y alimentación para la fauna acuática y terrestre.	Largo Plazo	Puntual	Reversible
Población	Operación y Mtto./ Aprovech. del emb.	P	La gente que se dedica al campo puede obtener mejores cosechas al contar con el agua cuando la necesiten; indirectamente la población en general puede obtener beneficios adicionales, como mejorar su alimentación y disponer de una zona para recreación.	Largo Plazo	Local	Reversibles
Empleo	Preparación del sitio/ Contratación de mano de obra	b	La contratación de personal en las distintas etapas del proyecto, tiene un impacto benéfico no significativo dado que no se requiere de muchas personas para la construcción de los bordos y darles mantenimiento, además de que el empleo es por poco tiempo.	Corto Plazo	Local	Reversible
	Operación y Mtto./ Contratación de mano de obra	b	Se consideran los mismos términos que el punto anterior.	Corto Plazo	Local	Reversible
Recreación	Operación y Mtto./ Aprovech. del emb.	b	Los cuerpos de agua, sobre todo en la época de mayor inundación, pueden ser utilizados como sitios de esparcimiento por la población.	Largo Plazo	Local	Reversible
Economía	Preparación del sitio/ Contratación de mano de obra	b	Los ingresos económicos pueden mejorar con los empleos generados por el establecimiento de esta obra, el beneficio es temporal.	Corto Plazo	Local	Reversible



	Operación y Mtto./ Aprovech. del emb.	B	Debido a que el agua de los embalses es utilizado principalmente en el campo, esto causará un mejoramiento en la agricultura lo que mejora los ingresos de los campesinos. Otro de los usos que pueden darse a los cuerpos es la siembra de peces para autoconsumo.	Largo Plazo	Local	Reversible
Calidad y estilo de vida	Operación y Mtto./ Aprovech. del emb.	b	Por el mejoramiento de la agricultura y la siembra de peces, se pueden obtener recursos extra para la población	Largo Plazo	Local	Reversible
Servicios públicos	Construcción/ Construcción de dique y ...	b	La existencia de estos sistemas, puede mejorar la calidad de vida de las personas, generando alrededor de los cuerpos de agua una mejor infraestructura en beneficio de la población.	Largo Plazo	Local	No Reversible
	Operación y Mtto./ Aprovech. del emb.	p	Se consideran los mismos términos que el punto anterior.	Largo Plazo	Local	No Reversibles



7.5. Evaluación de los impactos

Una vez realizadas la identificación, descripción y caracterización de los impactos ambientales derivados de la construcción de los embalses, se realizó un análisis de orden numérico basado en las frecuencias de los impactos en cada una de las etapas del proyecto.

Derivado de la construcción de los embalses, en sus distintas etapas, se provocaron un total de 38 impactos, de los cuales 17 son adversos y 21 son benéficos.

De los impactos adversos, todos ellos son de tipo no significativos, debido que el área donde se encuentran los embalses ya estaba previamente impactada por el desmonte y despalme para utilizar las tierras con fines agrícolas, además de que se estima que estos sistemas son pequeños en comparación con la construcción de grandes presas. En cuanto a los benéficos, 1 fue de orden significativo, 5 moderadamente significativo y 15 no significativos.

Observando la incidencia de impactos en cada etapa del proyecto, se obtuvieron los siguientes resultados:

Etapas	Impactos Benéficos	Impactos Adversos	Total de Impactos Generados
Preparación del sitio	2	6	8
Construcción	4	7	11
Operación y mantenimiento	15	4	19

Por otro lado, con base en los elementos ambientales afectados por las actividades de la construcción, se tiene que los más impactados son los aspectos del medio físico (9 adversos y 4 benéficos), ya que los impactos generados en el aspecto biológico se ven equilibrados entre los adversos (8) y benéficos (8).

Lo anterior significa que existe una diferencia entre las etapas del proyecto, ya que mientras que en la preparación y la construcción del embalse son predominantemente impactos adversos, la operación será marcadamente benéfica; estas condiciones le confieren a la construcción de este tipo de sistemas amplias posibilidades de viabilidad, estrictamente en términos del impacto ambiental.



7.6. Medidas de prevención y de mitigación de los Impactos Ambientales.

Descripción de medidas de mitigación o correctivas por componente ambiental

Con la finalidad de eliminar y/o reducir el efecto de los impactos adversos provocados al llevar a cabo las actividades que contempla la construcción de embalses, se recomienda aplicar las siguientes medidas de prevención y mitigación para cada etapa.

Acciones de la obra con afectaciones	Elementos del medio afectados	Medida a aplicar	Tipo	Impacto que mitiga	Etapas del proyecto en que aplica
Desmonte y Despalme	Clima, Suelo, Flora y Fauna terrestre, Paisaje	<ul style="list-style-type: none"> Desmonte y despalme sólo en áreas estrictamente necesarias Operar la maquinaria pesada a una velocidad uniforme. 	Re	<ul style="list-style-type: none"> Pérdida excesiva de cubierta vegetal Minimizar la formación de polvos que afecten la calidad del aire en el sitio y la visibilidad. 	P, C, O
			Rd		C, O
Excavación	Clima, Suelo, Paisaje	<ul style="list-style-type: none"> En caso de existir material sobrante producto del movimiento de suelo en el sitio, depositarlo en las áreas degradadas. Prever una compactación máxima del suelo en el área de captación. Disponer de contenedores para recolectar los residuos sólidos que se generen durante la obra y evitar su confinamiento en el sitio. Efectuar las reparaciones técnicas necesarias de la maquinaria fuera del predio. Cambiar el uso de suelo de una superficie mayor a la requerida y retirar cualquier residuo del área. 	Co	<ul style="list-style-type: none"> Contribuir en el establecimiento de la capa orgánica. Evitar la dispersión de partículas por la acción del viento y escurrimientos pluviales, así como agrietamientos y desgaste de los bordos laterales durante su operación que pudieran generar fugas del recurso. Alterar las características del suelo y del agua almacenada en los sistemas. Alterar las características del suelo y del agua almacenada en los sistemas. Contribuir en la minimización del efecto paisajístico. 	C, O
			Rd		P, C
			Pr		P, C
			Rd		C
			Co		C



Construcción de dique y canales de irrigación	Hidrología, Fauna	En caso de observar algún ejemplar, se recomienda moverlo o ahuyentarlo hacia las áreas inmediatas que no se contemple impactar.	Co	<ul style="list-style-type: none"> • Dañar físicamente a alguna especie que se encuentren cerca del área de construcción. 	C, O
Inundación del bordo	Hidrología	<p>Aunque las obras de preparación del terreno afectarán la capacidad del ecosistema local en relación a la recarga de los mantos freáticos, se considera que las áreas aledañas al sitio cumplirán su función como superficies de captación.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Prevenir el derrame del agua mediante la inspección periódica y reparación del bordo cuando así lo requiera. 	Pr	<ul style="list-style-type: none"> • Desperdicio del líquido e inundación de los campos agrícolas aledaños al bordo. 	O
Operación de maquinaria	Clima	<ul style="list-style-type: none"> • Contar con una adecuada disposición de residuos sólidos. • Operar la maquinaria pesada a una velocidad uniforme. 	Pr Rd	<ul style="list-style-type: none"> • Alterar las características del suelo y del agua almacenada en los sistemas. • Minimizar la formación de polvos que afecten la calidad del aire en el sitio y la visibilidad. 	P, C, O P, C, O

Tipo de Medida de Mitigación	Etapa
Pr = preventiva	P = preparación del sitio
Re = remediación	C = construcción
Rh = rehabilitación	O = operación y mantenimiento
Co = compensación	
Rd = reducción	



7.7 Descripción de los impactos por componente ambiental.

Finalmente y con base en la matriz de impactos, se realizó la descripción de los impactos que se presentan en las tablas siguientes; con el formato que se explica a continuación.

- 1.- Impacto.- Inicialmente se indica el impacto; extendiéndose este como el efecto o fenómeno causado por el proyecto sobre el medio.
2. Indicador.- Se menciona el indicador del impacto, es decir el signo o señal de que el efecto ocurre
3. Actividad causante.- Se precisa la actividad a actividades específicas causantes del impacto y la etapa del proyecto en la que se presenta
4. Descripción del impacto.- Se señalan los criterios de descripción del impacto y los elementos para su valoración.

Las descripciones se presentan a continuación:

Componente: Clima
<p>Impacto</p> <ul style="list-style-type: none">• Afectación del área de manera puntual por polvos y gases de combustión
<p>Indicador</p> <ul style="list-style-type: none">• Incremento en la cantidad de partículas suspendidas.
<p>Actividad causante</p> <ul style="list-style-type: none">• Extracción de material• Movimiento de maquinarias• Transporte del material extraído
<p>Elementos ambientales</p> <ul style="list-style-type: none">• Atmósfera
<p>Descripción del impacto</p> <p>Este impacto se genera en la etapa de preparación del sitio y en la de construcción principalmente, ya que en la operación sólo será cuando se le mantenimiento a los embalses, debido a la extracción del suelo; este impacto es poco significativo y de tipo adverso. Se presentará solamente por la combustión de los motores de la maquinaria. El impacto es temporal.</p>

**Componente: Suelo****Impacto**

- Afectación en la permeabilidad del suelo
- Pérdida del suelo

Indicador

- Compactación del suelo
- Disminución del volumen del suelo en el área que ocupan los embalses

Actividad causante

- Despalme
- Extracción del suelo y parte del material geológico

Elementos ambientales

- Características físicas y químicas
- Uso previo (agricultura)

Descripción del impacto

Estos impactos se generan durante la etapa de preparación del sitio y construcción, son de tipo adverso y permanentes. Se generan a partir de la excavación con maquinaria para formar el cuerpo de los bordos.

Componente: Hidrología**Impacto**

- Reducción del volumen de los ríos cercanos

Indicador

- Disminución de la cantidad de agua que llega a los ríos por la desviación de flujos naturales del agua de lluvia hacia los embalses

Actividad causante

- Desviación del agua de lluvia a los bordos

Elementos ambientales

- Volumen de ríos y arroyos
- Flujo laminar

Descripción del impacto

Al detener el flujo del agua pluvial se impide la llegada de esta a los ríos de la zona, lo que genera la disminución del volumen presente en ellos. Este impacto es permanente y se presenta durante la operación y mantenimiento.

Componente: Flora**Impacto**

- Afectación en la distribución de la vegetación terrestre
- Pérdida de vegetación secundaria

Indicador

- Extracción o daño de los individuos
- Afectación a la distribución espacial
- Retiro de vegetación secundaria

Actividad causante

- Despalme
- Movimientos de maquinaria

Elementos ambientales

- Composición y diversidad

Descripción del impacto

Este impacto se presentará como resultado de la operación de la maquinaria y se dará al remover la vegetación presente en el área destinada a los cuerpos de agua. Este impacto se estará dando hacia las comunidades vegetales de tipo secundaria presentes en la zona. Se considera como poco significativo debido a que el área ya se encuentra previamente alterada.

**Componente: Fauna****Impacto**

- Afectación de la fauna que habita en el terreno y en las zonas aledañas

Indicador

- Individuos dañados por accidentes con las máquinas
- Reducción del hábitat

Actividad causante

- Acondicionamiento del área
- Despalme
- Extracción del suelo
- Presencia de maquinaria

Elementos ambientales:

- Composición y diversidad

Descripción del impacto

Esta actividad producirá afectaciones que se espera incidán sobre los individuos de las distintas especies reportadas tanto para la zona que ocupan los bordos como para el área de influencia. El impacto afectará básicamente a los organismos de lento desplazamiento (lagartijas, serpientes, ratones) se verán mayormente afectados al ser ahuyentados y por un posible atropellamiento. Esto mismo ocurrirá cuando se realice el despalme

La extracción de material provocará que organismos reportados para la zona vayan a perder su hábitat. El impacto es negativo poco significativo, se considera a largo plazo y cesara al terminar la etapa de preparación del sitio y construcción.

Para la tercera actividad el impacto es poco significativo ya que al ser los embalses relativamente pequeños, no se requiere de muchas máquinas para excavar.

Componente: Aspectos socioeconómicos**Impacto**

- Incremento de actividad económica
- Incremento en empleos para la población de la zona

Indicador

- Aumento en la derrama económica de la población local

Actividad causante

- Contratación de mano de obra

Elemento ambiental

- Actividades económicas

Descripción del impacto

Al realizar cualquier actividad es necesaria la contratación de mano de obra. La contratación de personal (aunque solo sean pocas personas como en este caso) trae beneficios respecto a las actividades económicas. El impacto es positivo pero poco significativo al no aumentar grandemente la derrama económica, contratar poco personal y ser sólo un empleo temporal.



VII. ANÁLISIS DE RESULTADOS

1. Morfometría

La morfometría de un cuerpo de agua tiene importantes efectos sobre los parámetros físicos, químicos y biológicos que se llevan a cabo dentro de este, además de ser determinante en el control de su comportamiento, considerando los contrastes climáticos y su ubicación (García y Torres, 1995).

Durante el periodo de estudio los embalses presentaron diferentes profundidades que van de 1 a 5 m y de 0 a 3 metros aproximadamente de forma respectiva para cada caso, aunque cabe mencionar que el sistema Cuauhtémoc se secó por completo en el mes de julio. Al iniciarse el muestreo (de diciembre a junio) el área de ambos embalses se va reduciendo de manera gradual, sobre todo a partir de marzo, como resultado de la época de seca y a la ausencia de aportes de otros embalses, así como a la apertura de las compuertas para uso del agua en el riego agrícola. Los dos alcanzaron su máximo nivel en el mes de octubre, producto de la temporada de lluvia en la que se acumula y se utiliza poco volumen en actividades agrícolas, disminuyendo de forma gradual debido a procesos como la evaporación e infiltración. Respecto a esto, Wetzel (1981) menciona que las pérdidas debidas a la evaporación pueden ser modificadas de forma natural por la transpiración de las plantas acuáticas emergentes y las hojas flotantes, dependiendo de las especies presentes y factores como la humedad, la temperatura y la velocidad del viento, sin embargo, en este caso el factor determinante es provocado por la apertura de la compuerta para el uso del agua como riego, una de las funciones para las que son creados estos sistemas.

En general en estos sistemas, la forma, el volumen y la profundidad se vieron modificados principalmente por la temporalidad (época de lluvia y seca), el aporte de los escurrimientos, la extracción de agua para uso agrícola y a la apertura y cierre de las compuertas, lo que coincide con lo planteado por Arredondo-Figueroa y Ponce-Palafox (1986)) con respecto a que en este tipo de ecosistemas se forma un eje de dilución-concentración, que ocurre como consecuencia de la dinámica de las variables morfométricas (interacción del área, longitud de la línea de costa, la profundidad máxima y el volumen).

2. Parámetros físicos y químicos

De acuerdo a lo citado por Wetzel (1981), las aguas epicontinentales reciben componentes de la atmósfera, de las rocas, del suelo y de los organismos; por lo que su composición está restringida por las condiciones internas. La calidad del agua de cualquier cuerpo acuático esta en función de la cuenca en que se ubica, así como de la altitud, la latitud, la época del año en la que se realice el estudio, los aportes y la tasa de renovación que presente el sistema acuático.

En nuestro país la Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales es la que se encarga de establecer los límites permisibles de calidad del agua según las Normas Oficiales Mexicanas, en éste caso la NOM-127-SSA1-1994 del Reglamento de la Secretaria de Salud en Materia de Salud Ambiental que establece los límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización y la NOM-001-ECOL-1996 de la SEMARNAP que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales



para embalses naturales y artificiales de uso agrícola, son las que indican los valores recomendados para los parámetros analizados, lo que nos permitirá tener una idea más clara del estado en que se encuentra el agua de los embalses:

Parámetro	Límite Permissible
pH (potencial de hidrógeno) en unidades de pH	6.5-8.5
Alcalinidad (como CaCO ₃ mg/L)	400
Dureza Total (como CaCO ₃ mg/L)	500
Demanda Bioquímica de Oxígeno 5 (como O ₂ mg/L)	50
Nitratos (como N) mg/L	10.0
Nitrógeno amoniacal (como N) mg/L	0.5
Fosfatos (como PO ₄ ⁼) mg/L	0.1
Sólidos Disueltos Totales mg/L	1000.0
Sólidos Suspendidos Totales	125

La visibilidad del agua de los embalses estuvo limitada en casi todos los muestreos a pocos cm de la superficie (no mayor a 11 cm) esto provocado principalmente por factores como:

- la cantidad de sólidos suspendidos y disueltos, al grado de darle una coloración café
- la materia orgánica,
- al bajo nivel de agua (sobre todo en los meses más calurosos, es de decir de marzo a junio)
- la acción combinada de los vientos sobre la masa de agua
- la circulación provocada por la apertura de compuertas para entrada y desfogue,
- al ganado que se introduce a los cuerpos de agua para abrevar en ellos, generando la resuspensión de los sedimentos.

La temperatura del agua juega un papel trascendente en el sistema ya que modifica el metabolismo y comportamiento de los organismos y por lo tanto la productividad del sistema. Así mismo, tiene una participación importante en la solubilidad de los gases, en la tasa fotosintética, el crecimiento y reproducción de las especies (Martínez, 1998).

En el embalse Lagarto, en los puntos de muestreo 2 y 8 (parte profunda de la columna de agua) la temperatura fue menor que la del estrato superior en los meses de abril, junio, agosto, septiembre y octubre, llegando a tener una diferencia de más de dos grados centígrados. Esto puede producirse primer término, a causa de la posición de los puntos de muestreo ya que ambos se encuentran en el fondo del sistema, lo que limita el calentamiento directo de esta masa por rayos solares, adicionalmente también por la cantidad de materiales presentes en la columna de agua, ya que éstos disminuyen la zona fótica causando que la luz no llegue a los estratos inferiores coincidiendo con lo observado por Hernández-Avilés y Peña-Mendoza (1992); por otro lado y corroborando con otros parámetros, aunque la columna de agua se encuentra en constante mezcla por la acción mecánica de los vientos, la diferencia entre la temperatura de superficie y fondo puede deberse a lo propuesto por Díaz-Pardo y Vázquez (1986) quienes mencionan que un factor importante que determina en cierto grado el comportamiento de la temperatura a través de la columna de agua, es la relación entre la temperatura de la superficie del cuerpo de agua y la del aire, que se manifiesta en el intercambio de calor entre ambas fases.



En cuanto a la temperatura del sistema Cuauhtémoc se observó que en la mayoría de los muestreos tanto en la columna de agua como de un punto a otro, presentaron temperaturas muy similares, ya que no hubo diferencias notables, por lo que se puede decir que la masa de agua se encuentra en un proceso de circulación constante, favorecido por la poca profundidad del embalse. Wetzel (1981) menciona que el efecto del viento es el agente principal de mezcla en lagos, presentando estos un periodo frecuente de circulación, la cual se ve favorecida por su tamaño, morfometría y profundidad.

Por lo anterior, se considera que los embalses se pueden clasificar como sistemas polimícticos cálidos continuos según la clasificación de Lewis (1983) en García y Torres (1995) debido a su latitud, profundidad y a la constante circulación de la masa de agua.

El pH en los bordos Lagarto y Cuauhtémoc mostró un comportamiento y un intervalo de valores muy similar entre los embalses, de 5.04 a 6.97 y de 4.78 a 7.75 respectivamente, al igual que de un sitio a otro en cada uno de ellos. Se observó una ligera tendencia hacia la acidez, ya que casi siempre el pH estuvo por debajo de 7 en ambos. Los valores más bajos se dieron después de la época de lluvia (menores a 6) cuando se inundan nuevamente los sistemas. Esto se debe a que el agua recién llegada trae consigo materia orgánica aunada con la que es aportada por la vegetación que creció considerablemente en los embalses durante esta época, ya que entran en descomposición causando una acidificación en el agua, además de los aportes de otros materiales y nutrientes que son arrastrados de otros cuerpos y del entorno de los embalses. Durante la mayor parte del estudio los valores de pH registrados en ambos sistemas se encontraron dentro del intervalo que diversos autores reportan como conveniente para la producción de peces, este es de 5.5 a 9, sin embargo en efecto sobre la fauna y flora se hace presente sobre todo por la influencia que el pH ejerce en el equilibrio de otros elementos, toxicidad de algunos compuestos contaminantes como metales pesados, amonio no ionizado, ácido cianhídrico o sulfhídrico, etc., valores de pH menores de 4 y mayores a 11 pueden causar la muerte en peces.

La conductividad en el embalse Lagarto en casi todo el muestreo fue menor que en el sistema Cuauhtémoc. En el primer embalse los valores se mantuvieron más o menos constantes, registrándose cerca del los 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$; los valores disminuyeron gradualmente al comenzar la época de lluvia y presentarse un mayor volumen en el sistema, lo que propicia que se encuentren una menor cantidad de sales en el agua.

En el caso del bordo Cuauhtémoc se observó un comportamiento distinto, ya que de mayo a agosto se registró un incremento en los valores de conductividad, alcanzando el máximo valor en este último mes (231 $\mu\text{S}/\text{cm}$), debido a la concentración de sales en el agua al disminuir el volumen. Al igual que el caso anterior, los valores disminuyeron considerablemente al presentar el embalse un incremento en su volumen, causando una dilución de los sólidos en la masa de agua, por lo que en el mes de octubre se registró el menor valor de conductividad (59.6 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

En general se puede decir que el aumento de volumen, por la época de lluvia, provoca una dilución de los sólidos en los embalses lo que da como resultado un descenso en los valores de conductividad, puesto que éstos dependen de los aportes de las diferentes sales disueltas, es decir, a mayor concentración, la conductividad es mayor y viceversa (Margalef, 1983). Los valores más elevados se dieron cuando los cuerpos presentaron una disminución considerable de volumen, en conjunto con mayores temperaturas y por lo tanto una mayor tasa de evaporación, generando una mayor



concentración de sólidos. Por lo tanto, los valores de éste parámetro están relacionados con los procesos de llenado y vaciado de los embalses, situación que es característica de este tipo de cuerpos de agua según Arredondo-Figueroa y Flores-Nava (1992).

Los datos de alcalinidad, dureza total y pH revelan la cantidad y formas que presenta el carbono inorgánico en un sistema y el cual constituye uno de los principales compuestos para el metabolismo de las algas y las macrofitas (Martínez, 1998).

La alcalinidad en el sistema Lagarto presentó valores muy parecidos en los puntos de muestreo, disminuyendo en marzo debido a que los sitios 4 y 5 registraron menores concentraciones. En general, los valores de alcalinidad tienden a aumentar con la disminución del volumen, siendo junio cuando se registró el máximo valor (74 mg/L CaCO_3), este incremento en la concentración de carbonatos se debió a la disminución del volumen del sistema por la época de estiaje causando la concentración de sales y sólidos disueltos, por incremento en la evaporación por el aumento de la temperatura y a la poca profundidad. Al iniciarse la época de lluvia las concentraciones disminuyen por dilución, registrando los valores mínimos en octubre (de 39.5 a 46 mg/L CaCO_3), mes de mayor inundación.

En el embalse Cuauhtémoc, se observó otro comportamiento respecto a éste parámetro. Los valores de alcalinidad más bajos se dieron de abril a junio e incluso agosto (valores menores a 30 mg/L CaCO_3), en dichos meses se observaron solo remansos de agua estancada, por lo que este comportamiento puede deberse a que no hay arrastre de sólidos de otros sistemas hacia el embalse Cuauhtémoc, ya que la concentración aumenta después de la época de lluvia.

En ambos sistemas la alcalinidad fue débil y representa aguas muy poco productivas según lo propuesto por Arrignon (1984) (**ver Anexo 2 Cuadro 3**).

El término dureza hace referencia al contenido en las aguas de calcio y magnesio como carbonatos y bicarbonatos (Martínez, 1998).

En cuanto a este parámetro, en ambos sistemas se observó que en los primeros meses de muestreo (diciembre a febrero) las concentraciones fueron más elevadas en comparación con las observadas al descender el nivel de agua, ya que las concentraciones también disminuyeron, sin embargo, en el mes de junio al presentar menor volumen ambos sistemas, se observó un incremento en los valores. Este comportamiento se debe a que los bordos se encuentran ubicados en una zona donde existen rocas erosionables (INEGI, 2000; INEGI, 1984) con escasa cubierta vegetal que aportan nutrimentos y minerales al sistema, los cuales son liberados y removidos por la acción del viento en la columna de agua y la interacción de ésta con los sedimentos, así como al deslave que sufren por el agua de lluvia que finalmente llega a los embalses.

En el embalse Lagarto los valores de Dureza no superan, durante todo el periodo de estudio, los valores de Alcalinidad, por lo que además del Ca^+ y Mg^+ los CO_3^{2-} y HCO_3^- están asociados al K^+ y Na^+ .

En el bordo Cuauhtémoc se tiene que de diciembre a febrero la dureza y alcalinidad son prácticamente iguales por lo que el Ca^+ y Mg^+ se encuentran asociados a los CO_3^{2-} y HCO_3^- ; en marzo y de septiembre a noviembre la alcalinidad fue mayor a la dureza presentándose la misma situación que en sistema Lagarto, durante la época de menor volumen en el embalse y al comenzar a llenarse,



de abril a agosto, la dureza fue mayor a la alcalinidad por lo que la dureza se debe a compuestos diferentes a los carbonatos y bicarbonatos, ya que el calcio y magnesio se encuentran asociados con aniones como SO_4^{2-} , Cl^- , SiO_3^{2-} o NO_3^- .

Los valores registrados indican que el agua de los sistemas Lagarto y Cuauhtémoc (en éste último excepto en el mes de junio) se puede, en lo general, clasificar como blanda (ya que presentan valores menores a 75 mg CaCO_3/L), según lo propuesto en Martínez (1998). En el caso del sistema Cuauhtémoc se clasifica el agua de la misma forma, a excepción del mes de junio cuando pasa de blanda a moderadamente blanda (**ver Anexo 2 Cuadro 4**).

Con respecto al comportamiento hidrológico de parámetros analizados como los hasta ahora mencionados, se corroboró lo propuesto por Arredondo-Figueroa y Flores-Nava (1992) quienes indican que este tipo de ecosistemas presentan tres etapas: a) Fase de transición, que inicia con las primeras lluvias y en la que la masa de agua muestra un periodo de inestabilidad y la vegetación terrestre crece, b) Fase de dilución, en la que se observa la mayor estabilidad del sistema y se alcanza el máximo nivel de inundación, hay aporte de material orgánico alóctono y pérdida constante de agua para uso agrícola, la cual se recupera por las lluvias, además hay un decremento en los valores de conductividad, alcalinidad, dureza total y un agotamiento de los nutrimentos y c) Fase de concentración, en la que el volumen disminuye drásticamente por ausencia de lluvias y en la que los cambios limnológicos están marcados por un aumento en los valores de la conductividad, alcalinidad, dureza total y nutrimentos. Este comportamiento se observó en ambos embalses, aunque quizá por el retraso de la época de lluvia en ese año, la fase transición no se observó de manera clara, lo más perceptible fue el gran crecimiento de macrofitas en ambos embalse durante los meses de agosto y septiembre.

Por otro lado, las concentraciones de oxígeno en los sistemas mostraron una tendencia mensual muy similar en casi todo el periodo de estudio. En el bordo Lagarto las concentraciones van de 3.8 a 11.56 mg O_2/L ; sin embargo, el primer valor se registró en la parte profunda de la compuerta en octubre, cuando el sistema tuvo una mayor profundidad (5 m), en este mismo mes también se obtuvo otro registro bajo en el sitio 6, en el que se presentó mayor crecimiento de fitoplancton y el cual por un lado, está protegido de los vientos por el bordo de contención lo que favorece que la columna de agua del sitio no se mezcle como en los otros puntos, además los manchones formados por *Zignema sp.* y *Spirogyra sp.* no permiten el paso de la luz, lo que disminuye la zona fótica y la producción de oxígeno, que a su vez es consumido por las macrofitas que crecen en esta zona del sistema. El valor más elevado se dio en el canal de agua que abastece al sistema, el cual casi siempre presentó una velocidad constante (de alrededor de 0.55 m/s), lo que favorecía la oxigenación del agua por el movimiento de la masa junto con la poca profundidad de la misma. En este embalse los niveles de oxígeno fueron menores en las muestras del estrato inferior, de no más de 1°C entre los estratos en todos los meses a excepción de octubre donde la diferencia fue de casi 2°C en la compuerta y de 1.36°C en el centro, esto obedece a la acción del viento sobre la superficie de la columna de agua, que permite la oxigenación de las capas superiores.

Con base en lo anterior se puede decir para ambos embalses, que la concentración de oxígeno disminuye conforme aumenta la profundidad y que una de las causas de desoxigenación del agua en los niveles profundos en los sistemas, se debe a procesos de descomposición por acumulación de materia orgánica; la oxigenación de la parte superior de la columna de agua está relacionada con los



procesos fotosintéticos del plancton, aunque estos a su vez se relacionan con la transparencia del agua, ya que al disminuir ésta, también disminuye la cantidad de oxígeno disuelto, debido principalmente al material en suspensión (orgánico e inorgánico) el cual reduce la zona fótica e inhibe la actividad fotosintética disminuyendo la producción de oxígeno.

En general, en ambos embalses las concentraciones de oxígeno fueron mayores de diciembre a mayo (más de 7 mg O₂/L), aunque la temperatura ambiente ya había aumentado y la solubilidad de este gas esta en función de ésta, aunado a que el volumen disminuía favoreciendo la mezcla y oxigenación de la columna de agua por la acción de los vientos sobre la misma como lo menciona Wetzel (1981) para algunos represamientos. Después de iniciada la época de lluvia (agosto) se observó que las concentraciones de oxígeno disminuyeron, registrándose las más bajas en octubre (3.8 en el bordo Lagarto y 4.68 el bordo Cuauhtémoc). La disminución de oxígeno se vio influenciada por la descomposición de la materia orgánica depositada en el embalse, proveniente principalmente de las hidrófitas y del material de arrastre.

Al inundarse nuevamente los sistemas (agosto) se observó un gran incremento de macrofitas y florecimientos fitoplanctónicos en la zona litoral, Wetzel (1981) menciona que en los lagos someros, donde las hidrófitas crecen sobre la cubeta, la descomposición de estos al final de la estación de crecimiento (verano), cuando las temperaturas son elevadas, puede alcanzar tal intensidad que el contenido de oxígeno de todo el lago sufre una disminución severa, lo que se corrobora en lo expresado en el párrafo anterior. Por otro lado, las variaciones estacionales de los aportes de materia orgánica natural, procedentes de corrientes de agua que penetran en el embalse, pueden provocar demandas variables sobre el contenido de oxígeno y su distribución.

Lo anterior se ve reforzado al evaluar la demanda bioquímica de oxígeno, que es la cantidad de oxígeno consumido en la descomposición biológica de la materia orgánica (Rodier, 1990). Con respecto a este parámetro, en los resultados obtenidos de la DBO, se observó que en los meses más calurosos y de menor nivel de agua (abril a junio), el consumo de oxígeno aumentó, reflejándose en la disminución de oxígeno en ambos embalses. Cuando los sistemas presentaron un mayor volumen (diciembre-marzo y agosto-noviembre) la cantidad de oxígeno requerido para diversos procesos disminuyó, lo que permitió observar un incremento en la concentración de oxígeno en las muestras, esto por la mayor o menor cantidad de oxígeno disuelto en la columna de agua al momento del muestreo y a factores como la variabilidad y cantidad de organismos presentes, la presencia de bacterias nitrificantes y la cantidad de materiales oxidables de acuerdo con lo planteado por Rodier (1990). De acuerdo a los valores de DBO y a lo propuesto por Arrignon (1984) el agua de los embalses se encuentra en una situación aceptable y normal (ver el **Cuadro 5** del **Anexo 2**).

En lo que se refiere a los nutrientes, la variación espacial y temporal de estos se comporta de acuerdo a lo considerado por Mason (1984) se debe a que en temporada de lluvia los sistemas acuáticos reciben aportes con alto contenido de materia orgánica proveniente del agua fluvial y de la cuenca.

Para el amonio, el comportamiento entre los embalses fue distinto. En el caso del sistema Lagarto se observa una tendencia más o menos homogénea de diciembre a junio, e incluso después de la época de lluvia los valores son sólo un poco más elevados que en la época anterior, sin embargo, es en abril cuando se presenta un incremento muy notorio (máximo valor 0.528 mg/L) en la concentración de



este nutrimento, esto es causado por el bajo nivel de agua y las altas temperaturas, que permiten la concentración del amonio proveniente de la descomposición de la materia orgánica; además, otro factor que pudo intervenir es el hecho de que el muestreo se efectuó después de que pobladores de la zona realizaron actividades de pesca con redes en el bordo, esta acción causó la remoción de la materia orgánica de los sedimentos volviendo a mezclarla con la columna de agua, pudiendo influenciar en alguna medida en los resultados. En el mes de abril en el sitio 6 se hizo el registro más alto de amonio, particularmente se observó que en este sitio de muestreo llegaba un pequeño canal de agua que alimentaba al sistema y el cual atravesaba por el crecimiento de pastos a la orilla del sistema y en el que se encontró ganado ovino pastando y por supuesto, dejando desechos fecales en la zona. La diferencia de concentraciones entre cada sitio en algunos meses, se debe a las características particulares de cada uno de ellos, ya que la existencia de hidrófitas, crecimientos de fitoplancton, el consumo por parte de los organismos acuáticos (peces) y la mayor o menor presencia del ganado, puede ser la causa de mayores aportes de amonio.

En el embalse Cuauhtémoc, la mayoría de los valores hallados se encontraron por debajo del límite permisible por las normas mexicanas, no así en los meses de marzo y abril, en los cuales las concentraciones estuvieron por encima de $0.5 \text{ mg NH}_4^+/\text{L}$. Este comportamiento es efecto de la reducción del volumen y la gran acumulación de materia orgánica en los remansos de agua que presentó en esos meses el sistema, puesto que el amonio es el principal producto de la descomposición de esta por bacterias heterótrofas (Wetzel, 1981); la materia orgánica procede de la vegetación acuática y de las excretas de las aves y los animales del ganado que habitan y abrevan en él. Al inundarse nuevamente los sistemas las concentraciones de amonio disminuyeron por la dilución de éste en el agua.

Arredondo y Ponce (1998) mencionan que las altas concentraciones de amonio afectan la permeabilidad de la membrana de los peces y reducen la concentración iónica interna. También se incrementa el consumo de oxígeno por los tejidos, se dañan las branquias y se reduce la capacidad de transporte de oxígeno por la sangre. Además, cuando se encuentran concentraciones subletales de amonio, se observan cambios histológicos en riñones, el bazo y tejidos de la tiroides.

Con respecto a los nitratos (NO_3^-), en general se observó que, las mayores concentraciones se dieron en los primeros meses de muestreo (de diciembre a marzo en Lagarto y de diciembre a junio en Cuauhtémoc), cuando los sistemas presentan volúmenes de agua aún considerables, dichas concentraciones fueron disminuyendo debido a que los aportes de nitratos provienen principalmente del arrastre de la cuenca y de otros embalses, este efecto se observó de forma más notoria en el sistema Cuauhtémoc; al comenzar las lluvias las concentraciones disminuyeron en ambos por efecto del incremento de volumen en los embalses. Por otro lado, Martínez (1998) plantea que en latitudes templadas durante el invierno, el enfriamiento superficial y mezcla de la columna de agua, propicia una mayor nitrificación con predominio de NO_3^- el cual es asimilado en la siguiente primavera. La disminución de las concentraciones se da por efecto de dilución al aumentar el volumen de los embalses y a su uso por los productores primarios o fotosintetizadores en la asimilación biológica a pesar de que representa un gasto de energía para transformarla a NH_4^+ , que es utilizado para la elaboración de aminoácidos y proteínas.



Los mayores valores de nitratos fueron hallados en el bordo Cuauhtémoc pero en ninguno de los dos sistemas se rebasaron los límites permisibles por las Normas Oficiales Mexicanas. En el sistema Lagarto se observó que cuando se tuvo un mayor nivel de agua las concentraciones no variaban mucho de un sitio a otro, cuando el nivel comenzó a disminuir por el uso para riego y apertura de la compuerta, los valores variaban de forma más notoria respecto uno del otro, sobre todo en los meses de marzo a junio, que fueron los más calurosos. Respecto al comportamiento del nitrógeno en aguas dulces, Wetzel (1981) menciona que el ciclo del nitrógeno es de naturaleza bacteriana, dado que la oxidación y la reducción bacteriana de los compuestos de nitrógeno están asociados a la asimilación fotosintética y a su utilización por las algas y las plantas acuáticas, lo que explica la reducción de los nitratos de agosto a octubre principalmente, meses en los cuales se observó un gran crecimiento de hidrófitas y un mayor número de organismos fitoplanctónicos.

En cuanto al fósforo, generalmente, la variación estacional está íntimamente ligada a procesos biológicos y geoquímicos (Contreras, 1994). En el bordo Lagarto no se observa un comportamiento claro de la concentración de este nutriente ni de un mes a otro ni de la época de seca con respecto a la de lluvia; en marzo se registró un aumento en los valores aunque el promedio mensual se vio influenciado porque en la compuerta y centro del cuerpo se hallaron concentraciones más elevadas en ambos estratos en comparación con los otros sitios, esto a causa de una mayor remoción de los sedimentos; después de la época de lluvia se observó que las concentraciones van aumentando de manera gradual por efecto del arrastre de estiércol de ganado por el agua de lluvia hacia el sistema, así como a una mayor interacción agua-sedimento por el incremento del área que ocupa el espejo de agua, de la columna de agua con los sedimentos, ya que el fósforo está ligado a los sedimentos en forma de detrito orgánico y partículas inorgánicas, ya que a través de un proceso de descomposición es convertido en fosfatos para ser reutilizado (Arriaga *et al*, 2000).

En el embalse Cuauhtémoc se nota claramente como los fosfatos (PO_4^{2-}) aumentaron en la temporada de seca, de enero a mayo, al ir disminuyendo el nivel de agua. En junio la concentración disminuyó considerablemente, provocado porque el sistema se redujo a un pequeño "charco" de agua cristalina de aproximadamente 10 m^2 , procedente de una pequeña filtración del bordo adyacente y el cual presentó una baja concentración de fosfatos ($0.186 \text{ mg PO}_4^{2-}$) al no estar expuesto tanto tiempo a la insolación y evaporación así como a la interacción del agua con los sedimentos, permitiendo la concentración de este nutriente. Después de iniciarse nuevamente la inundación del cuerpo, se observó que en septiembre las concentraciones vuelven a disminuir, más que en el mes de junio, quizá porque al momento del muestreo, el agua no tenía mucho tiempo retenida y por ello presentó valores más bajos; por el contrario, cuando el agua no era requerida, permanecía más tiempo en el embalse, permitiendo la interacción por un mayor tiempo de la masa de agua con los sedimentos.

En general se puede comentar que la concentración de ortofosfatos puede deberse al lavado y erosión de los terrenos agrícolas aledaños por el agua de lluvia y el arrastre en los canales de irrigación, ya que estos campos son fertilizados con productos químicos o estiércol de animales; también se debe a la concentración de materia orgánica presente en la cubeta proveniente de plantas y excretas del ganado y aves y que contienen este nutrimento, el cual permanece en dilución en el agua de los sistemas y conforme disminuye el volumen su concentración se incrementa. Por otro lado, puede deberse además a la cercanía de los bordos a las comunidades y al no contar éstas con un sistema de drenaje apropiado, al aporte de aguas domésticas, que muchas veces contienen detergentes y estos a su vez fosfatos (Vallentyne, 1978; Molina, 2005).



Según las normas oficiales mexicanas los cuerpos de agua naturales o artificiales no deben contener más de 0.1 mg/L de PO_4^{2-} , es claro que en ambos sistemas se excede por mucho este límite, por lo cual el agua no es apta para el uso en el riego agrícola, no obstante, el agua se sigue utilizando con este fin por la necesidad de los campesinos por el recurso y por el desconocimiento de las condiciones del agua de los sistemas, pero el exceso en las concentraciones de este nutrimento no es tan negativo como parece, ya que los fosfatos se encuentran en muchos abonos químicos, por lo que este exceso de PO_4^{2-} es un aporte "extra" de este nutrimento a las tierras.

Por otro lado, las aguas dulces no son totalmente puras debido a que en su dinámica por la tierra erosionan y disuelven los componentes de las rocas y suelos de diferente constitución edafológica (Martínez, 1998).

En este recorrido de las aguas por la superficie, llegan a arrastrar diferentes tipos y cantidades de materiales orgánicos e inorgánicos, los cuales se precipitan o mezclan con la columna de agua en un sistema. En lo que se refiere a los sólidos disueltos y suspendidos hallados en el agua se observa un comportamiento mensual similar entre los sistemas durante la época de seca y lluvia, sin embargo, las cantidades presentes en la masa de agua en cada uno llegan a ser muy distintas. Las cantidades de sólidos, en general, son menores cuando los sistemas presentan un mayor volumen producto de la dilución con el agua, cuando el nivel se ve disminuido por el uso y la evaporación, las cantidades de sólidos aumentan debido a una mayor concentración de estos por unidad de volumen.

Uno de los principales agentes causantes son los vientos, ya que estos aunque cambiantes, son constantes durante todo el año y por su efecto, los sedimentos de la cubeta vuelven a entrar en suspensión contúnua, en conjunto con los aportes variables de materia suspendida orgánica e inorgánica, procedentes del entrono y las corrientes que penetran en los embalses.

De acuerdo con lo mencionado por Páez y Vargas (1994), la cantidad de sólidos que entran a los sistemas acuáticos esta relacionado con la constante eliminación de la cubierta vegetal para uso de los campos para pastoreo y uso agrícola; esto hace que el agua proveniente de la lluvia no se alcance a absorber por el suelo, al contrario, ésta se desliza por él, deslavándolo y dificultando su absorción, con la consecuente disminución de su aporte al manto freático, originándose así dos problemas: 1) disminución de manantiales generadores de agua y 2) deterioro de la calidad del agua que por escurrimiento, es aportada a ríos en forma directa, por el gran contenido de terrígenos y materia orgánica que es arrastrada en ellos. Este efecto se ve en las zonas cercanas a los sistemas, puesto que las tierras agrícolas son removidas cada temporada como preparación para la siembra, además de que hay sitios cercanos a los bordos y canales de irrigación en los cuales hay remoción del suelo para la construcción de otros embalses, generando más partículas que son arrastradas por el agua de lluvia y vientos.

A pesar de las fluctuaciones mensuales que se pueden observar en las gráficas de cada parámetro y embalse, el análisis de varianza efectuado para cada uno de ellos demuestran que, contrariamente a lo que podría esperarse, no hay diferencias estadísticas significativas entre los puntos de muestreo tanto en el embalse Lagarto como en el sistema Cuauhtémoc, por lo que se puede decir que el comportamiento de la masa de agua es homogéneo a lo largo del periodo de estudio. Esto se debe probablemente a la dinámica de ambos sistemas que propicia un continuo movimiento



de las masas de agua provocado no sólo por el viento, sino por la apertura de compuertas de entrada y salida. Con respecto a esta homogenización de las masas de agua, Wetzel (1981) menciona que el comportamiento hidrodinámico de los movimientos del agua está íntimamente ligado al sistema funcional de los lagos, ya que estos tienen efectos sobre la temperatura, los gases disueltos, los nutrientes y otros parámetros químicos, además de los efectos generados por los bajos niveles de agua que este tipo de cuerpos de agua llegan a presentar.

Como se observa en los gráficos de evaluación mensual y confirmado a través de pruebas de análisis de varianza, se tiene que tanto en el embalse Lagarto como en el embalse Cuauhtémoc, existen diferencias de un mes a otro, mismas que se deben principalmente a las variaciones que conlleva la disminución del volumen de agua por la apertura de las compuertas y la evaporación en la época de seca, generando un incremento en las concentraciones de parámetros como la conductividad, alcalinidad, amonio, fosfatos, sólidos disueltos y suspendidos; condiciones que se revierten al iniciarse las lluvias. Adicionalmente, durante la época lluviosa, los cuerpos reciben aportes de materia orgánica de la cuenca que los rodea, así como agua de los sistemas que los alimentan, que al mismo tiempo poseen características particulares y quizás distintas a las observadas dentro de cada uno de los bordos estudiados. Este comportamiento es explicado por Arredondo-Figueroa y Flores-Nava (1992) quienes plantean que este tipo de sistemas presentan tres etapas de sucesión ecológica alternadas: fase de transición, fase de dilución y fase de concentración, de las cuales se observan claramente las dos últimas en los bordos Lagarto y Cuauhtémoc, puesto que la primera no se distingue con claridad ya que en ese año (2005) la época de lluvia se retrasó hasta finales del mes de julio, misma que al iniciarse fue constante y abundante.

3. Vegetación acuática

Las aguas epicontinentales incluyen una rica variedad de ecosistemas, muchos de los cuales están física y biológicamente conectados, articulados por el flujo de agua y el movimiento de las especies. La enorme diversidad de hábitats acuáticos en el país sustenta una variedad de comunidades, algunas de las cuales constituyen la flora acuática de México. La diversidad de esta flora está representada por 86 familias, 262 géneros y 763 especies (Arriaga *et al.*, 2000).

Las plantas acuáticas cumplen diversas funciones como son: 1) reincorporar nutrientes al sistema. 2) eliminar algunas sustancias tóxicas. 3) atrapar, estabilizar y evitar la resuspensión de sedimentos. 4) formar un sustrato importante para la fijación de epibiontes, tales como microalgas, fauna sésil y microcrustáceos. 5) servir de área de crianza, reproducción y refugio de diversas especies de animales, como invertebrados, peces, aves y reptiles (Camargo, 2004).

La vegetación de los embalses está representada por distintas especies típicas de cuerpos acuáticos y que también se observaron en otros bordos cercanos a ellos. Las hidrófitas enraizadas emergentes son plantas arraigadas al sustrato, cuyos tallos, hojas y órganos reproductores son aéreos y por lo tanto, se encuentran encima de la superficie del agua (Madrigal *et al.*, 2004). Este grupo está representado por *Schoenoplectus sp.*, *Polygonum sp.* y *Ludwigia sp.* La primera está ampliamente distribuida en regiones templadas de todo el mundo (Lot *et al.*, 2004), en el sistema Lagarto se observó de forma dispersa en la parte este del cuerpo con individuos jóvenes y en sitios con una profundidad no mayor a 1.5 m. En el embalse Cuauhtémoc su población fue mayor debido en gran medida a la poca



profundidad del cuerpo, se encontró formando manchones en la periferia y centro del sistema, ésta especie se ubicó en sitios que tienen una profundidad de uno a dos metros. En los cuerpos fungió principalmente como zona de refugio y crianza para las aves como las gallaretas y los patos.

El segundo género es *Polygonum sp.* (posiblemente *P. mexicanum*), el cual según Bonilla y Novelo (1995) está representado por alrededor de 250 especies, de las que cerca de 20 son acuáticas y que en nuestro país es de distribución cosmopolita y ha sido registrada en Campeche, Chihuahua, D.F., Durango, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, México, Michoacán, Morelos, Oaxaca, Puebla, Querétaro, S.L.P. y Tabasco. En los embalses su crecimiento se dió después de iniciada la época de lluvia en la periferia de ambos sistemas, en sitios no mayores a un metro de profundidad, su inflorescencia de color rosa le dio esta tonalidad a los sistemas, sobre todo en el mes de agosto cuando su población fue mayor.

El género *Ludwigia sp.* está representado por alrededor de 80 especies de regiones tropicales y subtropicales, 15 especies son acuáticas. En nuestro país se ha observado en D.F., Hidalgo, Jalisco, México, Morelos, Nuevo León, S.L.P. y Veracruz (Bonilla y Novelo, 1995). Es una planta con tallo rojo, y sus hojas se disponen en pares opuestos, son verde esmeralda y puntiagudas en el ápice; la inflorescencia amarillenta o blanco verdosa sólo se produce en condiciones óptimas, durante el periodo de estudio de los embalses no se observó dicha inflorescencia. Se presentó al iniciarse las lluvias, asocada sobre todo con *Polygonum sp.*, *Nymphoides fallax* (en Cuauhtémoc) y *Potamogeton sp.*, creció en la periferia de los cuerpos y en lugares con una profundidad no mayor a un metro.

Se registró una hidrófita enraizada sumergida (*Potamogeton sp.*), en ésta forma de vida las estructuras foliares y reproductores permanecen completamente sumergidas, aunque en algunos casos pueden tener sus órganos reproductores aéreos emergiendo por encima de la superficie o ser flotantes (Madrigal *et al.*, 2004). Bonilla y Novelo (1995) mencionan que este género está representado por alrededor de 100 especies y cerca de 40 híbridos, algunas especies se consideran como plantas nocivas porque obstruyen canales y lagos debido a su excesivo crecimiento. *Potamogeton sp.*, posee hojas muy vistosas que flotan sobre la superficie del agua. El género constituye un tipo de comunidad muy significativa en la vida acuática de una gran diversidad de especies de la fauna asociada. Tiene una amplia distribución mundial (Lot *et al.*, 2004). Se observó en la periferia de ambos embalses en lugares con no más de un metro de profundidad a partir del mes de agosto formando asociaciones con otras hidrófitas.

Las hidrófitas enraizadas de hojas flotantes mantienen sus hojas flotando sobre la superficie del agua y sus órganos reproductivos emergen por encima de la misma y se encuentran enraizadas al sustrato (Madrigal *et al.*, 2004). De este tipo se encontraron dos representantes: *Marsilea mollis* y *Nymphoides fallax*.

Marsilea mollis se distribuye desde el sur de Estados Unidos hasta México y reaparece en el norte de Argentina. Aunque en la antigüedad era una especie muy común y abundante en los ambientes acuáticos de la ciudad de México y sus alrededores, hoy en día es raro encontrarla, por lo que según Lot *et al.* (2004) debe ser considerada dentro de la categoría de especie en peligro de extinción, ya que los hábitats donde crecía abundantemente tienden a ser modificados, deteriorados o incluso a desaparecer. Tanto en el embalse Lagarto como en el bordo Cuauhtémoc se observó en la periferia de



los cuerpos, sobre todo en las partes protegidas de los vientos por los bordos de contención u otras hidrófitas.

Nymphoides fallax es una hidrófita muy llamativa por la coloración amarilla y la textura de sus flores que al tacto recuerdan el terciopelo. Su importancia es fundamentalmente ecológica por representar hábitats de gran riqueza de fauna asociada de invertebrados y vertebrados, entre los que destacan los renacuajos y las aves acuáticas nativas y migratorias. Esta especie es un elemento común y dominante de algunos lagos intermontanos, entre los 1500 y 2600 m de altitud, que van desde la Sierra Tarahumara en el estado de Chihuahua hasta Guatemala, además es una especie endémica de México y de Guatemala (Lot *et al*, 2004; Gómez y Martínez, 2006). En este estudio sólo se registró en el bordo Cuauhtémoc, posiblemente a que este cuerpo presentó mejores condiciones de nutrimentos y protección contra los vientos.

Sólo se registró un género de las hidrófitas libres flotadoras, las cuales crecen postradas libremente sobre el sustrato (no fijadas a él) o sobre otras plantas acuáticas y se mantienen flotando sobre la superficie (Rojas y Novelo, 1995; Madrigal *et al.*, 2004). *Azolla* sp., es un helecho acuático que cambia de color dependiendo de la época del año. En primavera es verde y presenta mayor crecimiento vegetativo, posteriormente cambia a un color rojizo oscuro cuando madura. Comúnmente vive asociada con varias lemnáceas, por lo que a veces se le da el mismo nombre vulgar. Se sabe que es una planta que fija nitrógeno atmosférico y por lo tanto su uso como abono verde es muy común en muchas partes del mundo donde se desarrolla. Se distribuye ampliamente en el mundo (Lot *et al.*, 2004). En el embalse Lagarto se presentó en la parte norte del cuerpo al iniciarse las lluvias y el sistema Cuauhtémoc creció sobre todo en la parte sur del sistema, al igual que la mayoría de las hidrófitas.

Las comunidades de hidrófitas se encuentran distribuidas a manera de una franja a lo largo de la orilla de los embalses, presentando diferentes formas de vida asociadas, las cuales prosperan en función de la profundidad y las condiciones ambientales específicas de cada sitio (Madrigal *et al.*, 2004). En el caso del bordo Lagarto se observó que las hidrófitas crecieron principalmente en la zona este del cuerpo, la cual está protegida del viento por el bordo de contención y presenta profundidades no mayores a un metro. En cambio, en el sistema Cuauhtémoc, al ser más pequeño y menos profundo, la vegetación creció tanto en el centro como en la periferia del cuerpo, principalmente en la parte sur y la cortina de la represa. En ambos sistemas se observó el mayor crecimiento de hidrófitas a partir del mes de agosto, debido a que los aportes ricos en nutrientes que arrastra el agua hacia los sistemas al iniciarse y durante la época de lluvia, es el agente principal para que se observara este florecimiento o aumento de vegetación en los embalses; y de acuerdo a lo expuesto por Rojas y Novelo (1995) se concluye que la temporalidad de muchas de las formas de vida de las hidrófitas, así como las diferentes etapas sucesionales de la vegetación propias de la evolución natural de la cuenca lacustre, son algunos de los elementos que conducen a cambios estructurales en la vegetación acuática, incluso en pequeños periodos de tiempo.



4. Fauna

Los embalses artificiales como complemento a los naturales, son cuerpos que proporcionan de un hábitat a un sin número de animales acuáticos y terrestres, los cuales utilizan dichos sistemas en función de sus propias necesidades. De modo particular, en este estudio se observaron diversos organismos habitando de forma habitual y temporal en los embalses durante todo el periodo de muestreo.

En primera instancia se tienen a los peces, que han sido introducidos a estos cuerpos de agua como parte de un programa de extensionismo acuícola y que fueron observados en algunas ocasiones. En estos y otros embalses del municipio se ha introducido a la carpa (*Cyprinus carpio* var. *rubrofuscus* y C.c. var. *specularis*), que según Moreno (2004) en cuerpos de agua del municipio llega a pesar de 3 a 5 kg (aunque el promedio es de 500 g) y medir de 0.5 a 0.6 m de longitud, esta especie necesita crecer en ambientes con temperatura de 20 a 23°C ya que a temperaturas menores de 18 °C casi no crece. Debido a que las características de los organismos que se pudieron observar representan individuos de talla pequeña (no mayor a 15 cm), y lo cual también fue observado en otros microembalses por López-Blanco y Zambrano-González (2001), por lo que se considera que los embalses Lagarto y Cuauhtémoc no proporcionan las condiciones óptimas para el desarrollo de esta especie, ni en lo referente a las características hidrológicas (pH, oxígeno, nutrientes, etc.) ni a las ambientales (clima). Hernández (1999) concluyó que en embalses cercanos a esta zona (Tlaxcala) los factores que influyeron en el crecimiento de las carpas fueron, en orden de importancia, las variables morfométricas, la producción primaria, la componente edáfica, nutrientes, temperatura y área superficial, lo que sugiere y se puede considerar en este estudio, es que la variación del volumen tan notable en ambos sistemas afecta de manera directa la talla de los peces.

Se sabe que el producto de la pesca en estos sistemas es utilizado para el autoconsumo, aunque en otros cuerpos cuando existe un excedente se vende a comunidades vecinas, no se tiene claro si hay alguna persona que se encargue del cuidado en particular de las carpas, es decir, que este al pendiente de fertilizar los sistemas si es necesario, de verificar las tallas o la siembra de los peces, etc.

En el mes de diciembre se registró la presencia de acociles (*Cambarellus* sp.) en el canal de agua que abastece al Lagarto; sin embargo, no fueron vistos dentro de los cuerpos de agua, posiblemente debido a sus hábitos y a la gran cantidad de sólidos presentes. Los acociles son de los pocos crustáceos que habitan los arroyos y depósitos lacustres continentales por lo que son considerados organismos cosmopolitas, ya que han logrado distribuirse en todo el continente, tanto en climas templados como subtropicales (Rodríguez-Serna y Carmona-Osalde, 2002). Generalmente se localizan en las orillas de los lagos, ya que encuentran refugio entre la capa de vegetación acuática que suele estar presente. Se alimentan de pequeños invertebrados, detritus y vegetación acuática, pueden ser utilizados por los lugareños como complemento alimenticio en determinadas épocas del año. Suelen ocupar habitats semipermanentes lénticos y por lo general cálidos, ya que requieren de un intervalo de temperatura de aproximadamente desde los 20°C hasta los 25°C. Las poblaciones de acocil o camarón de río, se han encontrado en aguas con pH que fluctuá de 6.0 hasta 10.0 y valores bajos de alcalinidad y dureza, sus características fisiológicas les permiten adaptarse a variaciones climáticas extremas ya que son tolerantes a los cambios de humedad y temperatura (Rodríguez, 1999).



En cuanto a los anfibios, en México existen 290 especies de las cuales el 60.7% son endémicas y el 83.4% son endémicas de Mesoamérica. Los datos recientes muestran que el 22% de las especies de anfibios y reptiles de México se encuentran en peligro de extinción, esto debido indirecta o directamente por las actividades humanas, destruyendo su hábitat natural, contaminación de agua y suelo, introducción de especies exóticas, etc. (Camargo, 1997). Las ranas (*Rana* sp.) se alimentan de pequeños artrópodos y su principal hábitat son las charcas y alrededores de éstas, se sabe que algunas especies de ranas destruyen las puestas de los peces y los renacuajos compiten directamente con los alevines, aunque también son presa y sirven como alimento a los mismos peces (Casas-Andreu, 1979).

Respecto al ambiente acuático propiamente dicho, también se observaron a distintas especies de aves. En primer lugar se encuentran las garzas *Ardea alba* y *Bubulcus ibis*. *Ardea alba* es un ave migratoria de distribución cosmopolita ya que se puede encontrar en sistemas acuáticos, tanto tropicales como templados, como son la costa, llanuras aluviales, márgenes de los ríos, estuarios, pantanos costeros, manglares y marismas, así como campos abiertos, tierras agrícolas, campos de arroz y zanjas de drenaje. Por lo general mide aproximadamente de 89 a 107 cm, tiene un plumaje blanco, pico amarillo y patas negras, se alimenta de peces, ranas, insectos acuáticos y terrestres, crustáceos y aves pequeñas. Por lo general las garzas se crían en colonias a menudo mezcladas con otras. En las zonas templadas, se reproducen en primavera o verano (McTavisch, 2001).

Bubulcus ibis se puede considerar de tipo migratoria ya que solo fue vista en el mes de diciembre en sistema Cuauhtémoc y, aunque no se observó en bordo Lagarto, si fue vista en el bordo que se encuentra a unos metros de distancia de él, esto puede deberse a que el Lagarto presenta una menor cobertura vegetal. Esta ave forma grupos gregarios y se ven asociadas con el ganado u otros animales que apacientan en los potreros. Se les ve con frecuencia en campos agrícolas al pasar las máquinas, ya que buscan insectos y pequeños vertebrados como ranas y lagartijas. Se encuentran ampliamente distribuidas por todo el mundo (Napoleón, 1999).

El pato observado (posiblemente *Anas diazi*, pato mexicano) en general, no se les considera una especie migratoria, porque la mayor parte de su población es residente del Altiplano y del centro de México, pero durante el año, pueden cambiar de un lugar a otro en busca de embalses para cubrir sus requerimientos de alimentación, reproducción y refugio. Estos desplazamientos, locales o regionales, son temporales de acuerdo a la disponibilidad de agua y alimento, o necesidad de otros recursos como una buena cobertura herbácea para anidar (Medina-Torres *et al*, 2007) esto explica por que fueron observados en distintas ocasiones en los embalses durante el periodo de estudio y la preferencia de las aves por el sistema Cuauhtémoc al presentar este una mayor cobertura vegetal. Estas aves por su abundancia en los cuerpos de agua intervienen activamente en el ecosistema consumiendo determinadas plantas, contribuyen a la eutrofización de los estanques al proporcionar un abono fecal ocasionando una sobrecarga orgánica. Ocasionalmente pueden ser predadores indirectos de los peces ya que absorben los huevo depositados en las hidrófitas, también intervienen en la repoblación de aguas vírgenes al introducir los huevos de los peces que van pegados a sus patas (Medina-Torres *et al*, 2007).



Las gallaretas (*Fulica americana*) también son aves migratorias aunque se observaron en más ocasiones que otras aves, sin embargo, en el caso del embalse Cuauhtémoc de abril a junio, cuando el nivel de agua ya no cubrió los manchones de *Schoenoplectus sp* estas aves no habitaron el sistema, pero otros cercanos si. En el bordo Lagarto se observó de manera ocasional debido a la poca cobertura vegetal, pero sí se presentó en el sistema contiguo a él. Ambas especies utilizan los manchones de *Schoenoplectus sp.* de los embalses como sitios de anidación y refugio. La alimentación de estas aves es variada, aunque en general herbívora completándola con insectos, se desplazan nadando buscando material vegetal en la superficie del agua y en ocasiones si es necesario se sumergen (Alonzo, 2000).

En general, la presencia de tipo temporal de estas aves respondió al factor climático, ya que la mayor ocurrencia se dio en los meses de lluvia (julio-noviembre) y la menor a los meses secos (marzo-junio) del periodo estudiado.

Por otro lado, la presencia de un mayor número de aves acuáticas en los sistemas también está relacionada con el crecimiento de vegetación acuática, ya que la dieta principal de los patos son las plantas flotantes, complementándola con insectos y vegetación enraizada. Además, las aves acuáticas tienen diferentes adaptaciones y estrategias de alimentación y reproducción, las cuales dependen de la profundidad del agua en los sistemas, el tipo de sustrato, la cobertura vegetal y otras variables ambientales. Son un eslabón importante en la cadena trófica de este tipo de ecosistemas, pues además de ser consumidores aportan al ambiente compuestos orgánicos de restitución como el fósforo mediante sus deyecciones (Alonzo, 2000). En este estudio se observó que aves como las gallaretas y patos, principalmente y en particular en el embalse Cuauhtémoc, utilizaron los manchones formados por *Schoenoplectus sp.* como zonas de refugio y reproducción mientras el sistema presentó un volumen considerable, cuando este cuerpo se secó, las aves radicaron en otros cuerpos de agua de la zona.

Es importante mencionar que existen especies que no son propiamente acuáticas, como ya se mencionó en los resultados, existen organismos como el zorrillo, tlacuache, conejos, lagartijas, etc. que utilizan los embalses como abrevaderos, aunque estos no fueron observados durante el tiempo de estudio, se sabe de ellos por información proporcionada por los lugareños y registros de algunos estudios.

5. Fitoplancton

El fitoplancton es la fracción vegetal de la comunidad que vive suspendida en el agua y a merced de sus movimientos (Lara *et al*, 1996) y en los sistemas acuícolas está formado por casi todos los grupos taxonómicos de algas, aunque es importante resaltar que el termino "alga" se aplica tanto a formas fotosintéticas microscópicas constituidas por una sola célula, hasta formas macroscópicas con una organización superior, que pueden alcanzar varios metros de longitud (Martínez, 1998)

Una comunidad fitoplanctónica consiste en un conjunto diverso de poblaciones de especies. Cada una de estas especies y su dinámica de crecimiento está influenciada por una serie de parámetros ambientales (físicos, químicos y biológicos) que experimentan constantes variaciones temporales (Wetzel, 1981).



La evaluación de las comunidades fitoplanctónicas de los sistemas, indica que la menor densidad de organismos por litro (52,796 org/L) para el sistema Lagarto se encontró en diciembre; en general, hasta el mes de junio las concentraciones de fitoplancton fueron más bajas que después de la época de lluvia, ya que durante esta última aumentó de forma notable la densidad de fitoplancton alcanzando un máximo de organismos en el mes de septiembre (3, 767,395 org/L).

En el bordo Cuauhtémoc la máxima densidad se registró en marzo (4, 561,603 org/L) influenciado principalmente por una gran abundancia de *Navicula*, pero al igual que el embalse anterior, para los siguientes meses existió un decremento y al inundarse nuevamente el sistema se incrementa esta densidad, para luego comenzar a decaer las poblaciones.

Durante el periodo de estudio se observó que el fitoplancton no mostró algún grado de periodicidad, ya que durante el verano al presentarse temperaturas y cantidad de luz favorables, la constante mezcla de la columna de agua provocó una gran cantidad de material disuelto y suspendido, lo que disminuyó la penetración de la luz e influyó en la baja densidad de organismos, respecto a la registrada durante el otoño e invierno, ya que de agosto a noviembre se observó un incremento en la densidad, pese al descenso de la temperatura, lo cual coincide con lo planteado por Wetzel (1981)

Wetzel (1981) menciona que en las aguas dulces templadas se puede observar una clara periodicidad del fitoplancton. Durante el periodo de invierno de temperaturas e intensidades de luz bajas, el crecimiento es reducido, aumentando el número de células y la biomasa en primavera, al mejorar las condiciones de luminosidad; sin embargo, esto no se observa en estos embalses, principalmente por la constante mezcla de la columna de agua provocando una gran cantidad de material disuelto y suspendido, el cual disminuye la penetración de la luz.

Por otro lado, este autor también menciona que las poblaciones fitoplanctónicas de verano de lagos oligotróficos de zonas templadas, a menudo son bajas a lo largo del verano, desarrollando un segundo máximo en el periodo otoñal, con predominancia de diatomeas, para luego declinar en el periodo invernal, lo cual sucedió en estos sistemas.

En cuanto a la diversidad de especies de fitoplancton registradas en cada uno de los embalses, fue similar, lo que pone de manifiesto que a pesar de las aparentes diferencias entre ambos cuerpos de agua, al no existir grandes variaciones en las condiciones ambientales, la diversidad de organismos no cambia de manera significativa de un sistema a otro en áreas muy próximas, aún cuando estos presentan dimensiones y profundidades diferentes. Así, encontramos que para el embalse Lagarto se registraron un total de 22 géneros y para el embalse Cuauhtémoc 23.

De las divisiones más conspicuas presentes en ambos sistemas, la división Chlorophyta fue la más abundante seguida de la Chromophyta y Cyanophyta en el embalse Lagarto. Mientras que en el sistema Cuauhtémoc el orden de abundancia de los géneros fue Chromophyta, Chlorophyta, Cyanophyta y Euglenophyta, de ésta última se encontraron dos géneros, los cuales de acuerdo a De la Lanza *et al.* (2000), muchas veces están relacionados con la presencia de elevadas concentraciones de materia orgánica, que pueden resultar de las diversas actividades antropogénicas.



Los grupos de fitoplancton mostraron un comportamiento temporal, registrándose en una o varias ocasiones durante el periodo de estudio. Este comportamiento obedece a que los ciclos de vida del fitoplancton son cortos y a que estos reflejan fluctuaciones ambientales del medio que habitan, ya que responden rápidamente a los cambios que pueden ocurrir en las masas de agua por procesos naturales o por las actividades antropogénicas (De la Lanza *et al.*, 2000). Entre éstos cambios ambientales podemos citar al pH, la temperatura, la concentración de nutrimentos, la cantidad de luz que está en función de la cantidad de sólidos presentes en la columna de agua, al clima e incluso la ingestión de los peces.

En el bordo Lagarto se observó una aparición más o menos homogénea de las clorofitas y cromofitas a lo largo del tiempo de estudio, ya que aparecen en igual número de ocasiones (9) y con número de géneros similares, las diatomeas fueron más abundantes en la época de seca, quizá por el proceso de mineralización que sufre el cuerpo de agua según lo propuesto por Arredondo-Figueroa y Ponce Palafox (1986). En el sistema Cuauhtémoc, las clorofitas fueron más diversas y es más notoria su abundancia mes a mes en comparación de las otras divisiones halladas; tanto las poblaciones de las clorofitas como de las diatomeas aumentaron durante la época de lluvia.

La diferencia entre los embalses respecto a la dominancia de ciertos grupos es un factor que depende no sólo del tipo de aportes que llega a los cuerpos, sino de la dinámica interna de los mismos; factores como la morfometría, el volumen de agua y la circulación o permanencia causada por la apertura de la compuerta aunados con la temperatura, pueden influenciar en este comportamiento.

Algunos de los géneros encontrados en este estudio como *Cylindrospermum*, *Anabaena*, *Chroococcus*, *Merismopedia*, *Gomphosphaeria*, *Chlorella* y *Euglena* son mencionados por De la Lanza *et al.* (2000) como indicadores de aguas moderadas o ligeramente impuras. Margalef (1983) por su parte, menciona que géneros como *Ankistrodesmus sp.*, *Melosira sp.*, *Staurastrum sp.* y *Cyclotella sp.* están presentes en sistemas eutróficos.

6. Análisis de Impacto Ambiental.

Como toda obra de infraestructura realizada por el hombre, la construcción de embalses produce efectos diversos sobre los ecosistemas preexistentes y los modifica en varios sentidos. Como ya se mencionó, los impactos generados pueden ser positivos o negativos, en este caso y según lo contemplado en la matriz de impactos, la creación de estos cuerpos de agua en esta zona genera más impactos benéficos, sobre todo en el aspecto socioeconómico, estos beneficios aunque poco notables permiten a los lugareños tener más y mejores cosechas al contar con agua por más tiempo durante el año lo que contribuye al abastecimiento de agua y alimento adicional para su ganado, mejorar sus ingresos económicos y su alimentación y en resumen su nivel de vida. En contraparte, existen afectaciones negativas del entorno físico, químico y biológico pero en forma muy reducida al acotarse a áreas específicas restringidas que, además se encuentran previamente afectadas por la deforestación y despalme de los terrenos para el uso agrícola desde hace varias décadas. Por otra parte, hay impactos no contemplados en ambos sentidos, que se pueden generar de acuerdo al manejo que se le da a cada cuerpo tales como el desazolve de los bordos y de lo que depende en gran



medida el tiempo de vida de ellos; la invasión de plantas acuáticas, el aprovechamiento de los sistemas para otro tipo de cultivos además de carpas, etc.

Los beneficios que se pueden obtener por la construcción de embalses es en varios sentidos, por ejemplo la incorporación de especies de peces no nativas que han sido introducidas en cuerpos de agua y criadas en nuestro país como cita Arredondo-Figueroa (1983), las cuales se han adaptado de forma considerable, llegando a sostener algunas pesquerías que brindan beneficios de tipo social y económico. Sin embargo, se conoce poco acerca de los efectos que estas especies introducidas han ocasionado sobre la biota autóctona, sobre todo en cuerpos de agua naturales. En el trabajo realizado por Moreno (2004) encontró que en bordos, la mayoría de ellos artificiales, de la zona norte del estado de Puebla, incluidos cuerpos de agua del municipio de Chignahuapan, la especie afectada por la introducción de carpa y tilapia fue el ajolote mexicano (*Ambystoma sp.*); sin embargo no se puede afirmar que ello sucedió en los sistemas estudiados, puesto que no se tienen referencias de la presencia de estos organismos en ellos.

Por el contrario, también pueden obtenerse beneficios de los sedimentos de este tipo de sistemas, puesto que Margalef (1983) menciona que un embalse lleno de sedimentos es inútil como contenedor de agua ya que será invadido por la vegetación, por el contrario, si el sedimento es equivalente a suelo fértil existirá un incentivo para dragar los embalses, prolongar su vida y utilizar el sedimento extraído como fertilizante. Sin embargo, aunque se observó el dragado de los dos embalses, se sabe que estos no son utilizados como abono para los campos agrícolas.

Quiroz *et al* (1982) menciona que las macrofitas acuáticas en muchas ocasiones son consideradas como malezas por las infestaciones que producen en los cuerpos de agua, por lo que se hace necesario controlar su crecimiento y tratar de encontrar algún aprovechamiento. El uso de abonos verdes en labores agrícolas tiene como finalidad incorporar materia orgánica al suelo, así como todos los elementos nutritivos contenidos en los tejidos vegetales. El mismo autor encontró que especies como *Azolla filiculoides*, *Eichhornia crassipes* y *Nymphae mexicana* son susceptibles a tener este uso. El género *Azolla* fue registrado en los dos embalses mientras que *Nymphae* es pariente de *Nynphoides* por lo que se podría considerar tener beneficios adicionales, no contemplados al momento de la construcción de los sistemas, como podría ser el utilizar como abono estas hidrofítas, junto con el que ya es utilizado proveniente del ganado.

Al mismo tiempo, los embalses representan nuevos espacios que habitar para algunas hidrófitas, tal es el caso de *Marsilea mollis* que según Lot *et al* (2004) ha perdido los lugares que habitaba en el Valle México, por lo que este tipo de cuerpos de agua al no estar sometidos a la contaminación antropogénica proporcionan las condiciones idóneas para el crecimiento y establecimiento de ésta y otras especies de plantas acuáticas.

El impacto resultante de los embalses depende de las decisiones que se tomaron en relación con su construcción y su uso debe evaluarse en un marco territorial y social amplio. Desde el punto de vista ecológico, estos efectos trascienden del terreno exclusivamente limnológico a un contexto más amplio, ya que se pueden obtener beneficios económicos, alimenticios y un aprovechamiento más amplio de este tipo de cuerpos de agua (acuacultura) y por el contrario, si los embalses no reciben un mantenimiento adecuado (desazolve, apertura de compuertas, etc.) los resultados de la existencia de estos cuerpos pueden ser perjudiciales no solo a las tierras cercanas, sino también a la población.



Por otra parte, es necesario aclarar que por sus dimensiones y utilidad práctica, la construcción de este tipo de sistemas, no requieren por parte de las autoridades ambientales, que se lleve a cabo una evaluación formal del impacto ambiental. No obstante, en este estudio se efectuó como un ejercicio para realizar una evaluación integral, que cumpla con los lineamientos requeridos para entender los procedimientos necesarios para realizar una evaluación de impacto ambiental. Lo aquí presentado muestra los requerimientos necesarios para vislumbrar los impactos generados y las medidas de mitigación potencialmente necesarias, no obstante, no se realizó la matriz cribada que también debe de incluirse en este tipo de trabajos, en la cual se asigna un valor numérico a cada impacto según su importancia por las características de este tipo de infraestructura.

Las medidas de mitigación proporcionan una herramienta para tratar de contrarrestar los impactos negativos que se generan, sobre todo, durante las etapas de construcción, operación y mantenimiento, y las que se espera sean empleadas por las personas a cargo de la construcción de estos cuerpos de agua.



VIII. CONCLUSIONES

- * Los embalses estudiados (Lagarto y Cuauhtémoc) presentan una morfometría particular producto del sitio en que fueron construidos y cuyas variaciones están en función de la temporalidad y del uso del agua que estos contienen.
- * Ambos sistemas presentan una etapa de concentración, determinada por la época de seca y observada de diciembre de 2004 a junio de 2005 y otra de dilución debida a la época de lluvia y registrada de agosto a noviembre de 2005.
- * En los cuerpos de agua se observó baja transparencia debido principalmente a la cantidad de material en suspensión (sólidos disueltos y suspendidos), situación que en el embalse Lagarto permitió en algunos meses del muestreo, que la luz no calentara la parte profunda de la columna de agua.
- * Las temperaturas registradas en los cuerpos indican que no hay estratificación térmica en la columna de agua en ambos embalses.
- * Los valores de alcalinidad y dureza total sugieren que ambos sistemas poseen aguas poco productivas y de tipo blandas.
- * En el embalse Cuauhtémoc los valores de conductividad, amonio, ortofosfatos, sólidos disueltos y suspendidos se incrementan de manera muy notoria conforme disminuye el nivel de agua.
- * Con base en lo establecido por las Normas Oficiales Mexicanas ambos sistemas rebasan los límites permisibles en cuanto a la cantidad de mg/L de PO_4^{2-} , por lo que se considera que el agua no es apta para el uso en el riego agrícola.
- * Debido a la talla de los organismo observados de carpas (*Ciprinus carpio communis*) se consideran que las condiciones que presentan ambos embalses no son las adecuadas para el crecimiento óptimo de esta especie.
- * El número de hidrófitas registradas (6 en bordo Lagarto y 7 en el bordo Cuauhtémoc) es similar y en su mayoría son compartidas por los embalses.
- * En el caso de la fauna registrada sucede lo mismo, ya que esta es afín en los sistemas. Los patos (*Anas sp.*) y las gallaretas (*Fulica american*) son de tipo migratorio y utilizan la vegetación de los bordos como zonas de refugio, alimentación y reproducción.
- * Se registraron un total de 22 géneros de algas fitoplanctónicas en el embalse Lagarto y 23 en el bordo Cuauhtémoc, de las cuales las más abundantes fueron las cromofitas y las clorofitas respectivamente.



- * Con base en la frecuencia de impactos adversos y benéficos registrados, se tiene que el Medio Físico es el más afectado negativamente; por el contrario, el Medio Socioeconómico es el más beneficiado con la presencia de estos embalses al registrar sólo impactos benéficos. El Medio Biológico se ve equilibrado entre ambos tipos de impactos.

- * Con base en el número y tipo de impactos generados por la construcción de estos bordos de captación de agua se determinó que tanto los impactos adversos como los benéficos son poco significativos y que estos últimos predominan sobre los primeros particularmente en el componente socioeconómico, e incluso en el biológico mismos que se pueden obtener a partir de la disposición del agua contenida en los bordos.



IX. LITERATURA CITADA

- Aguilar V., M. G. 1996. *Aplicación de las técnicas Lista de Chequeo, Matriz de Leopold y Sobreposición de mapas para evaluar el impacto ambiental del proyecto denominado "Sistema Regional la Zurda-Presa Calderón" para la zona metropolitana de Guadalajara, Jalisco*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. UNAM. México, D. F. 68 p.
- Alonzo P., D. E. 2000. *Aves acuáticas en el sureste de México*. Duks Unlimited de México. A. C. Disponible en <http://www.ine.gob.mx/dgoece/diplomado/download/alonzo.pdf> (Revisado en diciembre de 2007)
- APHA-AWWA-WPCF. 1992. *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. 17ª edición, Ediciones Díaz de Santos. Madrid, España. 874 p.
- Arredondo-Figueroa, J. L. y A. Flores-Nava, 1992. *Características limnológicas de pequeños embalses epicontinentales, su uso y manejo en la acuacultura*. Hidrobiológica 3(4):1-10.
- Arredondo-Figueroa, J. L. y S. D. Lozano-Gracia, 1994. *Water quality and yields in a polyculture of nonnative cyprinids in México*. Hidrobiológica 4 (1-2):1-8
- Arredondo-Figueroa, J. L. y J. T. Ponce-Palafox. 1986. *Aporte al conocimiento limnológico de un embalse temporal tropical, por medio de la aplicación de modelos multivariados*. Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. UNAM. 13(2):47-66.
- Arredondo F., J. L. y J. T. Ponce P. 1998. *Calidad del agua en acuacultura: conceptos y aplicaciones*. AGT Editor, S. A. México. 222 p.
- Arredondo-Figueroa, J. L. 1983. *Especies animales acuáticas de importancia nutricional introducidas en México*. Biótica 8(2):175-199.
- Arriaga Cabrera, L., V. Aguilar Sierra y J. Alcocer Durand. 2000. *Aguas continentales y diversidad biológica de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. México. 327 p.
- Arrignon, J. 1984. *Ecología y piscicultura de aguas dulces*. 2ª ed. Mundo-Prensa. España. 390 p.
- Avelar E., J y M. Garduño P., 1996. *Edad y crecimiento de la mojarra (Oreochromis niloticus) en la laguna de Coatetelco, Morelos*. Tesis de licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. UNAM. México. D. F. 71 p
- Bautista Z. F., Delfín G. H., Palacio P. J. L., Delgado C. M. C. 2004. *Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales*. 1ª edición. UNAM, U. A. y CONACYT, INE. México. 507 p.
- Boney, D. A. 1975. *Phytoplankton*. Editorial Edwqard Arnold. 98 p.
- Bonilla B., J. R. 1992. *Flora y vegetación acuática vascular de las lagunas de Zempoala, Morelos, México*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM. México, D. F. 134 p.
- Bonilla B., J. R. y A. Novelo R., 1995. *Manual de identificación de plantas acuáticas del Parque Nacional Lagunas de Zempoala, México*. Cuadernos 26. Instituto de Biología. UNAM. México. 168 p.
- Bourrelly, P., 1985. *Les algues d'eau douce: initiation á la systématique*. Ed. N. Boubée. Paris. 512 p



- Calleros C., J. A. y J. L. Romo L. 2004. *Análisis de la organización para la producción forestal y el potencial agroforestal para la rehabilitación de áreas perturbadas en Chignahuapan, Puebla*. Tesis de Maestría. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. México. 68 p.
- Camargo, C. E. 1997. *Determinación de metales pesados en el anfibio Bufo valliceps en la zona agrícola de Metztlán, Hidalgo*. Tesis de Licenciatura. E.N.E.P. Iztacala. UNAM.
- Camargo G., T. 2004. *Relación entre la vegetación acuática y la abundancia y diversidad de peces en manantiales de la cuenca del Lerma (Michoacán)*. Tesis de Maestría (Limnología). Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. UNAM. México, D. F. 76 p.
- Casas-Andreu, G. 1979. *Anfibios y reptiles de México: Claves ilustradas para su identificación*. Limusa. México. 87 p.
- Ceballos G. y C. Galindo, 1984. *Los mamíferos de la cuenca de México*. Instituto de Ecología A. C. y Museo de Historia Natural de la Cd. de México. Ed. Limusa, México. 299 p.
- Ceja M., S. y M. J. Gazano M. 1994. *Estudio de las características hidrobiológicas con fines de producción piscícola en los embalses temporales: Cantarranas y Cuautepec del municipio de Acatlán en el estado de Hidalgo*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. UNAM. México, D. F. 106 p.
- Cocklin C., Parker S. y Hay J., 1992. *Notes on Cumulative Environmental Change II: a Contribution to Methodology*. Journal of Environmental Management. 35:51-67.
- Conant, R. 1975. *Reptiles and Amphibians, eastern/central north america*. Peterson Field Guides. 2a ed. 429 p.
- Conesa F., V. 1997. *Guía metodológica para la evaluación de impacto ambiental*. 3ª ed. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 412 p.
- Contreras, E. F. 1994. *Manual de técnicas hidrobiológicas*. Ed. Trillas. México, D. F. 149 p.
- CPEHS, 1990. *Manual Básico de Evaluación del Impacto al Ambiente y la Salud en Proyectos de Desarrollo*. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud, OPS-OMS. México, 198 p.
- Cronk, J. K y M. S. Fennessy. 2001. *Wetland plant: biology and ecology*. Lewis Publishers. U.S.A. 462 p.
- De la Lanza E. G., S. Hernández P. y J. L. Carvajal P., 2000. *Organismos indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (bioindicadores)*. Ed. Plaza y Valdés S. A. México. 633 p.
- Diario Oficial de la Federación (D. O. F.) 2002. *NOM-059-ECOL-2001*, Protección ambiental - Especies nativas de México de flora y fauna silvestres - Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio - Lista de especies en riesgo. Publicada el miércoles 6 de marzo de 2002 en el Diario Oficial. SEMARNAT.
- Diario Oficial de la Federación (D. O. F.). 1996. *NOM-001-ECOL-1996*. Que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales y bienes nacionales. Publicada en el Diario Oficial el 24 de diciembre de 1996. SEMARNAP.



- Diario Oficial de la Federación (D. O. F.). 2000. *Modificación a la 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. Publicada el 20 de junio de 2000. Secretaría de Salud.
- Díaz-Pardo E., C., y G. Vázquez. 1986. *Estudio bioecológico de la laguna de Atezca, Hidalgo, México*. I Análisis limnológico. Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, 30: 171-180
- Dorantes G., E. y M. B. Zavala M. 2003. *Estudio de la calidad del agua de tres cuerpos acuáticos en el estado de Morelos*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. UNAM. México, D. F. 92 p.
- Flores C., J. H. 2001. *Impactos ambientales de presas y bordos*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ingeniería. INAM. México. 110p.
- Gaceta Ecológica. 1990. Programa Nacional Para la Protección del Medio Ambiente 1990 – 1994. Vol. II, Número 9, Julio. 8-13 p.
- García C., J. L. y R. Torres O. 1995. *Introducción al manejo de datos limnológicos*. 1ª. ed. Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Iztapalapa. México.130 p.
- García M. A. y M. Martínez. 2001. *Flora y vegetación acuáticas de localidades selectas del estado de Querétaro*. Acta Botánica Mexicana 54:1-23.
- Gómez O., D. 1999. *Evaluación del Impacto Ambiental*. Editorial Mundi-Prensa Agrícola Española.701 pp
- Gómez S., M. y M. Martínez. 2006. *Descripción anatómica vegetativa de dos especies de Nymphoides (Menyanthaceae)*. Revista Mexicana de Biodiversidad. 77:81-87.
- González de Infante, A. 1988. *El plancton de las aguas continentales*. Secretaria General de la Organización de los Estados Americanos. Washington. 87 p.
- González R., J. M. y A. López G., 1997. *Aspectos hidrobiológicos de la presa "Emiliano Zapata", Morelos, México*. Tesis de licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. UNAM. México. D. F. 81 p
- Gray, N. F. 1996. *Calidad de agua potable. Problemas y soluciones*. Editorial Acribia, S. A. Zaragoza, España. 365p.
- Guerrero L., M. 1991. *El agua*. 1ª edición. Rev. La ciencia para todos. Fondo de Cultura Económica, S.A. de C.V. México, D. F. Disponible en <http://www.omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/102/htm/elagua.htm> (Revisado en abril de 2007)
- Hammer A., D. 1997. *Creating freshwater wetlands*. Lewis Publishers. Second Edition. 406 p.
- Hepher, B. y Y. Pruginin. 1981. *Commercial fish farming*. John Wiley and Sons Publisher. Nueva York. 261 p.
- Hernández A., J. S. 1999. *Limnología de pequeños embalses en el estado de Tlaxcala*. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias. UNAM. México, D. F. 102 p.



- Hernández-Avilés y B. Peña-Mendoza. 1992. *Rendimientos piscícolas en dos bordos semi-permanentes en el estado de Morelos, México*. Hidrobiológica 3 (4):11-23
- Howell S.N.G. and Webb S. 2001. *A guide to the birds of México and Northern Central America*. Oxford University Press Inc. New York. 851 p.
- INEGI. 1984. Carta Edafológica de Chignahuapan, Hidalgo y Puebla. Escala 1:50 000. E14B13
- INEGI. 1995. Chignahuapan, Estado de Puebla. Cuaderno Estadístico Municipal. 121 p.
- INEGI. 2000. Síntesis Geográfica del Estado de Puebla y Anexo Cartográfico. INEGI.
- INEGI. 2006. Anuario Estadístico del Estado de Puebla. INEGI. 1253 p.
- Juárez A., O. E. 2005. *Microalgas en tres sistemas acuáticos del estado de México*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. UNAM. México. D. F. 85 p.
- Lara V., M.A., J.L. Moreno R. y E.J. Amaro M. 1996. *Fitoplancton. Conceptos básicos y técnicas de laboratorio*. 1ª ed. Universidad autónoma Metropolitana. Unidad Iztapalapa, México. 227 p.
- Leopold, L. B., 1971. *A Procedure For Evaluating Environmental Impact*. Geological Survey Circular, U.S.A. Department of Interior, Washington D.C.
- López-Blanco, J. y L. Zambrano-González. 2001. *Propiedades limnéticas de sistemas dulceacuícolas pequeños en Acambay, México: correlación de datos de campo con imágenes de video en color*. Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía. 44:64-84
- López- López, E. y J. A. Serna-Hernández. 1999. *Variación estacional del zooplancton del embalse Ignacio Allende, Guanajuato, México y su relación con el fitoplancton y factores ambientales*. Rev. Biol. Trop. 47 (4): 643-657
- Lot, A., A. Novelo y E. Esparza. 2004. *Iconografía y estudio de plantas acuáticas de la ciudad de México y sus alrededores*. Instituto de Biología, UNAM. México. 206 p.
- McTavisch, A. 2001. *Biogeografía de la garza (Ardea alba)*. Universidad estatal de San Francisco. Departamento de Geografía. Disponible en <http://bss.sfsu.edu/holzman/courses/Fall01%20projects/gEgretWeb.htm> (Revisado en junio de 2008)
- Madrigal G. X., A. Novelo R. y A. Chacón T. 2004. *Flora y vegetación acuáticas del Lago de Zirahuén, Michoacán, México*. Acta Botánica Mexicana. 68:1-38.
- Magallon, B. S., M. J. Paulo, y P. E. Díaz. 1992. *Avances en el conocimiento de la presa "Los Carros" Morelos, un embalse de reciente formación*. Universidad: Ciencia y Tecnología, U.A.E.M. 2(2): 121-130.
- Mangas R., E. 1990. *Contribución al conocimiento de las diatomeas planctónicas del embalse La Goleta, Estado de México, periodo febrero de 1989 a enero de 1990*. Tesis de Licenciatura. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala. UNAM. México, D. F. 70 p.
- Manríquez L., Y. 2005. *Edad y crecimiento de Oreochromis niloticus por medio de otolitos en el lago de Coatetelco, Morelos*. Tesis de licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. UNAM. México. D. F. 110 p



- Margalef, R. 1976. *Biología de los embalses*. Investigación y ciencia, 1:50-62.
- Margalef, R. 1983. *Limnología*. Editorial Omega. Barcelona, España. 1010 p.
- Martínez C., L. R. 1998. *Ecología de los sistemas acuícolas: bases ecológicas para el desarrollo de la acuicultura*. 1ª ed. AGT Editor, S. A. México. 227 p.
- Mason, C. F. 1984. *Biología de la contaminación del agua dulce*. Editorial Alambra S. A. Madrid España. 289 p.
- Medina-Torres, S.M., M. Márquez-Olivas y E. García-Moya. 2007. *Uso y selección de embalses por el pato mexicano (Anas diazi) en la región del Llano, Aguascalientes-Jalisco, México*. Acta Zoológica Mexicana 23 (2):163-171.
- Meerhoff, M. y N. Mazzeo, 2004. *Importancia de las plantas flotantes libres de gran porte en la conservación y rehabilitación de lagos someros de Sudamérica*. Rev. Ecosistemas 2004(2) Mayo-Agosto. Disponible en <http://www.aeet.org/ecosistemas/042/revision1.htm> (Revisado en febrero de 2005)
- Miller R., R. 2005. *Freshwater fishes of México*. The University of Chicago. United States of America. 490 p.
- Molina E., I. 2005. *Caracterización de algunos parámetros físico químicos del agua y sedimento del lago Zempoala, Morelos, México*. Acta Universitaria. Universidad de Guanajuato. 15(2):57-65 mayo-agosto.
- Mora-Olivo A. y J. L. Villaseñor. 2007. *Diversidad y distribución de la flora vascular acuática de Tamaulipas, México*. J. Bot. Res. Inst. Texas 1(1):511-527
- Moreno R., M. R. 2004. *Fomento de la producción piscícola en la zona norte del estado de Puebla (Chignahuapan, Pue.)*. Reporte de Actividad Profesional. Facultad de Estudios Profesionales de Iztacala. UNAM. México. D. F. 39 p.
- Napoleón M., J. 1999. *Aves de los humedales Bogotanos*. Disponible en <http://members.tripod.com/maomolina/aves.htm> (Revisado en diciembre de 2007)
- National Geographic Society. 2002. *Field Guide to the birds of North America*. Four edition. Washington, D.C. 480 p.
- Navarrete Salgado, N. A., G. E. Fernández, G. Contreras Rivero y M. Rojas Bustamante. 2000. *Policultivo de carpas y tilapias en bordos rurales del Estado de México*. Hidrobiológica 10(1):35-40
- Novelo R. A. y L. J. Ramos V. 1993. *Vegetación y flora acuáticas de la laguna de Yuriria, Guanajuato, México*. Acta Botánica Mexicana 25:61-79.
- Novelo R. A. y J. Rojas M. 1995. *Flora y vegetación acuáticas del lago de Cuitzeo, Michoacán, México*. Acta Botánica Mexicana 31:1-17.
- Ortega, M. M., 1984. *Catálogo de algas continentales recientes de México*. Coordinación de la Investigación Científica Instituto de Biología. UNAM. México. 565 p.
- Ortega, M. M., J. L. Godínez, G. Garduño S. y M. G. Oliva M., 1994. *Ficología de México, algas continentales*. AGT Editor. México. 221 p.



- Ortiz R., A., 2006. *Estudio de los sistemas acuáticos (lénticos) del estado de Morelos*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. UNAM. México. D. F. 153 p
- Ortiz R., O. 1998. *Análisis de diferentes técnicas para determinar el impacto ambiental y su aplicación en México*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ingeniería, UNAM. México, D. F. 143 p.
- Páez R., M. y J. M. Vargas H. 1994. *Ecología acuática, problemática ambiental en el estado de Veracruz*. Colegio de Biólogos del Estado de Veracruz A. C. y Universidad Veracruzana. México. 113 p.
- Patlani S., J. y G. Pérez O., 2002. *Edad y crecimiento de la tilapia (Oreochromis niloticus) de la presa "Emiliano Zapata", Morelos*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. UNAM. México. D. F. 87 p
- Patrick R. y W. Reimer Ch. 1975. *The diatoms of the United States. Exclusive of Alaska and Hawaii*. Vol. I y II. The Academy of Natural Sciences of Philadelphia. Number 13. 688 p.
- Pérez A., L. A. 1982. *Piscicultura: ecología, explotación e higiene*. 1 ed. Ed. El manual moderno S. A. México. 154 p.
- Ponce P., J. T. 1983. *Estudio del comportamiento físico-químico y de productividad primaria en el embalse temporal, utilizado para la piscicultura extensiva en el estado de Morelos, México*. Tesis de Licenciatura. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala. UNAM. México, D. F. 72 p.
- Prescott, G.W. 1962. *Algae of the Western Great Lakes Area*. WMC. Brown Company Publishers U.S.A. 977 p.
- Prescott, G. 1981. *How to know? The freshwater algae*. Fic. Key. Nature Serie. U.S.A. 348 p.
- Quiroz F.A., M.G Miranda A. y A. Lot H. 1982. *Uso potencial de algunas hidrófitas como abono verde en la zona chinampera de Xochimilco*. Biótica 7(4):631-633.
- Ramos M., S. 2001. *Análisis de la calidad del agua y biomasa del fitoplancton de la presa "Emiliano Zapata" Morelos, México*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM. México, D. F. 78 p.
- Rodier, J. 1990. *Análisis de las aguas*. Ed., Omega. Barcelona. 1059 p.
- Rodríguez C., N. 1999. *Estudio del plancton en la presa Villa Victoria, Edo. de México*. Tesis de licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. UNAM. D. F. 78 p
- Rodríguez-Serna, H. y C. Carmona-Osalde. 2002. *Balance energético del acocil Cambarellus montezumae (Saussure) (Crustacea: Astacidae: Cambarido) Pérdida de energía metabólica*. Universidad y Ciencia 18(36): 128-134.
- Rodríguez S. M. 1999. *Biología y sistemática de los Cambáridos del Sudeste de México y su potencial aprovechamiento en la acuicultura*. Tesis de Doctorado en Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma Metropolitana. Iztapalapa. 101 p.
- Rojas M., J. 1991. *Estudio de la flora y vegetación acuática vascular del Lago de Cuitzeo, Michoacán*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM. México, D. F. 78 p.



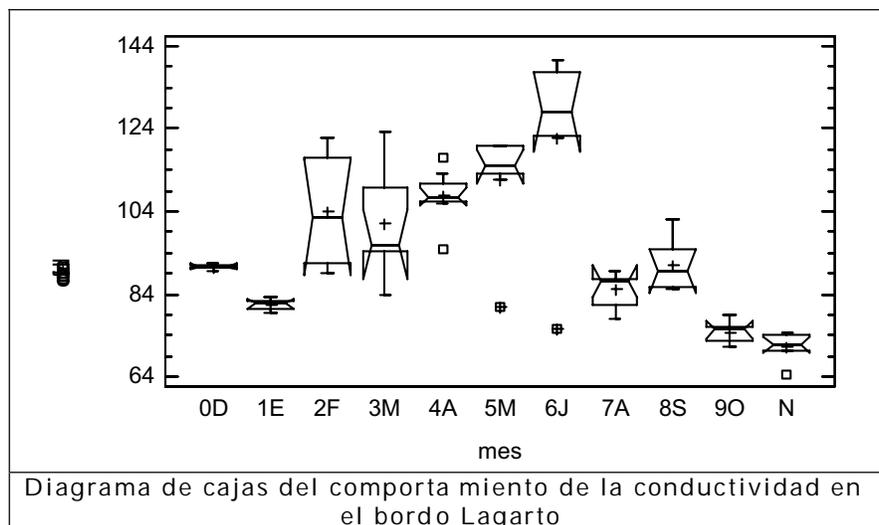
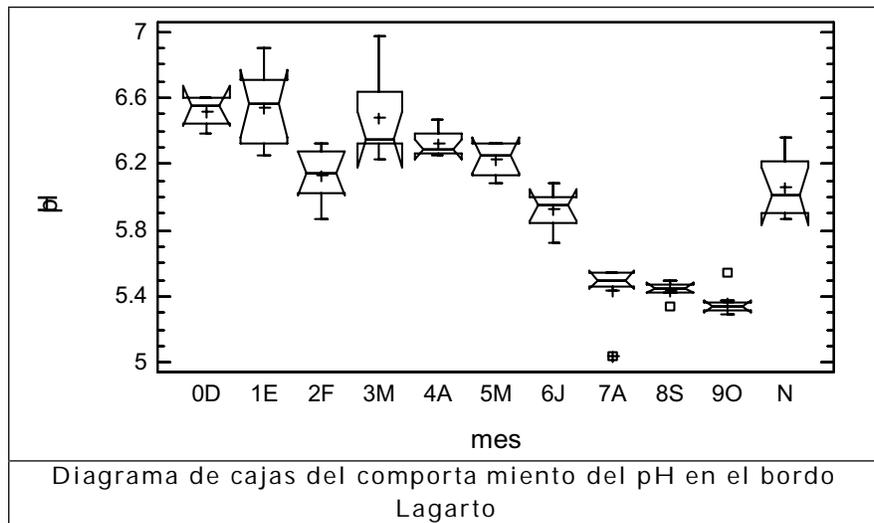
- Rojas M., J. y A. Novelo R. 1995. *Flora y vegetación acuáticas del lago de Cuitzeo, Michoacán, México*. Acta Botánica Mexicana. 31:1-18.
- Rubín R., R. 1976. *La piscifactoría, cría industrial de los peces de agua dulce*. 1ª ed. Ed. Continental S. A. México. 191 p.
- Rzedowski, J. y G. C. Rzedowski, 1979. *Flora fanerogámica del Valle de México*. Ed. Continental. México. 403 p.
- Rzedowski, J. 1983. *Vegetación de México*. Ed. Limusa. México. 432 p.
- Schwoerbel, J. 1975. *Métodos de hidrobiología, biología del agua dulce*. Ediciones Blume. Madrid. 262 p.
- Secretaría de Gobernación. 1988. *Los municipios de Puebla*. Enciclopedia de los municipios de México. 1175 p.
- SEMARNAT. 2000. *Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental*. México.
- Smith G. M. 1950. *The fresh-water algae of United States*. 2a ed. McGraw-Hill U.S.A. 719 p
- Smith, H. 1940. *Las provincias bióticas de México según la distribución de las lagartijas del género Sceloporus*. Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. IPN. México. (2):103-110
- Sterling P., O. 1991. *Evaluación de impacto ambiental del proyecto de construcción de la presa y zona de riego Llano de Mixquiapan, Hgo.* Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM. México, D. F. 91 p.
- Suchil V., M. A. 1990. *Determinación de la variación estacional del fitoplancton y su relación con los parámetros físicos y químicos de las lagunas de Sontecomapan y del Ostión, Ver. para el año de 1985*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. UNAM. México, D. F. 124 p.
- Torres-Orozco B., R. E. y J. L. García C. 1995. *Introducción al manejo de datos limnológicos*. 1ª ed. Universidad Autónoma Metropolitana. México. D. F. 130 p.
- Vallentyne, R. J. 1978. *Introducción a la limnología*. Ediciones Omega. Barcelona España. 679 p.
- Vázquez G., A. B. y E. César V. 1994. *Impacto Ambiental*. Facultad de Ingeniería UNAM. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. México. D. F. 258 p.
- Vizayakumar, K. y J.K. Mohapatra 1992. *Environmental Impact Analysis of a Coalfield*. Journal of Environmental Management. 34: 79-103.
- Wetzel, R. G. 1981. *Limnología*. Ediciones Omega. Barcelona. 679 p.



Anexo 1. Diagramas de Caja y Resultados de los ANDEVA

Como resultado del análisis estadístico en el embalse Lagarto se obtuvieron los siguientes diagramas de cajas, cabe mencionar que el número de sitios muestreados es variado, ya que estuvieron en función de la temporalidad que implica un aumento o disminución del área de cobertura de cada embalse, volumen y profundidad de los mismos. A cada mes se asignó un número y letra para su identificación en los diagramas quedando de la siguiente forma:

- 0D Diciembre
- 1E Enero
- 2F Febrero
- 3M Marzo
- 4A Abril
- 5M Mayo
- 6J Junio
- 7A Agosto
- 8S Septiembre
- 9O Octubre
- N Noviembre



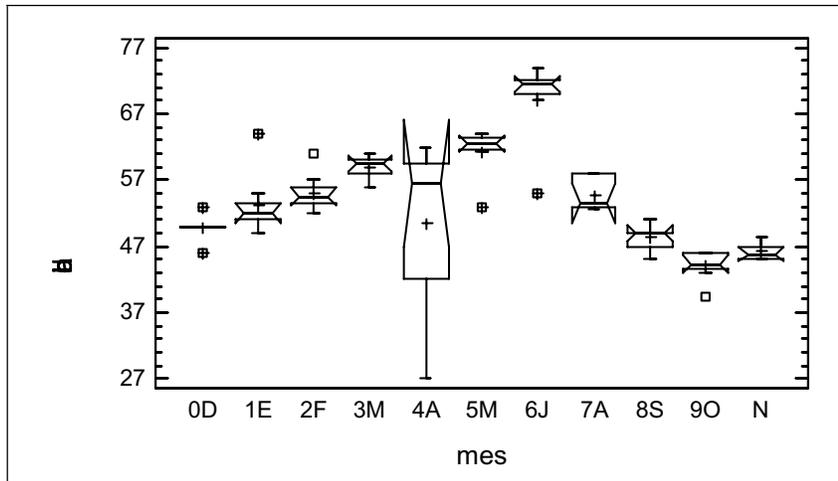


Diagrama de cajas del comportamiento de la alcalinidad en el bordo Lagarto

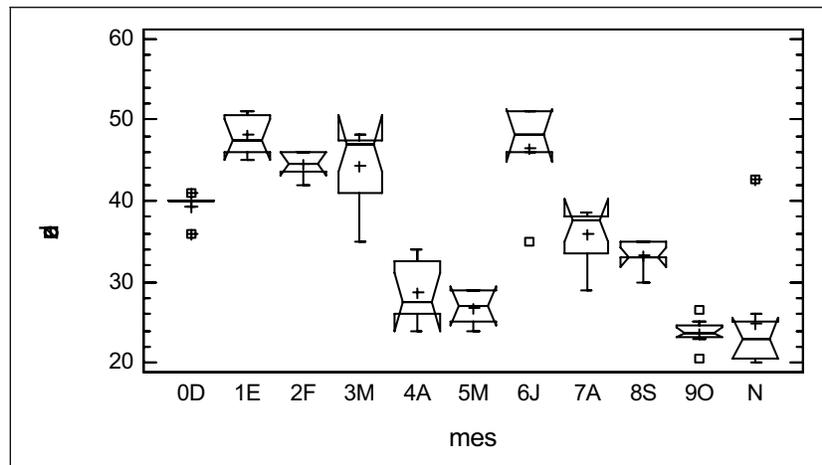


Diagrama de cajas del comportamiento de la dureza total en el bordo Lagarto

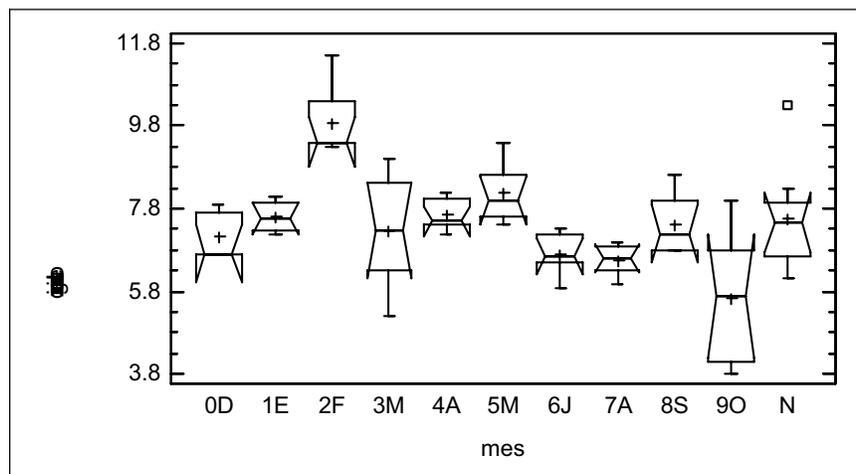


Diagrama de cajas del comportamiento de la oxígeno disuelto en el bordo Lagarto

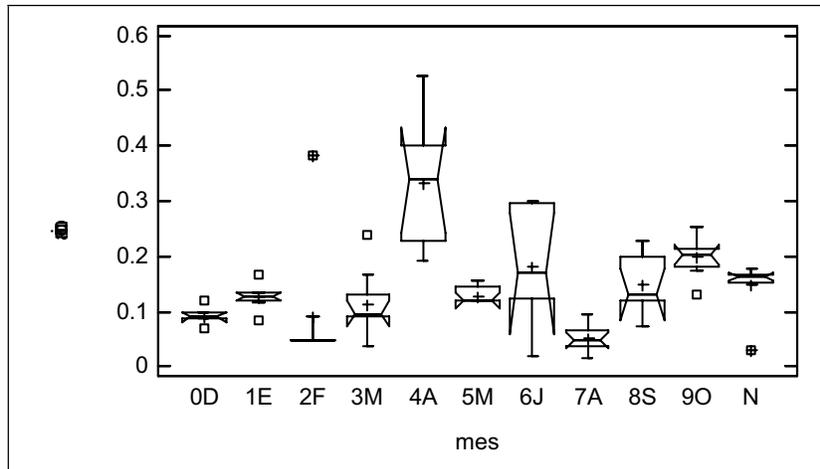


Diagrama de cajas del comportamiento del amonio en el bordo Lagarto

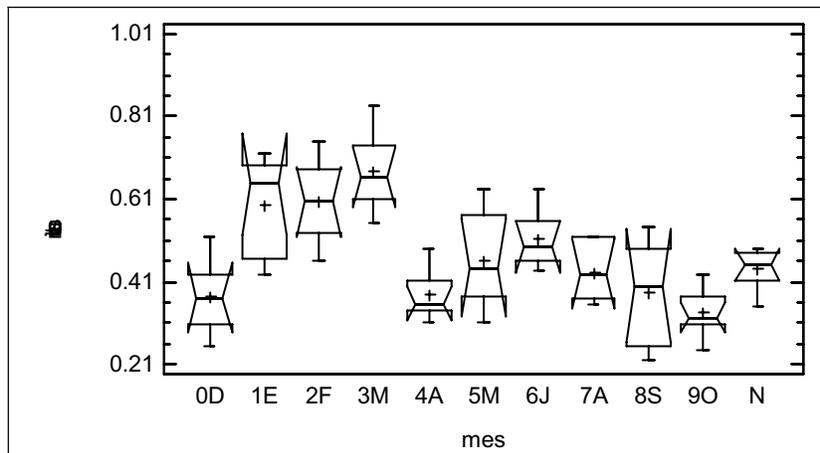


Diagrama de cajas del comportamiento de los nitratos en el bordo Lagarto

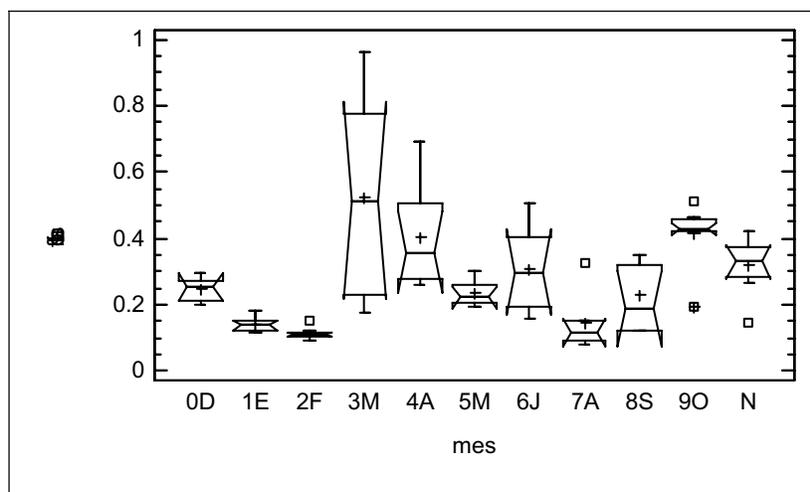


Diagrama de cajas del comportamiento de los fosfatos en el bordo Lagarto

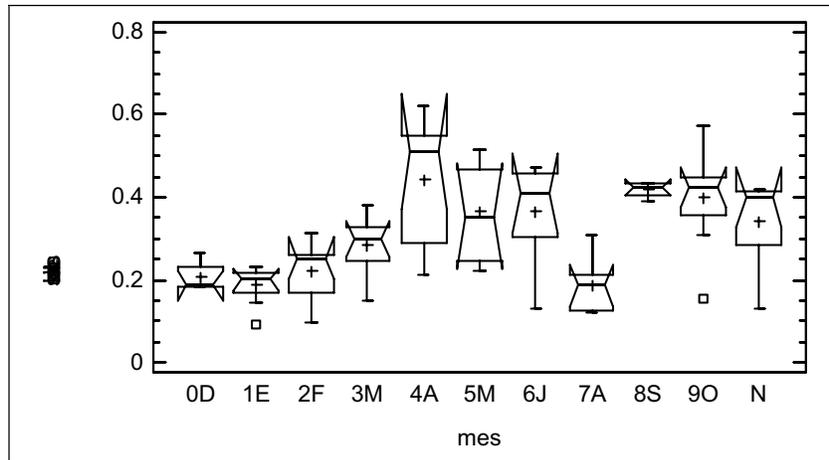


Diagrama de cajas del comportamiento de los sólidos disueltos en el bordo Lagarto

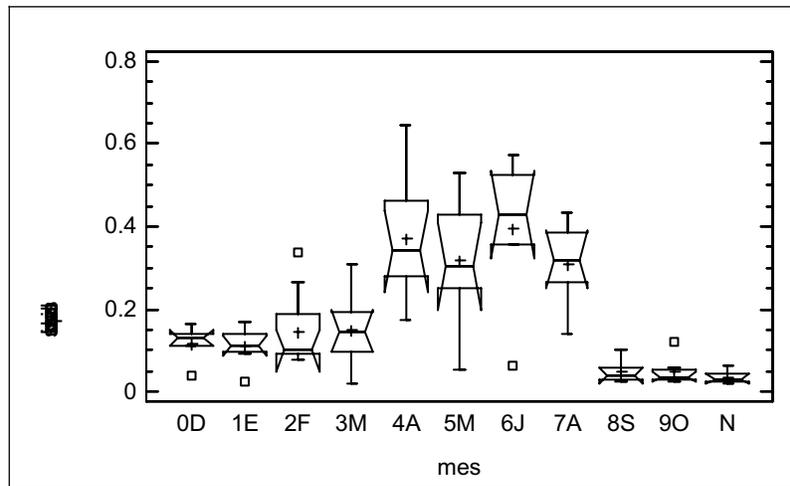


Diagrama de cajas del comporta miento de los sólidos suspendidos en el bordo Lagarto



En el embalse Cuauhtémoc se obtuvieron los siguientes diagramas de cajas, el número de registros mensuales es variado debido a la temporalidad que presentó el sistema, al igual que el caso anterior se asignó un número a cada mes que lo representa:

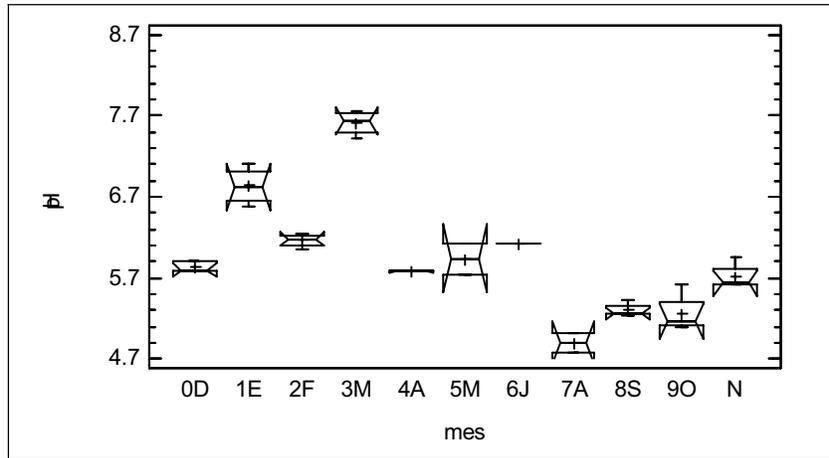


Diagrama de cajas del comportamiento del pH en el bordo Cuauhtémoc.

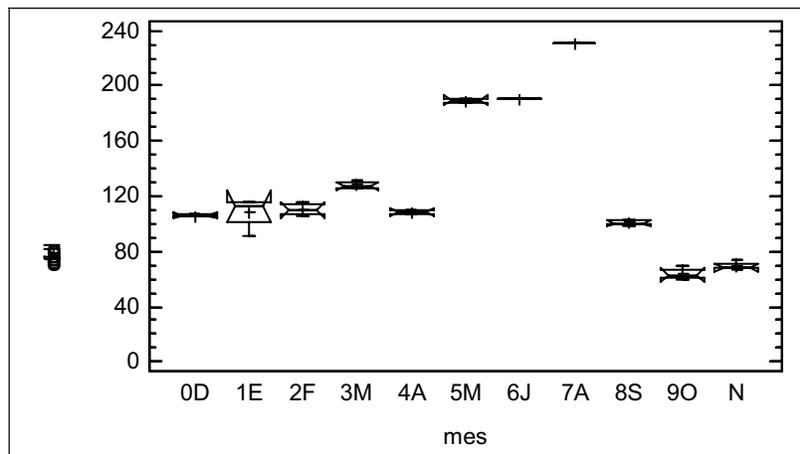


Diagrama de cajas del comportamiento de la conductividad en el bordo Cuauhtémoc.

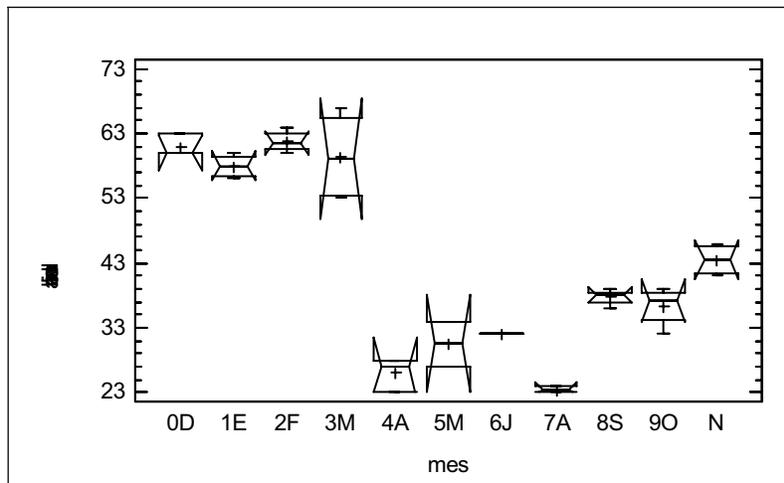


Diagrama de cajas del comportamiento de la alcalinidad en el bordo Cuauhtémoc.

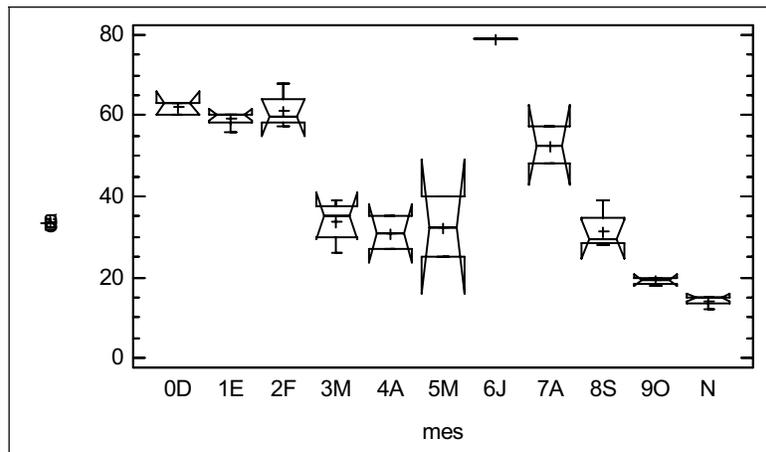


Diagrama de cajas del comportamiento de la dureza total en el bordo Cuauhtémoc.

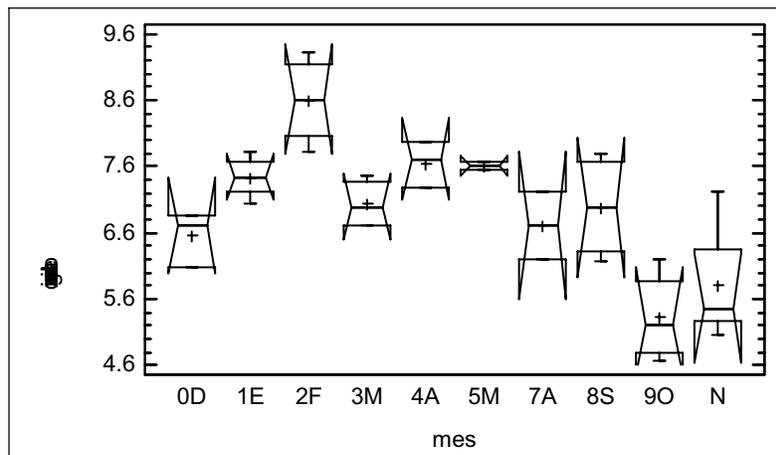


Diagrama de cajas del comportamiento del oxígeno disuelto en el bordo Cuauhtémoc. En el mes de junio (7) no se obtuvo muestra de agua.

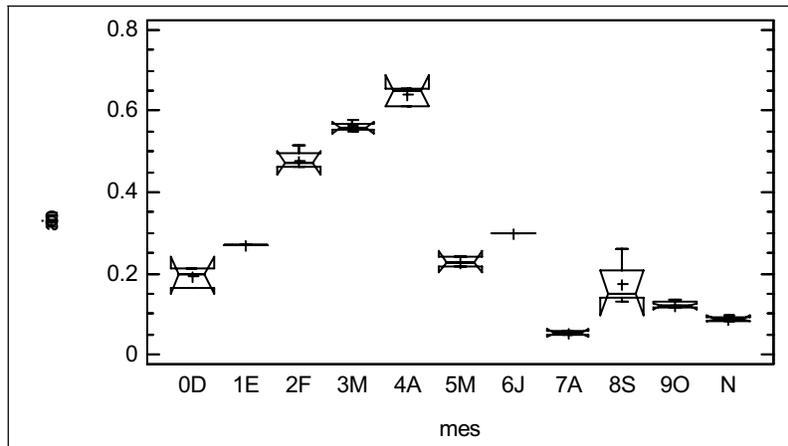


Diagrama de cajas del comportamiento del amonio en el bordo Cuauhtémoc.

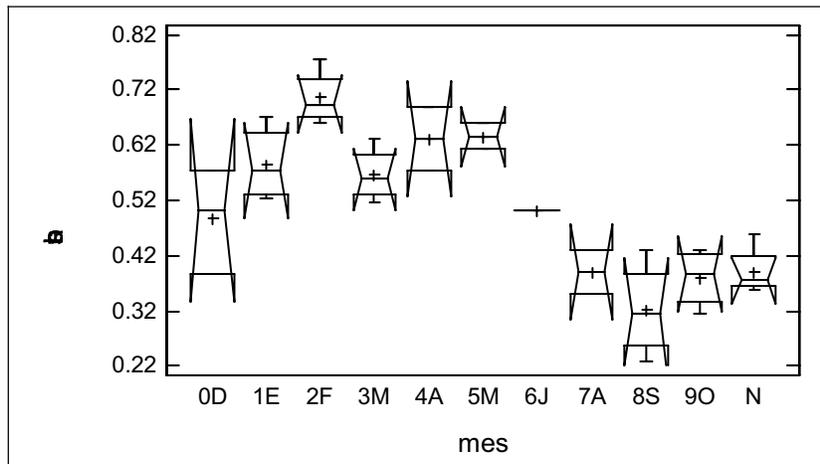


Diagrama de cajas del comportamiento de los nitratos en el bordo Cuauhtémoc.

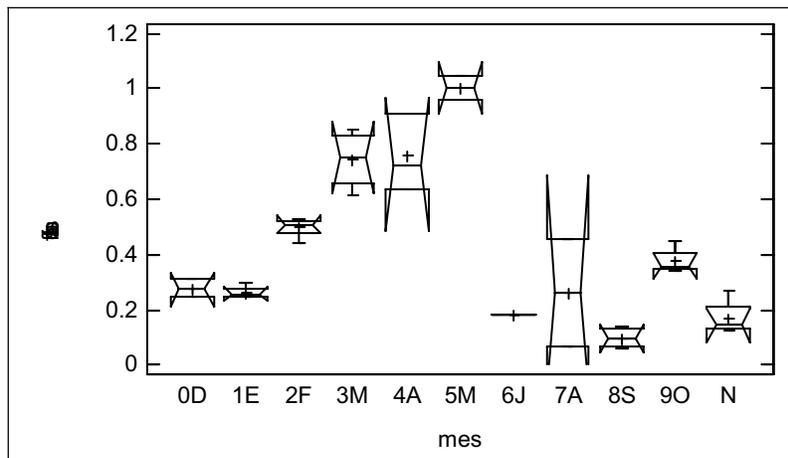


Diagrama de cajas del comportamiento de los fosfatos en el bordo Cuauhtémoc.

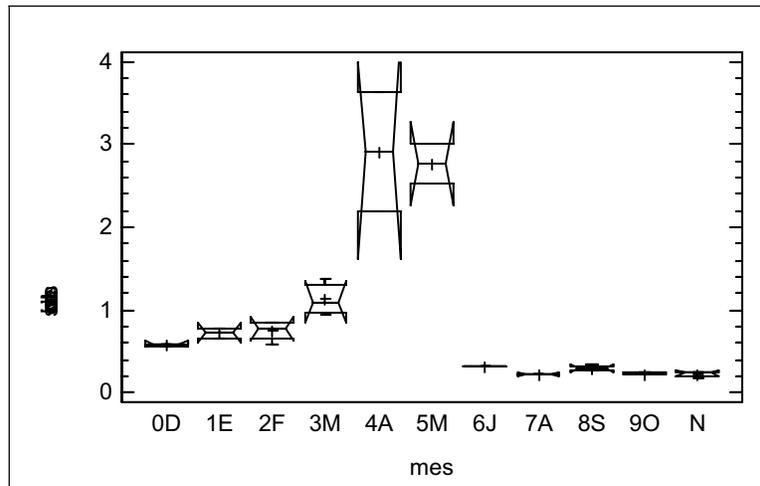


Diagrama de cajas del comportamiento de los sólidos disueltos en el bordo Cuauhtémoc.

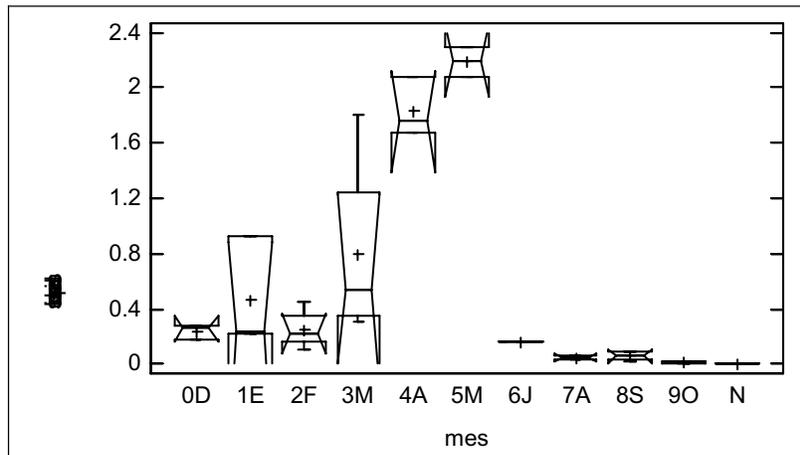


Diagrama de cajas del comportamiento de los sólidos suspendidos en el bordo Cuauhtémoc.



Prueba de Levene

La siguiente tabla muestra los valores obtenidos al evaluar los parámetros físicos y químicos con la prueba de Levene. Tanto en el embalse Lagarto como en el Cuauhtémoc se tiene que se cumplen con los supuestos de normalidad y homocedasticidad.

Parámetro	E. Lagarto	P-Value	E. Cuauhtémoc	P-Value
pH	1.23	0.29	1.11	0.39
Conductividad	2.45	0.01	1.08	0.40
Alcalinidad	1.70	0.09	5.15	0.0004
Dureza total	0.99	0.45	1.49	0.20
Oxígeno Disuelto	2.77	0.0061	1.05	0.42
Amonio	2.25	0.02	0.76	0.65
Nitratos	1.14	0.33	0.75	0.65
Fosfatos	11.77	1.85	3.89	0.003
Sólidos Disueltos	1.45	0.17	41.05	1.60
Sólidos Suspendidos	2.23	0.02	1.34	0.27

Análisis de Varianza (ANDEVA)

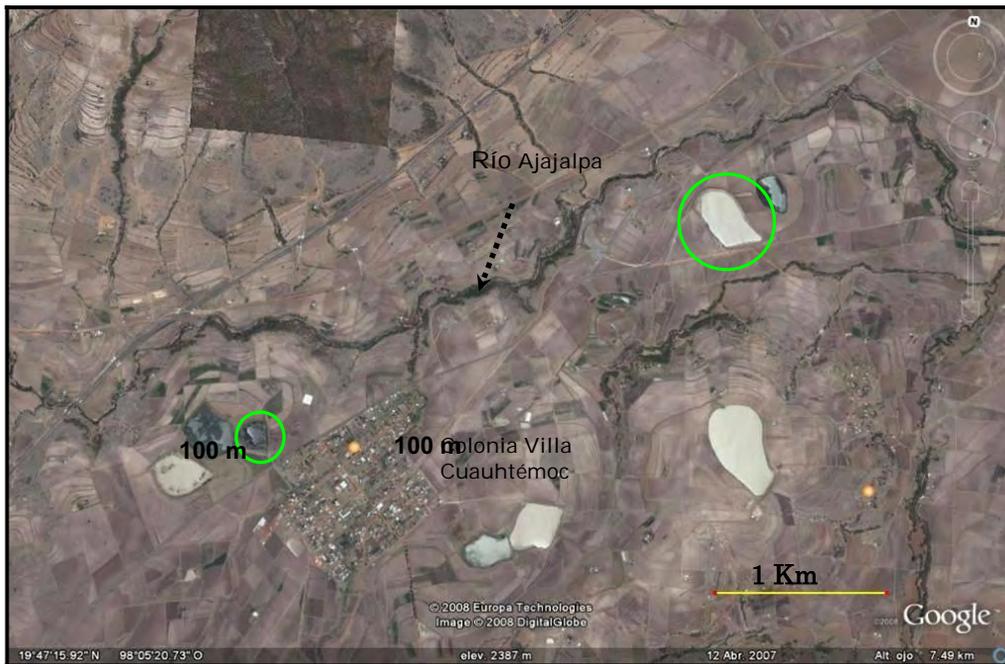
De acuerdo a los análisis de varianza efectuados entre los distintos puntos de muestreo de los embalses Lagarto y Cuauhtémoc, incluyendo en estos las muestras de los dos niveles de la columna de agua tomados en las zonas de mayor profundidad, y cuyos resultados se muestran en la siguiente tabla:

Parámetro	Valor de F calculada (F_C) con nivel de confianza del 95 %	
	E. Lagarto	E. Cuauhtémoc
pH	0.12	0.28
Conductividad	1.47	0.48
Alcalinidad	0.55	0.54
Dureza total	0.32	0.13
Oxígeno Disuelto	0.24	0.20
Amonio	0.65	0.05
Nitratos	0.10	0.13
Fosfatos	0.46	0.32
Sólidos Disueltos	2.15	0.41
Sólidos Suspendidos	0.60	0.48
$F_{Teórica} (F_T)$	2.17	2.92

Se determinó que no existen diferencias estadísticas significativas entre los puntos de muestreo del embalse Lagarto para todos los meses de la investigación; ya que $F_C < F_T$ ($F_T=2.17$) ($p < 0.05$). Sin embargo, para un mayor conocimiento del comportamiento del sistema, en los resultados de cada parámetro se mostraron las graficas con todos los valores registrados.

En el embalse Cuauhtémoc se encontró que no existen diferencias estadísticas significativas entre los puntos de muestreo en los meses de estudio, dado que $F_C < F_T$ ($F_T=2.92$). Sin embargo, para un mayor conocimiento del comportamiento del sistema, en los resultados de cada parámetro se mostraron las graficas con todos los valores registrados.

ANEXO 2. IMÁGENES FOTOGRÁFICAS



Área de estudio, se señalan en círculos los embalses, cerca de ellos se encuentran otros cuerpos de agua creados con el mismo fin y el río Ajajalpa. Como se puede apreciar, las tierras de los alrededores se encuentran destinadas fundamentalmente a la agricultura.



Imagen de satélite del área donde se ubican los embalses, en ella pueden apreciarse otros bordos y las pocas zonas donde se conserva la vegetación original.



Embalse Lagarto



Vista panorámica del bordo Lagarto, al fondo se aprecian zonas que conservan la vegetación original de la región.



Ganado ovino pastando cerca del embalse Lagarto



Área de la compuerta en octubre, el agua llega a cubrir la manija de apertura de la misma.



Campesino realizando actividades agrícolas junto al embalse Lagarto.



Quebrantamiento del suelo del embalse al disminuir el volumen de agua.



Zona de la compuerta en el mes de junio, en esta imagen se aprecia la disminución del volumen en la parte más profunda del cuerpo.

Embalse Cuauhtémoc



Suelo del embalse "quebrándose" al avanzar la época de seca y quedar expuesto.



Zona cercana el sitio 4, (compuerta del bordo) en el mes de octubre el nivel de agua llega a cubrir casi el borde contención del cuerpo.



Embalse Cuauhtémoc en junio, cuando el sistema se redujo a un pequeño "charco"



Área de la compuerta en el mismo periodo



Embalse Cuauhtémoc en septiembre, se puede observar el crecimiento de la vegetación y la inundación del cuerpo de agua, así como ganado vacuno pastando cerca del sistema.

F a u n a



Fulica americana, esta foto se tomo después de la cacería de lugareños



Cambarellus sp.



Bubulcus ibis



Pato (*Anas sp.*), esta foto se tomo después de la cacería de lugareños



Ciprinus carpio communis



Peces recién pescados por lugareños y guardados en botellas de refresco.

Hidrófitas



Polygonum sp., en esta imagen se puede apreciar el tono rosado que daba al embalse Lagarto.



Crecimiento de *Azolla sp.* en el lado sur del embalse Cuauhtémoc, en el mes de septiembre cuando presenta un tono rojizo



Schoenoplectus sp. en la zona de la compuerta del embalse Cuauhtémoc.



Imagen de *Polygonum sp.*, en la que se puede apreciar su inflorescencia.



Azolla sp. junto a otra hidrofita en el mes de diciembre, se puede apreciar su cambio de tono en su color.



Ludwigia sp. en este imagen se pueden apreciar sus hojas dispuestas en pares opuestos y sus tallo rojizo.



Imagen de *Nymphaoides fallax* en la que se aprecia su flor con textura "atercioplelada"



Potamogeton sp. a la orilla del cuerpo en asociación con *Ludwigia sp.*



Ludwigia sp., adherido a sus tallos filamentosos de fitoplancton.



Grupo de *Nymphaoides fallax* en el mes de septiembre.

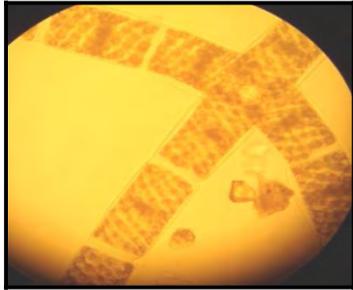


Marsilea mollis, detalle.

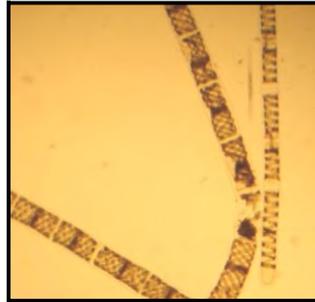


Marsilea mollis en medio de los crecimientos de *Spirogyra sp.*

Fitoplancton



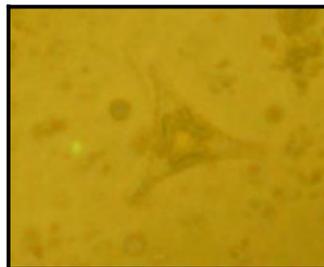
Spirogyra sp. en la imagen se puede observar una doble hélice



Spirogyra sp., en esta imagen se muestran las dos especies registradas, una con una hélice y la otra con dos.



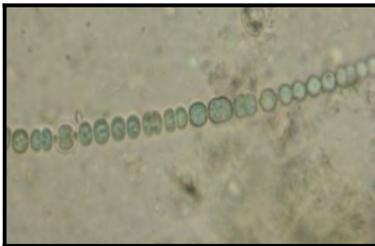
Cymbella sp.



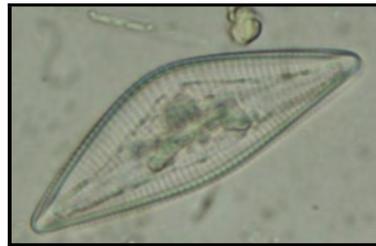
Staurastrum sp.



Crucigenia sp.



Anabaena sp.



Cymbella sp.



Eunotia sp.



Algas de tono verde que crecieron en la periferia del charco que quedó en el mes de junio en el embalse Cuauhtémoc



Crecimientos de *Zygnema sp.* y *Spirogyra sp.* en la parte norte del embalse Lagarto. Estos crecimientos se observaron espesos y cubriendo gran parte de la zona litoral en ésta área.



Crecimientos de *Zygnema sp.* y *Spirogyra sp.*



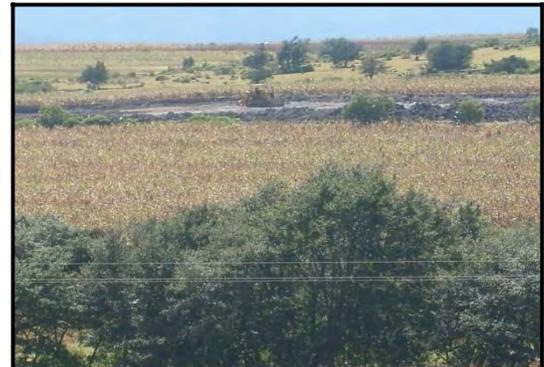
Construcción de bordos en la zona.



Excavación para establecer un embalse cerca de Villa Cuauhtémoc.



Vista de una excavación en un campo de cultivo.



Máquina excavando para la construcción de un bordo cerca del embalse Lagarto.

**Cuadro 1.** Especies de fitoplancton registradas en bordos del estado de Puebla por Ortega *et al*, 1994

División	Género/Especie	
Chromophyta	<i>Characiopsis longipes</i>	<i>Pinnularia sp.</i>
	<i>Amphora sp.</i>	<i>Stauroneis sp.</i>
	<i>Cymbella sp.</i>	<i>Surirella elegans</i>
	<i>Chrysamoeba radians</i>	<i>Surirella nervosa</i>
	<i>Gomphonema sp.</i>	<i>Surirella robusta</i>
	<i>Melosira granulata</i>	<i>Synedra acus</i>
	<i>Microglena ovum</i>	<i>Synedra sp.</i>
	<i>Navicula sp.</i>	<i>Syncrypta volvox</i>
	<i>Nitzschia sp.</i>	
	<i>Nitzschia lenearis</i>	
Chlorophyta	<i>Botrycoccus brauni</i>	<i>Oedogonium sp.</i>
	<i>Coelastrum reticulatum</i>	<i>Oocystis lacustris</i>
	<i>Coelastrum aphaericum</i>	<i>Pediastrum biradiatum</i>
	<i>Closterium aciculare</i>	<i>Pediastrum tetras</i>
	<i>Closterium parvulum</i>	<i>Scenedesmus bijugatus</i>
	<i>Crucigenia sp.</i>	<i>Staurastrum paradoxum</i>
	<i>Golenkinia sp.</i>	<i>Tetraedron regulare</i>
	<i>Gonium pectorale</i>	<i>Trochiscia aciculifera</i>
	<i>Gonium sociale</i>	
Cyanophyta	<i>Aphanocapsa rivularis</i>	<i>Oscillatoria sp.</i>
	<i>Arthrospira jenneri</i>	<i>Rivularia planctónica</i>
	<i>Chroococcus turgidus</i>	<i>Rivularia sp.</i>
	<i>Lyngbya sp.</i>	<i>Spirulina sp.</i>
	<i>Microcystis aeruginosa</i>	
Euglenophyta	<i>Eutreptia viridis</i>	
	<i>Euglena gracilis</i>	
	<i>Peranema trichophorum</i>	
Pyrrophyta	<i>Ceratium hirundinella</i>	

**Cuadro 2.** Listado faunístico de vertebrados reportados para la zona de influencia de los embalses.

CLASE	GÉNERO	ESPECIE	NOMBRE COMÚN	ESTATUS
AMPHIBIA	<i>Bufo</i>	<i>sp</i>	sapo	N
	<i>Rana</i>	<i>sp.</i>	rana	N
REPTILIA	<i>Phynosoma</i>	<i>braconnieri</i>	sapo	Pr
	<i>Sceloporus</i>	<i>grammicus</i>	lagartija escamosa	Pr
	<i>Thamnophis</i>	<i>sp</i>	culebra	
	<i>Conopsis</i>	<i>nasus</i>		N
	<i>Crotalus</i>	<i>sp</i>	víbora de cascabel	
AVES	<i>Coragyps</i>	<i>atratus</i>		N
	<i>Cathartes</i>	<i>aura</i>		N
	<i>Buteo</i>	<i>jamicensis</i>	aguililla cola roja	N
	<i>Falco</i>	<i>aparverius</i>	halcón cernícalo	N
	<i>Charadrius</i>	<i>vociferus</i>		N
	<i>Zeneida</i>	<i>asiatica</i>	paloma ala blanca	N
	<i>Zeneida</i>	<i>macroura</i>	huilota	N
	<i>Streptoprocen</i>	<i>semicollaris</i>		N
	<i>Bubulcus</i>	<i>ibis</i>	garza garrapatera	
	<i>Ardea</i>	<i>herodias</i>	garza morena	
	<i>Ardea</i>	<i>alba</i>	garza blanca	
	<i>Fulica</i>	<i>americana</i>	gallareta	
	<i>Hylocharis</i>	<i>leucotis</i>		N
	<i>Anas</i>	<i>sp</i>	pato	
	<i>Eugenes</i>	<i>fulgens</i>		N
	<i>Melanerpes</i>	<i>formicivorus</i>	carpintero	N
	<i>Melanerpes</i>	<i>aurifrons</i>	carpintero	N
	<i>Colaptes</i>	<i>auratus</i>		N
	<i>Pyrocephalus</i>	<i>rubinus</i>		N
	<i>Vireo</i>	<i>solitarius</i>		N
	<i>Aphelocoma</i>	<i>coerulencens</i>		N
	<i>Thryomanes</i>	<i>bewickii</i>		N
	<i>Stelgiopteryx</i>	<i>rufocollis</i>		N
	<i>Tachycineta</i>	<i>thalassina</i>		N
	<i>Hirundo</i>	<i>rustica</i>	golondrina	N
	<i>Poecile</i>	<i>aclateri</i>		N
	<i>Psaltriparus</i>	<i>minimus</i>		N
	<i>Certhia</i>	<i>americana</i>		N
	<i>Regulus</i>	<i>calendula</i>		N
	<i>Polioptila</i>	<i>caerulea</i>		N
	<i>Sialia</i>	<i>sialis</i>		N
	<i>Myadestes</i>	<i>occidentalis</i>	jilguero	Pr



	<i>Turdus</i>	<i>rufopalliatu</i>	primavera	N
	<i>Turdus</i>	<i>migratorius</i>		N
	<i>Toxostoma</i>	<i>curvirostre</i>	cuitlacoche	N
	<i>Ptilogony</i>	<i>cinereus</i>		N
	<i>Dendroica</i>	<i>graciae</i>		N
	<i>Dendroica</i>	<i>coronata</i>	chipe	N
	<i>Dendroica</i>	<i>gracie</i>	chipe	N
	<i>Setophaga</i>	<i>ruticilla</i>	calandria	N
	<i>Ergaticus</i>	<i>ruber</i>		N
	<i>Myoborus</i>	<i>pictus</i>		N
	<i>Basileuterus</i>	<i>belli</i>		N
	<i>Pipilo</i>	<i>erythrophalmus</i>		N
	<i>Pipilo</i>	<i>fascus</i>		N
	<i>Junco</i>	<i>phaenotus</i>		N
	<i>Aimophila</i>	<i>ruficaudata</i>		N
	<i>Phecticus</i>	<i>malanocephalus</i>		N
	<i>Spizella</i>	<i>passerina</i>		N
	<i>Icterus</i>	<i>gularis</i>		N
	<i>Agelaius</i>	<i>phoeniceus</i>	tordo sargento	N
	<i>Carduelis</i>	<i>pinus</i>		N
	<i>Carduelis</i>	<i>psaltria</i>	jilguero	N
MAMMALIA	<i>Didelphis</i>	<i>virginiana</i>	tlacuache	N
	<i>Procyon</i>	<i>loton</i>	mapache	
	<i>Nasua</i>	<i>nasua</i>	tejon	
	<i>Conepatus</i>	<i>leuconotus</i>	zorrito	
	<i>Thomomys</i>	<i>sp</i>	tuza	
	<i>Sorex</i>	<i>sp</i>	musaraña	
	<i>Canis</i>	<i>latrans</i>	coyote	N
	<i>Urocyon</i>	<i>cinereoargenteus</i>	zorra gris	N
	<i>Bassariscus</i>	<i>astutus</i>	cacomixtle	N
	<i>Sciurus</i>	<i>aeogaster</i>	ardilla	N
	<i>Spermophilus</i>	<i>variegatus</i>	ardilla	N
	<i>Peromyscus</i>	<i>maniculatus</i>	ratón de campo	N
	<i>Dasyus</i>	<i>novemcinctus</i>	armadillo	N

NOM-059-SEMARNAT-2001

Nomenclatura: **(P)** Especie en peligro de extinción, **(A)** Especie amenazada, **(Pr)** Especie sujeta a protección especial, **(E)** Especie probablemente extinta en el medio silvestre, **(N)** no listada en la NOM



Cuadro 3. Concentraciones para determinar el grado de alcalinidad en las aguas superficiales según Nisbet y Verneaux (1970) citados en Arrignon (1984.)

Alcalinidad Total $T = \text{mg/L HCO}_3^-$	Grados de alcalinidad
$T < 25$	Alcalinidad excesivamente débil Aguas muy poco productivas
$25 < T < 50$	Alcalinidad muy poco acusada Aguas dulces muy poco productivas
$50 < T < 100$	Alcalinidad poco acusada
$100 < T < 150$	Alcalinidad media Aguas muy poco productivas Zonas media e inferior de cursos de agua que corren regiones calizas
$150 < T < 250$	Alcalinidad media Aguas muy productivas Zonas media e inferior de cursos de agua que corren regiones calizas
$150 < T < 350$	Alcalinidad intensa
$T > 350$	Alcalinidad muy intensa

Cuadro 4. Concentraciones de CaCO_3 para determinar el grado de Dureza de aguas superficiales, según lo propuesto en Martínez (1998).

Concentración CaCO_3 (mg/L)	Grado de Dureza
0 - 75	Blanda
75 - 150	Moderadamente blanda
150 - 300	Dura
>300	Muy dura

Cuadro 5. Propuesta de clasificación para la Demanda Bioquímica de Oxígeno según Arrignon (1984) (temperatura de 5 a 20°C)

Concentración en $\text{mg O}_2/\text{L}$	Situación
D.B.O. < 1	Situación normal
$1 < \text{D.B.O.} < 3$	Situación aceptable
$3 < \text{D.B.O.} < 6$	Situación dudosa
D.B.O. > 6	Situación anormal