



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

**INSTITUTO DE INVESTIGACIONES SOBRE LOS RECURSOS
NATUTRALES**

**“DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DEPURATIVA
DEL HUMEDAL NATURAL DEL LAGO DE CUITZEO”**

TESIS

Que presenta:

BIOL. SUSANA GARCÍA VILLA

Para obtener el título profesional de:

MAESTRA EN CIENCIAS EN LIMNOLOGÍA Y ACUACULTURA

Directora de Tesis:

Dra. GLORIA LARIZA AYALA RAMÍREZ
Doctora en Ciencias Biológicas

Morelia, Michoacán, México, Julio de 2013.



DEDICATORIA

La presente Tesis es un esfuerzo en el cual, directa o indirectamente, participaron varias personas leyendo, opinando, corrigiendo, teniéndome paciencia, dando ánimo, acompañándome en los momentos de crisis y en los momentos de felicidad.

A mi hijo Cristofer: por darme alegría en todo momento y ser mi impulso para salir a delante

A mi hija Dayana: por ser una motivo más de alegría en mi vida

A mi Mama: Zenaida Villa Pérez gracias por brindarme tu apoyo incondicional, por estar conmigo en cada etapa de mi vida, por ser mi amiga y comprenderme en los momentos más difíciles de mi vida.

A mi amiga Norma Angélica Samaniego Valerio por estar siempre conmigo en los momentos más difíciles, por escucharme, aconsejarme y motivarme en todo momento.

AGRADECIMIENTOS

**Al CONACYT por la beca dentro del proyecto sobre la restauración del la
ribera del Lago de Cuitzeo**

**Al Instituto de Investigaciones sobre los Recursos Naturales, donde se
llevo acabó el presente trabajo bajo la asesoría de:**

**La Dra. Gloria Lariza Ayala Ramírez, a quien le agradezco por haber
confiado en mi persona, por sus conocimientos invaluable que me
brindo para llevar a cabo esta investigación y sobre todo por sus
consejos tanto profesionales como personales.**

**M.C. Martha Beatriz Rendón López por su apoyo en el transcurso de la
tesis, enseñándome y brindando sus conocimientos, así como por su
ayuda como miembro de la mesa revisora.**

**A mi compañera Yazmín Hernández Linares por ser un elemento
fundamental en el apoyo técnico y por ser una gran amiga incondicional**

**A Raúl Pérez Gaona por apoyarme en la elaboración de la orientación y
elaboración de los mapas**

**Al M.C. Julio Cesar Medina Ávila, por formar parte de este trabajo y por
apoyarme incondicionalmente en todas las salidas de campo**

**Al Dr. Alberto Gómez-Tagle Rojas por brindarme una beca de CONACYT
que contribuyó como apoyo económico para sustentar esta maestría**

**A los integrantes de la mesa revisora conformados por la Dra. Gloria
Lariza Ayala Ramírez, Martha Beatriz Rendón López, Dr. Everardo Barba
Macías y al Dr. Alberto Gómez-Tagle Rojas que contribuyeron con sus
aportaciones y conocimientos en la realización de la tesis.**

CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN	-1
II. ANTECEDENTES	-8
2.1. Estudio internacionales de humedales	-8
2.2. Estudio de humedales en México	17
2.3. Estudios de humedales en la región	23
III. OBJETIVOS	
3.1. Objetivo general	31
3.2. Objetivos particulares	31
IV. HIPOTESIS	32
V. DESCRIPCIÓN DEL AREA DE ESTUDIO	33
5.1. Localización Geográfica	33
5.2. Fisiografía	35
5.3. Geología	37
5.4. Edafología	39
5.5. Clima	41
5.6. Hidrología	42
5.7. Vegetación y uso de suelo	44
5.8. Fauna	46
5.9. Actividades socioeconómicas	47
VI. MATERIALES Y MÉTODOS	48
6.1 Sitios de muestreo	48
6.2 Muestreo en campo	52
6.3.1 Análisis de agua	53
6.3.2 Análisis de sedimento	55
6.4 Propiedades de absorción	57

6.5 Análisis estadístico	57
VII.RESULTADOS.....	58
7.1 Variación temporal.....	58
7.2 Variación espacial	64
7.2.1 Análisis estadístico en agua.....	75
7.3 Composición fisicoquímica en sedimento	84
7.3.1 Análisis estadístico en sedimento.....	84
7.4 Eficiencia depurativa del humedal	87
VIII. DISCUSION.....	97
IX. CONCLUSIONES.....	104
X. RECOMENDACIONES.....	107
XI. LITERATURA CONSULTADAS.....	109

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación geográfica del área en estudio-----	34
Figura 2. Fisiografía de la zona cercana al humedal-----	36
Figura 3. Mapa geológico del los alrededores cercanos al humedal-----	38
Figura 4. Mapa edafológico de la zona cercana al humedal-----	40
Figura 5. Climograma de Cuitzeo 2010. (Red nacional de estaciones estatales agroclimáticas) -----	41
Figura 6. Mapa hidrológico de la zona cercana al humedal-----	43
Figura 7. Mapa de uso de suelo y vegetación cercana al humedal -----	45
Figura 8. Ubicación de los sitios de muestreo en humedal natural del Lago de Cuitzeo-----	51
Figura 9. Triángulo de texturas de Folk y Ward-----	56
Figura 10. Distribución de Clorofila-a durante el período de sequía y lluvias-----	62
Figura 11. Demanda química de oxígeno en la temporada de sequía y Lluvias-----	63
Figura 12. Distribución de temperatura y oxígeno disuelto-----	69
Figura 13. Distribución de Nitratos, Nitritos y Amonio-----	70
Figura 14. Correlacion entre Solidos Disueltos Totales y Conductividad-----	71
Figura 15. Correlacion entre Sólidos Suspendidos Totales y Clorofila- a-----	72
Figura 16. Distribución anual entre ortofosfatos y clorofila- a-----	73
Figura 17. Demanda bioquímica de oxígeno en los sitios afluentes y Humedal-----	74
Figura 18. Agrupamiento de las estaciones de acuerdo a las variables fisicoquímicas en agua durante el período de sequía-----	75
Figura 19. Agrupamiento de las estaciones de acuerdo a las variables fisicoquímicas en agua durante el período de lluvias-----	76
Figura 20. Diferencia espacial en el porcentaje de humedad en Sedimento-----	79
Figura 21. Distribución del nitrógeno orgánico durante la temporada de sequía y lluvia-----	79
Figura 22. Distribución del fósforo total y materia orgánica en	

la temporada de sequía-----	80
Figura 23. Frecuencia de texturas en sedimentos durante la temporada desequía-----	82
Figura 24. Frecuencia de texturas en sedimento durante la temporada de lluvias-----	82
Figura 25. Agrupamiento de las estaciones de acuerdo a las variables fisicoquímicas en sedimento en la temporada de sequía-----	84
Figura 26. Agrupamiento de las estaciones de acuerdo a las variables fisicoquímicas en sedimento en la temporada de lluvias-----	85
Figura 27. Porcentaje depurativo anual en el humedal natural de Cuitzeo--	88
Figura 28. Porcentaje depurativo en el Río Queréndaro-humedal y Río Rectificado-humedal-----	91
Figura 29. Porcentaje de retención del nitrógeno orgánico y fósforo total en sedimentos-----	92
Figura 30. Modelo de absorción en el humedal de Cuitzeo durante la temporada de sequía-----	99
Figura 31. Modelo de absorción en el humedal de Cuitzeo durante la temporada de lluvias -----	99

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1. Ubicación de puntos de monitoreo en el área de estudio-----	50
Tabla 2. Características fisicoquímicas del agua en período de sequía y lluvia-----	61
Tabla 3. Características fisicoquímicas de los afluentes, humedal artificial y zona del humedal-----	68
Tabla 4. Variables dominantes en agua durante la temporada de lluvias-----	77
Tabla 5. Variables dominantes en agua durante la temporada de sequía-----	77
Tabla 6. Composición fisicoquímica en sedimento en la temporada de sequía y lluvias-----	78
Tabla 7. Porcentaje de textura en sedimento en los afluentes y el humedal-----	83
Tabla 8. Análisis factorial en sedimento en la temporada de sequía-----	86
Tabla 9. Análisis factorial en sedimento en la temporada de sequía-----	86
Tabla 10. Porcentaje depurativo anual del humedal de Cuitzeo-----	87
Tabla 11. Porcentaje depurativo en los sitios del Río Queréndaro-humedal y Río Rectificado-humedal-----	90
Tabla 12. Porcentaje de retención en sedimentos del humedal de Cuitzeo---	92
Tabla 13. Calidad de agua del humedal artificial y humedal natural-----	96

RESUMEN

Los humedales son ecosistemas que se encuentran temporal o permanentemente inundados en donde existe una interacción entre agua, vegetación y sedimento, juegan un papel importante en la naturaleza actuando como amortiguadores hidrológicos y químicos, además de ser hábitat para una amplia biodiversidad. Actualmente estos ecosistemas, así como los recursos hídricos en México han sufrido considerables modificaciones como resultados de las actividades antropogénicas, y se han visto alterados por la desecación, la canalización, la sobreexplotación y la contaminación por vertidos de residuos sólidos y aguas de desecho. Dentro de estos ecosistemas se encuentra el Lago de Cuitzeo que es el segundo Lago natural más grande en México con una extensión de 452 km², en donde se encuentra una zona de humedales que abarcan 4.2 km² las cuales se ven afectadas por el crecimiento de las comunidades ribereñas que han ocasionado un deterioro progresivo a sí mismos los vertidos de aguas residuales que llegan a los cause de la cuenca, a la intensa actividad agropecuaria y la ineficiencia de las plantas tratadoras en la zona. El presente trabajo se desarrolló con el objetivo de determinar la eficiencia depurativa del humedal natural, analizando las siguientes variables: la temperatura, potencial de hidrogeno (pH), alcalinidad total, dureza total, conductividad, oxígeno disuelto, bióxido de carbono CO₂, sólidos sedimentables (SD), sólidos suspendidos totales (SST), sólidos disueltos totales (SDT), clorofila *a*, nutrientes (fosfato total, ortofosfato, nitritos, nitratos y amonio) la demanda química de oxígeno (DQO) y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅). Las estaciones o sitios de muestreo se ubicaron de una manera que pudiera representar el funcionamiento del humedal evaluando la calidad de agua de los afluentes sobre el cauce y su desembocadura como fueron el Río Queréndaro, Río Grande de Morelia, Río Rectificado y cinco sitios donde el humedal vierte sus aguas hacia el vaso lacustre. Los resultados obtenidos fueron que el humedal presentó un eficiencia en la retención del bióxido de carbono con un 87%, ortofosfatos con 85%, amonio con un 70%, el fósforo total con 74%, en cuanto a los sólidos sedimentables fueron retenidos en un 100%, seguido de los sólidos suspendidos totales con 54% y los sólidos disueltos totales con 13%, la demanda química de oxígeno con 7% y finalmente la

demanda bioquímica de oxígeno con un 23%. Por lo tanto el humedal es capaz de depurar el agua que ingresa reduciendo la materia orgánica, sólidos y fósforo total. Los resultados mostrarán que el humedal funciona como una barrera en la retención de sólidos y absorción de nutrientes, por lo que este ecosistema es eficiente en la depuración de aguas residuales.

Palabras claves: humedal, depuración, purificación.

I. INTRODUCCION

El estudio de los humedales inició con los trabajos realizados en las zonas litorales de ecosistemas acuáticos (Goldman y Horne, 1983) y posteriormente, se desarrolló como el estudio de las comunidades de vegetación acuática existentes en la periferia de los cuerpos de agua. A partir de los años setenta los trabajos de los humedales se consolidaron como una disciplina del conocimiento científico ratificándose en la reunión de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y los Recursos Naturales (IUCN) en la ciudad de Ramsar, Irán (conocida como: Convención Ramsar), en donde el 2 de febrero de 1971 se firmó un tratado intergubernamental cuya misión es la conservación y el desarrollo del uso sostenible racional de los humedales, a través de la acción nacional y mediante la cooperación internacional.

En dicha convención se definió a los humedales como: *“ecosistemas tanto naturales como artificiales que se caracterizan por estar permanentemente o temporalmente inundados ya sea por aguas dulces, estuarinas o salinas los cuales pueden estar estancados o presentar corrientes e incluyen las regiones ribereñas, costeras y marinas que no exceden los seis metros de profundidad con respecto al nivel medio de las mareas bajas”* (Ramsar 2010).

De acuerdo a Mitsch y Goselink (2000) mencionan que los humedales existen en todos los países y en todas las latitudes, desde la tundra hasta el trópico. No se sabe exactamente qué porcentaje de la superficie del planeta se compone de humedales. Se ha calculado que cubren una extensión de 7 a 9 millones de km², lo cual equivale al 4-6% de la superficie terrestre de la cual, 2% son lagos, el 30% turberas, el 26% marjales. El 20% pantanos y el 15% llanuras de inundación. Los manglares cubren unos 240,000 km² de zonas costeras y se estima que en todo el mundo quedan unos 600,000 km² de arrecifes de coral. Más de la mitad (56%) se encuentran en zonas tropicales (2.6 millones de km²) y subtropicales (2.1 millones de km²). De la superficie total de humedales, el 60% está cubierta por comunidades con vegetación arbórea.

De la Lanza (2005) indica que el 17.61% del volumen de agua del país (107,000 millones de m³), se localizan en las presas, es decir casi la cuarta parte. Este gran volumen de agua retenido ha alterado la hidrología de los humedales al modificar la cantidad de agua, la estacionalidad de la inundación y la cantidad de sedimentos en los humedales cuenca abajo. Señala que México se encuentra ubicado en una latitud subtropical-tropical con un 60% de regiones áridas-semiáridas, tiene una disponibilidad de agua mediana-baja, la cual ha permitido el establecimiento de humedales con predominancia de superficies reducidas (5-10 ha, como el lago de Apizaquito, Tlax.)

Los humedales se describen también como zonas de transición entre los ambientes estrictamente terrestres y aquellos de aguas profundas o poco profundas; se ha determinado que los humedales no solamente comparten las características de uno u otro ambiente a pesar de ubicarse en zonas de transición, sino que poseen condiciones únicas que los constituyen como unidades ecológicas bien definidas (Abarca y Herzig, 2002).

Estos ecosistemas poseen numerosas características distintivas, las más evidentes son la presencia de agua con mínima actividad hidrodinámica, condiciones de sustrato o sedimento saturado y organismos especialmente adaptada a condiciones de tolerancia a la saturación de agua como la vegetación hidrofílica (Mitsch y Gosselink, 2000).

Estos ecosistemas pueden variar de acuerdo al suelo, topografía, clima, biodiversidad, hidrografía, química del agua y sedimentos, vegetación y la actividad humana regional o local (Carcedo, 2002); sin embargo, es posible identificar cuatro factores que dan sustento a un humedal: a) el ambiente físico o la geomorfología de la superficie terrestre la cual desempeña el papel principal en la localización, distribución, forma y tamaño de los humedales; b) la hidrología regional es probablemente el factor abiótico más importante y está relacionada con los factores climáticos que determinan tanto el balance hídrico como la hidrodinámica (es decir, las interacciones entre los procesos físicos e hidrológicos); c) el sustrato, que debe de estar predominantemente formado con un tipo de suelo hídrico y se encuentra totalmente saturado e incluso cubierto

de agua y, d) la vegetación acuática, que se constituye como el cuarto elemento ya que su diversidad, abundancia y distribución en el sistema le proporcionan características únicas que lo distinguen de otros humedales (Dodds, 2002).

Durante muchos años estos sitios fueron considerados como terrenos infructuosos e insalubres, fuente de innumerables enfermedades y por tanto fueron eliminados o reconvertidos para su aprovechamiento en la agricultura, ganadería o la expansión urbana (Manzano, 2001). Hoy en día existe mayor conciencia sobre la necesidad de conservar los humedales y mantener las funciones y servicios ecológicos que proporcionan (Carrera, 1978).

Dentro de estos ecosistemas crecen vegetales, animales y microorganismos especialmente adaptados a dichas condiciones ambientales. En los humedales se realizan procesos metabólicos y biológicos, donde se generan procesos de sedimentación, filtración, precipitación química y absorción, dando como resultado la deposición, la captura y el almacenamiento de nutrientes en la vegetación, (Conner et al., 1989; Kadlec y Alvord, 1989; Patrick, 1990).

Los humedales tienden a reducir la fuerza del agua promoviendo la deposición de los sedimentos transportados por ella. Los nutrientes van asociados a menudo a sedimentos y pueden depositarse al mismo tiempo. Estos nutrientes, sobre todo nitrógeno y fósforo provenientes de diversas fuentes (restos orgánicos, desechos humanos, descargas industriales y agropecuarias), se pueden acumular en el subsuelo, pueden ser transformados mediante procesos químicos y biológicos o ser absorbidos por la vegetación de humedal. Esta capacidad de retener nutrientes hace que muchos humedales figuren entre los ecosistemas más productivos conocidos (Jiménez 2007).

Debido a esta característica los humedales permiten el mantenimiento de procesos naturales, son depuradores de aguas residuales, ya que son ambientes que favorecen la captura de bióxido de carbono disminuyendo el efecto invernadero, recargan los mantos freáticos, protegen contra fenómenos naturales y estabilizan el microclima local (Johnston, 1991). Ya que en las

últimas décadas éstos sistemas se han destacado por su importante papel en la estructura del paisaje, creando con frecuencia puntos estratégicos para la biodiversidad y su funcionalidad contribuye a la regulación hídrica y de los ciclos hidrogeoquímicos (Mitsch y Gosselink, 2002; Casas *et.al.* 2003).

De la Lanza (2007) menciona que las funciones de los humedales son el soporte de la cadena alimenticia y del ciclo de nutrientes, que incluye la producción primaria y la descomposición. Funcionan como hábitat de especies; hidrológicamente influyen en el control de sedimentos, en la recarga y descarga de aguas subterráneas, y en la calidad de agua que incluye el suministro y tratamiento de aguas residuales o función depurativa.

También son fuentes de nutrientes para la productividad y diversidad biológica, proporcionando un hábitat único para una amplia variedad de flora y fauna (De la Lanza, 2007). Convirtiéndose en áreas de recreación pasiva y actividades turísticas por su valor estético natural, además son importantes para la educación e investigación científica (Mitsch y Gosselink, 2000).

Es difícil cuantificar la función depuradora del humedal, ya que tanto la entrada como la salida del líquido están sujetas a múltiples variaciones, la gran cantidad del agua que se aporta a la mayoría de humedales es de origen antropogénico (aguas residuales de poblaciones cercanas, de agricultura o de industria). Sin embargo en los aportes de agua provenientes de los acuíferos y las precipitaciones suelen ser menos cuantiosos ya que están sujetos a ciclos (generalmente estacionales). Se inicia con la premisa de que el humedal actúa como "filtro" de numerosos compuestos, es decir, que en el humedal se transforman una gran cantidad de sustancias que ingresan a este ecosistema mejorando así las características fisicoquímicas del agua que circula por ellos y por ende la que se obtiene de ellos (Johnston, 1991).

A pesar de la capacidad de absorción que tienen los humedales, de mejorar la calidad del agua que ingresa a los sistemas lénticos (Lagos) e incrementar la calidad de medio que ofrece este humedal como albergue y zonas de reproducción a una gran biodiversidad que interactúan en estos ecosistemas,

no se les ha dado la importancia adecuada para preservar estos sitios (Jiménez 2007).

Actualmente los humedales se encuentran en constante deterioro debido a que en sus inmediaciones se realizan actividades agrícolas, de deforestación, de urbanización e incluso actividades industriales, lo cual se ve reflejado en las características físicas y químicas del agua (Warner, 2002).

Otro impacto por el que se ven afectados estos ecosistemas, es la canalización del agua ya que se usa como fuente directa del líquido, o se drena para extender la superficie agropecuaria; para habilitar zonas urbanas o como una medida para reducir la reproducción de insectos. En otros casos los humedales reciben los impactos indirectos de cambios en el uso del suelo, por ejemplo, la agricultura induce un incremento en los escurrimientos superficiales que se originan al dañar la estructura del suelo y reduce la infiltración hacia el subsuelo, lo que favorece el aumento en la tasa de erosión hídrica, que en consecuencia incrementa el riesgo de acumulación de sedimentos en los propios humedales (Mitsch y Gosselink, 2000; Abarca y Herzig, 2002; Lindig-Cisneros y Zedler, 2002; CONANP, 2005).

El Lago de Cuitzeo representa el segundo Lago natural más grande de México, con una extensión de 45200 hectáreas. Las comunidades cercanas al humedal son el Temazcal, Estación Queréndaro, y la isla de Tzirio. Este ecosistema se divide en tres zonas: Este, Central y Oeste; se considera como un sistema maduro, ya que es uno de los ecosistemas más antiguos del territorio nacional, se encuentra ubicado en la región hidrológica de Lerma-Chápala, dentro del Sistema Volcánico (Mendoza, 2002).

Es un cuerpo de agua que atraviesa por periodos de contracción y desecación recurrente, y con profundidades menores a un metro, en el cual se ha establecido un humedal natural con una extensión de 420 hectáreas, un aspecto que favorece la existencia del humedal es la incorporación de flujos superficiales que ingresan hacia el lago. Ambos ecosistemas representa una fuente de recursos naturales para las comunidades locales.

La pérdida de los humedales ha ocasionado un impacto en los ingresos económicos de las comunidades que dependen de los recursos naturales que producen estos ecosistemas, por ejemplo, en algunos países se ha afectado la disponibilidad y por lo tanto la comercialización de peces y moluscos que se extraen de zonas litorales. En Norteamérica se ha estimado que aproximadamente entre el 50 al 80% de la producción anual de rana proviene de los humedales. La pérdida de estos hábitats puede disminuir hasta en un 50% los sitios de reproducción para las poblaciones de patos. Otra característica importante de estos ecosistemas es su capacidad sortiva o de retención de algunos elementos y la filtración de sólidos, lo que ha favorecido un incremento en la cantidad y calidad de agua (U.S.A Environmental Protection; EPA, 2003). Se ha documentado ampliamente que los humedales ayudan al control de la erosión disipando la energía del oleaje, así como a la retención de sólidos y nutrientes (EPA, 2003).

La pérdida y degradación de los humedales provoca modificaciones en el medio ambiente ocasionando la disminución de los servicios ambientales que ofrecen. A si mismo perjudicando a las comunidades cercanas que depende de estos ecosistemas. Tal es el caso del Lago de Cuitzeo donde se encuentra un humedal natural el cual alberga una amplia variedad de especies entre los que se encuentran la mojarra, rana, charal, garza, gaviota y pato canadiense, el cual proporciona beneficio a la sociedad. El Lago y la zona de humedal se encuentran en estado de alta fragilidad ecológica debido a una fuerte presión por las actividades humanas transformado las coberturas y usos del suelo que le caracterizan, ocasionando la pérdida y reducción de importantes funciones ambientales de este ecosistema y afectando sus componentes hidrológicos, climáticos, entre otros. Aunado a ello, la mayoría de los poblados a su alrededor no cuentan con drenaje y las plantas tratadoras que se localizan en los municipios no están en funcionamiento, por lo que estas descargas van directamente a los principales ríos que desembocan en el Lago de Cuitzeo. En particular, la ciudad de Morelia representa una fuente importante de gran cantidad de vertederos de las aguas de uso municipal, así como la industrial. Por último, la zona del Distrito de Riego de Morelia-Queréndaro, además de recibir los contaminantes producidos por la capital del Estado, incorpora

agroquímicos que son utilizados en las parcelas. El destino final de todas estas sustancias es el Lago de Cuitzeo que presenta un estado alarmante de degradación química y biológica (Bravo *et al.* 2008).

Debido a las funciones ambientales que realizan estos ecosistemas, con el presente trabajo se pretende evaluar la capacidad de retención o absorción de algunos nutrientes por el humedal natural del Lago de Cuitzeo. Evaluando la calidad de agua que ingresa y la que egresa hacia el Lago.

II. ANTECEDENTES

2.1 Estudios internacionales de humedales

Sanchez (2011) en Ecuador evaluó un sistema de tratamiento en agua residuales, utilizando un humedal artificial del flujo subsuperficial basandose en características fisicoquímicas del afluente, efluente y un cuerpo receptor de agua tratada, como resultados se tiene que este sistema presenta una reducción en sólidos del 80%, así como la reducción de nitrógeno y fósforo en un 70% y para la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO) la eficiencia de remoción fue 78.1% y 71.4, concluye que el uso de humedales artificiales en una alternativa, viable de tratamiento debido al bajo costo de infraestructura y principalmente a su alta efectividad en la remoción de sólidos suspendidos y nutrientes.

Montoya *et al* (2010) estableció que los humedales artificiales son una tecnología prometedora en reducir la contaminación por aguas residuales; investigó la remoción de materia orgánica con agua residual sintética, en términos de demanda química de oxígeno, demanda biológica de oxígeno y mediciones in situ de pH, oxígeno y temperatura cada 15 días, durante tres meses, en seis sistemas de humedales contruidos de flujo subsuperficial horizontal, a escala piloto, sembrados con tres diferentes macrófitas: *Canna limbata*, *Heliconia psittacorum* y *Phragmites sp*; las remociones medias de DQO fueron de 97.31 % y 95.94 % para *Canna limbata*; 94.49 % y 93.50 % para *Heliconia psittacorum*; 97.39 % y 97.13 % para *Phragmites sp*. En DBO₅ fueron de 100 % y 99.36 % para *Canna limbata*; 99.09 % y 97.49 % para *Heliconia psittacorum*; 100 % y 99.45 % para *Phragmites sp*. Concluye que existen diferencias significativas para la remoción de DQO por cada una de las diferentes especies de plantas ($P < 0,05$); y que en la remoción de la DBO₅ no existen estadísticamente diferencias significativas entre las especies ($P < 0,05$). Este estudio demuestra la opción de reducir la contaminación por materia orgánica utilizando humedales contruidos.

Álvarez (2010) determinó que la descomposición de materia orgánica (MO) es uno de los procesos claves en el funcionamiento de todos los ecosistemas, este proceso puede estar influenciado por variables climáticas, edáficas, de composición del detrito o incluso microbiológicas. La descomposición de la MO constituye un proceso comparable a la producción primaria, se conoce ampliamente las funciones con ésta y el papel que desempeñan los organismos autótrofos en la misma, sin embargo no se ha profundizado en los procesos de descomposición y, especialmente, la función que realizan los microorganismos. Por todo ello, los estudios funcionales sobre el papel de la descomposición en los ecosistemas son muy escasos, a pesar de las implicaciones que esto puede tener en la comprensión del ciclo de carbono y procesos relacionados, como el cambio climático y los ecosistemas acuáticos y terrestres, con todo este trabajo determina que el proceso de descomposición de materia orgánica está muy asociado a la comunidad saprofítica, pero también a procesos biogeoquímicos complejos, que integra actividades enzimáticas y reacciones abióticas.

Vera *et al* (2010) estudio la eficiencia de los humedales contruidos basándose en la utilización de macrófitas emergentes para la depuración de aguas residuales, Venezuela. Evaluó los nutrientes y materia orgánica en función del desarrollo de la macrófitas *Typha dominguensis* en un humedal construido, comparado con una fosa control sin plantas, alimentados con agua residual doméstica de un sistema de lagunas de estabilización, y se determinó el tiempo óptimo de poda. El estudio se realizó en dos periodos definidos por la inflorescencia y posterior poda de la vegetación. La mayor eficiencia de remoción de materia orgánica se reportó en el humedal en ambos periodos, con promedios de 30,29 y 30,48% de DQO; 34,63 y 31,63% de DBO₅; 43,9 y 52,4% de Sólidos Suspendidos Totales y 42,9 y 60,8%, en el primero y segundo periodo, respectivamente. Los valores de remoción de nutrientes no presentaron diferencia significativa entre el humedal y el control, alcanzando valores de 45 y 55% para NH_4^+ y 48 y 50% para nitrógeno total Kjeldahl (NTK), respectivamente. La mayor remoción de fósforo se presentó en el control con 19,17 y 15,35%, para cada periodo. El crecimiento de la planta y la remoción de nutrientes y de materia orgánica presentaron correlación durante el primer

periodo de estudio. El tiempo óptimo de poda se evidenció hacia la octava semana de crecimiento. Se demuestra el rol importante de *Typha dominguensis* en el proceso de remoción de materia orgánica sin embargo se necesitan más estudios para determinar con precisión la importancia de la macrófita en la remoción de nutrientes.

Gordon y Feo (2009) determinó el efecto de los cambios estacionales en la profundidad del agua sobre la concentración de nitrógeno (N) en *Hymenachne amplexicaulis* en un humedal herbáceo permanentemente inundado estado, Miranda. Por lo que demostró, la concentración de nitrógeno en el suelo incrementó gradualmente desde febrero-abril (primer período seco, 1,13-1,25% peso seco) y luego hacia diciembre (máxima profundidad, segundo máximo de lluvia, 2,09% peso seco). La concentración media de N fue mayor en el material muerto en pie, seguido de las hojas, las inflorescencias y los tallos. El contenido total de N fue menor en diciembre y mayor en agosto, hay reducciones entre 75- 77% en la biomasa de hojas y tallos. La absorción neta y eficiencia de uso del N para hojas y tallos mostraron comportamientos distintos durante el período de estudio. Los cambios estacionales en la profundidad del agua influyeron sobre la concentración, absorción y eficiencia de uso del nitrógeno por *H. amplexicaulis*. Concluyendo la eficiencia que tienen estas plantas como fijadoras de nitrógeno.

Moreno *et al* (2009) determinó el efecto que tienen los humedales en mejorar la calidad de agua proveniente de la agricultura, en la cuenca del Ebro, NE de España. Evaluaron diecinueve humedales en dónde se determinó que el gradiente de contaminación aumenta en la zona de captación superior, que es una zona con humedal natural y una reducción en la zona baja de captación en dónde se encuentra humedales artificiales, obteniendo como resultado que la zona natural presenta mayor tasa de sedimentos, sales y nutrientes ,que en la zona baja, por lo que concluye que los humedales naturales de la cuenca están siendo degradados y reduciendo la eficiencia en mejorar la calidad de agua ya que esto ha sido consecuencia de la conversión a la irrigación.

Ullah *et al* (2009) estudiaron el contenido de materia orgánica en los sedimentos en diferentes tipos de humedales, incluidos humedales lacustres y turberas. Se tomo un total de 84 muestras de suelos por encima y por debajo del nivel freático. Los resultados revelaron que las turberas del norte presentan mayor contenido de materia orgánica que los humedales del sur lacustre. En las turberas el promedio de MO fue del 47% por encima de la columna de agua en comparación con el 59% por debajo del nivel freático. En comparación con los humedales lacustres que presentaron menor promedio de MO con 41% en la superficie y 44% en los sedimentos superficiales. Estos resultados demostraron que las turberas y los humedales lacustres del norte son importantes sumideros carbono de la atmósfera y por lo tanto cualquier aumento en la temperatura o la reducción de nivel de agua puede influenciar el proceso de oxidación de la materia orgánica.

Londoño (2009) evaluó la eficiencia de remoción de materia orgánica en humedales artificiales de flujo horizontal sub-superficial alimentados con aguas residuales sintéticas (preparada con sustancias que simulan la composición y concentración del agua residual domestica) Pereira. En tres humedales sembrados con la especie *Phragmites australis*, cada uno con condiciones de operación diferentes. Para evaluar la remoción de materia orgánica se utilizaron análisis como demanda química de Oxígeno (DQO) por el método fotométrico, DBO₅ por el método winkler, fósforo por el método del ácido ascórbico, Nitrógeno Total por método Kjeldahl (NTK) y Sólidos suspendidos totales (SST) por gravimetría. Los resultados indicaron una eficiencia en la retención de de DQO, DBO, y SST mayores al 80%; en NTK mayores al 45% y para fosforo total mayores al 55 %. Concluyó que los tres sistemas evaluados son eficientes para la remoción de materia orgánica.

Palomino y Cabrera (2008) realizó la estimación de los servicios ambientales de captura del Dióxido de Carbono (CO₂) en la flora de los humedales de Puerto Viejo, Lima Perú. Utilizando la especie predominante, *Paspalum vaginatum* la “grama salada”, *Salicornia fruticosa* Linneo, “Salicornia”, una especie de valor artesanal *Schoenoplectus californicus* la “totora”, y *Scirpus americanus* el “junco”, donde se cuantificó la cantidad de carbono almacenado con la finalidad de conocer el potencial de captura por estas especies, teniendo como resultados que la especie que más capta CO₂ es la totora con 73.7 t CO₂/ha, seguido por el junco con 40.6 t CO₂/ha, siendo ambas de valor artesanal; concluyen que este humedal aporta un gran beneficio y que la falta de conocimiento se refleja en el deterioro del ecosistema.

Moller (2008) realizó la caracterización y el estado de conservación de un humedal urbano de Santa Inés en la isla Teja, Valdivia, menciona que estos ecosistemas están sometidos a diferentes afectaciones en su hidrología, calidad del agua y con ello la conservación del sistema en su conjunto. Los resultados revelan que, en general, el humedal posee una buena calidad de sus aguas según las normas chilenas, presentando bajas concentraciones de oxígeno disuelto y de nutrientes, pH algo ácido y ausencia de aportes de aguas servidas al humedal. De acuerdo a la concentración de fósforo podría considerarse el humedal con zonas oligotróficas y mesotróficas, sin embargo las bajas concentraciones de oxígeno restringen la productividad, sin embargo este ecosistema no se encuentra en un estado tan deteriorado como se esperaría en humedales de zonas urbanas, a pesar de estar que están sometidos a impactos antropogénicos.

Márquez (2007) determinó la presencia de nitrógeno y fósforo total en sedimentos de un humedal existente en la laguna Los Patos en el estado de Sucre, Venezuela. Los resultados muestran niveles altos de nitrógeno y fósforo total que alcanzan valores de 1380.63mg/kg y 950.63mg/kg, respectivamente, específicamente en las inmediaciones de la planta de tratamiento de aguas servidas, que se encuentra situada en el extremo sur de la laguna. Esta evidencia cuestiona la eficiencia del tratamiento de las aguas que están siendo descargadas en el interior del humedal y del lago. Se determinó que el fósforo

presente se encuentra principalmente como fósforo orgánico ligado a minerales fosfatados de calcio en un 48.53%. Las relaciones nitrógeno/ fósforo, que alcanzan valores de 9.58, en conjunto con los altos porcentajes de fósforo orgánico, revelan una fertilidad de tipo orgánico dentro del humedal. Lo que permitió inferir que estos ecosistemas retienen y transforman los nitratos y fosfatos que son incorporados.

Tejada (2007) estudió la contribución de un humedal artificial en la depuración de las aguas residuales agropecuarias en el Caribe de Costa Rica. El sistema redujo eficientemente la demanda química de oxígeno (86%), la demanda bioquímica de oxígeno (91%), los sólidos disueltos totales (78%), nitrato (70%) y fósforo (99%) del afluente, además de la temperatura, oxígeno disuelto y el potencial Redox, por lo que los resultados obtenidos sugirió que todos los componentes del sistema de descontaminación de aguas vertidas son necesarios para depurar eficientemente el agua residual.

Núñez *et al* (2006) evaluarón la eficiencia depurativa de un humedal como pulimiento de efluentes de las lagunas de estabilización del Centro de Investigación del Agua de la Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela. El sistema estuvo compuesto por dos celdas: un humedal plantado con *Typha dominguensis* y una celda de control sin vegetación. El sistema fue de flujo superficial en condiciones de alimentación continua, con un caudal de entrada de 2,15 m³/d. La remoción para el humedal construido fue de: turbidez (64,94 ± 11,04), Sólidos suspendidos totales (SST) 64,32 ± 13,98, Demanda Química de Oxígeno (DQO) 52,3 ± 13,43, Demanda Bioquímica Oxígeno (DBO₅) 5713 ± 11,53, y nitrógeno total Kjeldahl (NTK) 2,0±18,96; no hubo remoción para fósforo total (P_{total}) ni para Amonio (N-NH₄). Las medias de remoción (%) para el control fueron: turbidez (38,66 ± 17,45), SST 43,09 ± 17,31, DQO 22,75 ± 9,81, DBO₅ 27,86 ± 10,31, P_{total} (15,4 ± 23,82), NTK (24,26 ± 15,28) y N-NH₄ (24,07 ± 40,85). El humedal construido fue más efectivo en la remoción de materia orgánica del efluente de las lagunas de estabilización en relación con el control, donde hubo mayor remoción de nutrientes.

Ruiz *et al* (2005) estudiaron el transporte y degradación de nitratos en suelos en la aguas del humedal de Salburua, España. El estudio se realizó en columnas de suelo inalterado, lixiviadas con agua y con flujos másico de 0.111, 0.884 y 1.57mgNNO₃/día. Las características físico-químicas del suelo mostraron un alto contenido en materia orgánica, y ligero contenido en nitrógeno amoniacal y nitratos. La relación carbono/nitrógeno es alta en la parte inferior de la columna debido al bajo contenido en nitrógeno total de la muestra. Obtuvieron que la textura arcillosa del suelo junto con el alto contenido de materia orgánica pudiera argumentar la capacidad de este suelo para sufrir reacciones de nitrificación-desnitrificación. Concluyeron que la recuperación de este humedal que había sido declarado vulnerable a la contaminación por nitratos, ha permitido evidenciar su funcionalidad desde el punto de vista bioquímico

López (2005) diseñó un humedal artificial para remover nutrientes de un afluente de embalse Paso de las Piedras en Argentina. Obtuvo como resultados elevadas concentraciones de fósforo y nitrógeno en los tejidos de raíces y hojas de *Senecio bonariensis* que sobrevivieron ante las condiciones del humedal artificial, por lo que consideró a la especie como un agente de fitorremediación adecuado para tratar aguas eutrofizadas. Concluyó que los humedales artificiales son una buena alternativa para la depuración de aguas residuales, además de que son ecosistemas de bajo costo.

Martínez *et al* (2005) comparó el desempeño de diferentes plantas acuáticas en la depuración de aguas residuales con humedales de flujo subsuperficial, Murcia. En cinco canales independientes, plantó diferentes especies de plantas acuáticas emergentes: (*Phragmites australis*) carrizo común, (*Cladium mariscus*) masiega o mansiega, (*Iris pseudacorus*) lirio amarillo y (*Lithrum salicaria*) fraile o salicaria, dejando libre de plantas uno de los canales como referencia. Durante seis meses se analizaron la Demanda Química de Oxígeno, nitrógeno total y fósforo total a la entrada, salida y puntos intermedios de los humedales. Obtuvo como resultados eliminaciones de entre 84-91%, 34-55% y 17-41% respectivamente. Los mejores resultados fueron con la salicaria para DQO y el PT, y con lirio para NT.

Campanella *et al* (2005) evaluarón el efecto del fósforo de un efluente cloacal sobre la morfología interna y externa de *Eichhornia crassipes* en un humedal artificial de España. Midieron la altura de las plantas, la longitud de las raíces y la biomasa. Las diferentes concentraciones de fósforo, a la entrada y salida del humedal, produjeron variaciones en la morfología externa e interna de *E. crassipes*. Las plantas de la entrada presentaron mayor concentración de fósforo en la biomasa aérea y tenían mayor altura que las de las plantas de salida. Por lo que concluyeron que esta especie es una alternativa para utilizarla en humedales artificiales ya que fue eficiente en un 96 % en la retención del fósforo disuelto.

Sánchez (2003) realizó un estudio sobre la eliminación de nitratos por desnitrificación en la zona no saturada del suelo en un humedal del cinturón peri-urbano de Vitoria-Gasteiz, en donde se eliminaron los humedales por los cambios de uso del suelo y la intensificación de la agricultura en el acuífero Cuaternario de Vitoria-Gasteiz. La restauración de estas zonas húmedas contribuyó a la disminución de nitratos de las aguas subterráneas. Las concentraciones de nitratos (NO_3) son superiores a 50mg/L en las aguas fluyentes hacia la zona húmeda, son inferiores a 10mg/L en los alrededores del humedal. El potencial de desnitrificación de los suelos en la zona no saturada fue evaluado mediante el método de bloqueo con acetileno en tres perfiles de suelo adyacentes al humedal. Los valores máximos de desnitrificación se observan en los horizontes superficiales ricos en materia orgánica (32,0 – 36,2gMO/kg suelo) con tasas de desnitrificación que varían entre 18,7 y 20,3mg N/día/g de suelo. Los contenidos en materia orgánica disminuyen en profundidad (4,3 – 5,7gMO/kg suelo en el horizonte B2 entre 70 y 100 cm de profundidad). En este horizonte se midieron las tasas de desnitrificación más bajas con valores que varían entre 0,1 y 1,1mg N/día*kg de suelo. Determinó que estos ecosistemas naturales son eficientes en reducir nitratos, ya que los valores obtenidos mostraron una disminución en las aguas que fluyen hacia el acuífero.

Pérez *et al* (2000) estudiaron la sedimentación como mecanismo de depuración de agua. Encontraron que entre el 23 y el 93% de las partículas minerales en suspensión son retenidas por sedimentación, especialmente los metales pesados, los sedimentos de origen orgánico en su mayoría provienen de la producción y descomposición de la biota. Registrando aproximadamente el doble de N (17% en peso seco) que en suelos minerales (8% en peso seco). Sin embargo, la concentración de P para ambos tipos fue de 0.6 % en peso seco. La acumulación de nutrientes (N y P) por la vía de la sedimentación es mayor en suelos minerales que en suelos de origen orgánico.

2.2. Estudios de humedales en México

Romero-Ortiz *et al* (2011) evaluó la eficiencia de remoción de nutrientes utilizando *Eichhornia crassipes*, *Lemna gibba* y *Myriophyllum* para remover nutrientes de aguas tratadas que ingresan de un rastro cercano al canal de Xochimilco, obtuvieron como resultados que la mejor hidrófita fue *Myriophyllum aquaticum* en retener ortofosfatos con un 82%, mientras que *Lemna gibba* retuvo nitratos en un 32%, con respecto al amonio, las tres especies fueron eficientes en la absorción de dicho elemento.

Marín *et al* (2011) estudió el suelo de un humedal como almacenamiento de carbono, Veracruz. Se analizaron dos tipos de humedales arbóreos (HA) y herbáceos (HH). De acuerdo a los resultados no se encontró diferencias significativas en el humedal Ha y HH. Concluyo que ambos mostrarán una eficiencia del 55% en la retención de este elemento por lo que representan parte importante como reservorio de carbono para el planeta.

Rodiles-Hernández (2010) propone el establecimiento de humedales para el Valle de San Cristóbal de las Casas, que es un lugar en dónde las temperaturas, en algunas épocas del año son muy bajas por las mañanas y noches, mientras que en el día se elevan. Estos efectos del cambio climático podrían amortiguarse de existir una amplia zona de humedales, pues la incidencia de los rayos solares en los humedales favorece la evaporación de agua y la formación de una importante capa de niebla que mantiene la humedad relativa sobre el este sitio, por lo tanto concluye que al establecer estos ecosistemas se verá favorecido no solo la población cercana al valle, si no su influencia en la regulación de microclimas hacia el medio ambiente.

Hernández (2009) determinó las concentraciones de carbono (C) en suelos de humedales de diversos humedales de Norteamérica, menciona que la saturación de agua en estos sedimentos favorece la acumulación de dicho elemento debido a que disminuye la velocidad de descomposición de la materia orgánica. Reportó que la acumulación de C en los suelos oscila entre 470 y 2902Mg C ha⁻¹. La evaluación de las concentraciones de carbono se obtuvo

mediante un balance entre el C acumulado en la biomasa, el del sedimento de los humedales, y la emisión de metano (CH₄) a la atmósfera. Concluyó que estos ecosistemas son eficientes en la reducción de gases de efecto invernadero ya que reducen hasta un 60%.

Sepúlveda *et al* (2009) cuantificó las pérdidas de suelo por erosión fluvial (2006-2008) en dos cauces de ribera con cobertura de *Haematoxylum campechianum*, *Dalbergia brownei* y *Brachiaria mutica* en la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla, Tabasco. Evaluó la relación entre la textura, materia orgánica y pH de los suelos con la pérdida de los mismos. La principal tendencia de las pérdidas de suelo por tipo de cobertura vegetal se dio en el orden *H. campechianum*>*B. mutica*>*D. brownei*. El mayor impacto erosivo en sitios con *H. campechianum* se relacionó con la textura arenosa de los suelos y el grado de perturbación de los sitios. Las pérdidas totales de suelo en parcelas con *B. mutica* al segundo año de estudio pueden relacionarse con la distribución superficial de las raíces de este pasto y con la actividad ganadera. Con este estudio se reconoce la importancia de los matorrales de *D. brownei* en la retención de suelos ribereños, sin embargo hay que considerar que la sola influencia de un tipo de cobertura vegetal puede no ser tan significativa como el papel de una comunidad vegetal, en su composición, densidad, y su diversificación morfológica.

Romero *et al* (2009) evaluó el porcentaje de remoción de carga orgánica de aguas residuales proveniente de laboratorios de la universidad de Cuernavaca mediante el uso de humedales artificiales de flujo horizontal y con dos especies vegetales *Phragmites australis* (Cav.) y *Typha dominguensis*. Los resultados mostraron que hay una reducción en nitritos de 45% y del 90% en el DQO y DBO₅ por lo que recomienda el uso de humedales artificiales ya que son una alternativa de tratamiento debido a su alta eficiencia de remoción de contaminantes y a su bajo costo de instalación y mantenimiento.

Ramírez (2009) evaluó la eficiencia depurativa de un humedal artificial para remover materia orgánica carbonosa (DQO), nitrógeno (N-NH_4) y fósforo (PO_4) Iztapalapa. Los resultados obtenidos fue la reducción global de hasta 92% de la demanda química de oxígeno (DQO), 85% de N-NH_4 y 80% de PO_4 . Concluye que este tipo de ecosistemas son eficiente en la remoción de nutrientes y propone que el agua que se obtiene es buena, la cual se le puede usar para la acuicultura.

Guido (2008) evaluó el papel que juegan las plantas de *Pharagmites australis* o carrizo, en sus primeras etapas de crecimiento, en la remoción de contaminantes medidos con la demanda química de oxígeno (DQO) y la conductividad eléctrica (CE). Los resultados obtenidos al alcanzar una etapa estable, que se logra cuando la hidrófita tiene una altura de 50cm de altura, mostraron los valores más altos de remoción de DQO y CE con (54 y 9.3%), con respecto al control en el que se registraron valores menores del (38.1 y 4.4%). Concluye que hay una importancia significativa de la zona radicular en la especie ya que presento una eficiencia en remover contaminantes.

Fierro (2007) estudió el estado de conservación de ocho humedales en Tamaulipas, basándose en indicadores estructurales y funcionales, los primeros indicadores se derivan de la estructura del ecosistema, por ejemplo diversidad, abundancia, complejidad, presencia o ausencia de especies, mientras que los funcionales miden los procesos del ecosistema como descomposición, productividad, respiración. Reportó que el humedal El estero Barberena (BAR) presentó consistentemente los mejores resultados tanto en los indicadores funcionales como estructurales, así como en los parámetros del agua. El estero Garrapatas, mostró una mejoría en la función de su ecosistema, mientras que su estructura se ha mantenido relativamente pobre, por lo que se considera que el proceso de rehabilitación no se ha completado. En cuanto a los humedales dulceacuícolas, la laguna del Cañón (CAÑ) mantiene un ecosistema acuático en excelentes condiciones de conservación. Aunque se trata de un sistema naturalmente simple con cadenas tróficas cortas, se encuentra en equilibrio y no presenta signos de degradación actual o potencial. El estero Garrapatas en su parte dulce acuícola (GDU) presentó

problemas de eutroficación debido a contaminación por nutrientes. La Laguna del Conejo en su parte Norte (CON) mantiene un nivel trófico adecuado (mesotrófico) con poca contaminación por nutrientes. Mientras que en la parte Sur (COS) mantiene su condición de humedal degradado presentando problemas de eutroficación y elevadas concentraciones de nutrientes y sólidos en suspensión. La laguna del Chango (CHA) se mantiene como un humedal extremadamente degradado presentando severa contaminación por nutrientes y probablemente también por sustancias tóxicas. Los resultados obtenidos muestran claras diferencias en la condición ecológica entre los distintos humedales. Generalmente, los indicadores de función resultaron ser más sensibles para detectar cambios en el corto y mediano plazo. Concluyó que por medio de estos indicadores se pudo obtener información acerca del estado de conservación en el que se encuentran estos ecosistemas, registrando desde humedales muy conservados hasta ecosistemas en estado de degradación, estos indicadores seleccionados son útiles tanto en humedales salobres transicionales, como en humedales de agua dulce para caracterizar estos ecosistemas.

Núñez (2007) evaluó la remoción de nitrógeno a través de sistemas de humedales contruidos a pequeña escala, empleando las plantas *Typha dominguensis* y *Lemna sp.* Se midieron los parámetros como: Nitrógeno total Kjeldahl (NTK, N-NH_3 , N-NO_2), (N-NO_3), DQO y pH, en cinco diferentes tratamientos agua residual (AR), agua residual más material de soporte (AS), agua residual más material de soporte más la planta flotante *Lemna sp* (L), agua residual más material de soporte más la planta emergente *Typha dominguensis* (T) y agua residual más material de soporte más *Typha dominguensis* más *Lemna sp* (LT). Los resultados de remoción obtenidos favorecieron a los tratamientos vegetados T y LT para todos los parámetros estudiados, mientras que en los sistemas no plantados AR y AS hubo en menor grado igualmente, remoción. Problemas de competencia entre microalgas y la planta *Lemna sp* no permitieron el desarrollo de ésta última en la forma esperada, lo que ocasionó que el tratamiento L alcanzara los menores porcentajes de remoción para NTK y N-NH_3 , mostrando incremento en el caso del N-NO_2 . Los resultados demostraron la función que ejerce la planta *Typha*

dominguensis en los procesos de remoción de nitrógeno y materia orgánica que ocurren dentro de los humedales. Concluyendo que la actividad bacteriana, junto con la vegetación juegan un papel importante en la eliminación de nutrientes.

Berlanga *et al* (2007) propone un esquema para la clasificación de los humedales para México basado en el análisis comparativo de los principales sistemas de clasificación actualmente en uso. El análisis incluyó 18 clasificaciones de diferentes partes del mundo, realizando comparaciones, por lo que integraron 26 clases de humedales naturales y artificiales, basándose en criterios geomorfológicos e hidrológicos y su enfoque paisajístico. Con la finalidad de elaborar un inventario de humedales para México.

Barba (2006) elaboró un sistema de información geográfica, en donde clasifica a los humedales de Tabasco por categorías (1) costeras, (2) ribereñas, (3) lacustres y (4) palustres o pantanos de agua dulce, estableció las dimensiones de cada uno de ellos para todo el territorio tabasqueño. Los humedales con mayor extensión en Tabasco fueron los de tipo palustre que ocuparon un 20.72% del área estatal, seguidos por los costeros (3.93 %), los lacustres (1.74 %) y finalmente los ribereños (1.28 %). Entre los humedales palustres, resalta la importancia de la Reserva de la Biosfera Pantanos de Centla como sistema representativo que recibe particular atención por constituirse como una Área Natural Protegida en México y como sitio de reconocida importancia internacional por la Comisión Ramsar de Humedales.

Rodríguez y Bazúa (2006) estudio la eliminación de nitrógeno total, amoniacal y nitratos en un sistema de humedal artificial donde sembró en dos reactores carrizo (*Phragmites australis*) y en otros dos tules (*Typha latifolia*) y otro sin vegetación, encontró que cada uno de los sistemas tienen una eficiencia de depuración del nitrógeno adicionado en forma de sulfato de amonio de 88.7 y 93.3% respectivamente y de los nitratos del 83.2 y 96.5%, comparados con el sistema sin vegetación que tiene como resultado una acumulación del 10 al 16% por lo tanto presenta una eficiencia en la eliminación de este nutriente.

Arcos *et al* (2005) evaluaron el funcionamiento de humedales artificiales para el manejo de las aguas residuales, Veracruz. Registró que la Demanda Química de Oxígeno(DQO), se reduce en las primeras fases del tratamiento de 1600 mg/L a 250 mg/L, los valores del potencial de Hidrógeno (pH) bajan de 8 a 7.8, observó que en las primeras etapas del tratamiento hay gran cantidad de contaminantes presentes y el oxígeno se reduce debido a los procesos bioquímicos que se realizan por medio de los microorganismos, sin embargo existe un aumento significativo en el humedal de flujo sub-superficial de 5 mg/L lo cual inyecta oxígeno y permite una mayor remoción de materia orgánica. Los autores sugieren que el agua que emite el humedal puede ser utilizada para actividades de riego, sin embargo deberá ponerse a consideración este uso bajo la Norma Oficial Mexicana para la utilización de estas aguas para el riego de hortalizas.

Rivas (2003) evaluó un humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales de una población de 5,000 habitantes Jiutepec, Morelos. Obtuvo como resultado una eficiencia de remoción del 96% en la DBO₅ para las celdas purificadoras, un 94% para las celdas de lodo y una eficiencia entre el 60 y 70% en remoción en sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos y DQO. Por lo que propone el establecimiento de estos ecosistemas como sitios de hábitat para la fauna silvestre y para el tratamiento de aguas residuales.

Ramírez *et al* (2001) estudiaron un sistema de tratamiento de agua residual doméstica utilizando macrófitas con un pre tratamiento anaerobio, para evaluar su eficiencia de remoción de materias orgánicas y patógenas. Determinaron potencial de hidrogeno (pH), demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), demanda química de oxígeno (DQO), oxígeno disuelto (OD), temperatura, sólidos suspendidos, nitrógeno amoniacal e indicadores bacteriológicos, según las Normas Mexicanas. Los resultados demuestran que el pH osciló entre 7.2 y 7.6, el OD entre 0.68 y 0.93 mg/L. Los valores promedio de remoción fueron: DBO₅ el 50%, sólidos suspendidos el 70% y nitrógeno amoniacal el 13%. El sistema no ha alcanzado una adecuada eficiencia debido a que es de reciente construcción y le falta estabilizarse.

2.3 Estudios de humedales en la región

Villalobos (2012) evaluó el contenido de metales pesados en agua y en sedimentos en cinco sitios ubicados en la desembocadura del río Grande de Morelia y en el Lago de Cuitzeo. Lo anterior fue realizado mediante espectrofotometría de absorción atómica (AAS), espectrofotometría de plasma por acoplamiento inductivo-masas (ICP-MS) y fluorescencia de rayos X, además de evaluar los parámetros físicos y químicos, para determinar las condiciones de contaminación del agua en los sitios. De acuerdo a los parámetros fisicoquímicos en agua mostraron, diferencias entre los sitios ubicados en el lago y el río, éstas se deben principalmente a parámetros como los carbonatos, bicarbonatos, sulfatos, conductividad eléctrica, sólidos disueltos y totales, DBO₅, DQO, OD y cloruros, los cuales se presentaron en mayor concentración en los sitios del lago, lo cual indica que la salinidad que presenta el lago influye sobre estas variables. Respecto a los sitios del río, los sólidos sedimentables, el color, acidez, nitrógeno amoniacal y nitratos se presentaron en mayor concentración indicando un grado de contaminación antropogénica, la cual puede llegar al Lago y cambiar las características del agua afectando a los organismos presentes. Con respecto a los metales encontrados en agua como fueron Cd, Cu, Ni, Cr y Pb se registraron valores bajos en los sitios del río, mientras que el arsénico se registró mayor concentración en los sitios del Lago que en los del río por lo que determina que este elemento no es aportado por las aguas del río Grande, sugiriendo que la roca del lago puede ser el principal responsable de la presencia de dicho elemento. De acuerdo a los sedimentos los valores más altos de metales pesados como Fe y Zn, se registraron en los sitios del lago. Concluyo que se detectó cierto grado de toxicidad en los sitios del río donde las concentraciones son bajas y con lo que respecta a los sitios del Lago que presentan algunas variables con mayor concentración puede deberse a la naturaleza del Lago (geológica, hidrológica, profundidad etc.).

Israde (2010) estudió la evolución paleolimnológica del Lago de Cuitzeo, realizó 27 perforaciones en el depocentro del lago en cuatro trincheras de las zonas proximales recientemente expuestas por el retroceso del lago, durante el análisis registró que las arcillas, limos y lodos diatomáceos fueron el material dominante en el núcleo, mientras que en las trincheras dominan facies fluviales intercaladas con depósitos volcanoclásticos re TRABAJADOS, depósitos de cenizas, surges y tobas de caída aérea depositados en agua y en paleosuelos. Los resultados de los análisis de diatomeas, polen, mineralogía, geoquímica del núcleo de 27 m y macropartículas carbonizadas de las trincheras muestran que el lago experimentó distintos cambios ambientales, durante los periodos de Pleistoceno Tardío y el Holoceno, estos cambios están atribuidos principalmente al vulcanismo y la erosión sucesiva provocado complejas variaciones en la red hidrológica, en los patrones de sedimentación hacia el lago por lo que quedo inhibido el depósito de polen y diatomeas.

Hernández *et al* (2010) evaluarón la capacidad sortiva del humedal Ramsar en Pátzcuaro obteniendo que tiene una eficiencia del 42% en retención de sólidos disueltos totales y reportó una retención del 71% en el caso de fósforo total y el 31% de nitratos. Por lo tanto se considera que funciona como un depurador de sólidos y nutrientes, mejorando la calidad de agua que se ingresa al lago por la zona sur.

Escutia y Linding (2009) determinarán el efecto que tuvo el fuego en la distribución de hidrófitas emergente en el humedal de la Mintzita. Durante el año del 2006 y 2007 se presentaron dos incendios los cuales tuvieron efectos diferenciales para las especies dominantes; *Shoenoplectus americanus* no fue afectada, pero *Typha domingensis* redujo y modificó su cobertura a lo largo del gradiente hídrico, lo que ocasionó una pérdida de la zonación inicial característica de estas 2 especies. Durante el año 2005 se tenían registradas 34 especies; el siguiente año se perdieron 5, y finalmente en 2007 sólo se registraron 26. Entre las especies que se conservan, destaca *Carex comosa*, perteneciente a un género característico de humedales bien conservados, que aumentó su cobertura en un 133%. Por lo que concluyo que este tipo de incendios afectan de manera intensa a especies facultativas y pastos, lo que

sugiere que disturbios semejantes pueden mantener la estructura y composición florística de este tipo de ecosistemas.

Ayala (2009) menciona la importancia que tienen los humedales ya que mejoran la calidad del agua, la disponibilidad de sitios utilizados por las aves para anidar, sustratos para el desove de peces, diversidad de fuentes alimenticias, proporciona un ambiente de protección y es un excelente amortiguador de los efectos del azolve. Sin embargo este tipo de ecosistemas es altamente frágil cuando se descargan en ellos aguas sin tratamiento. Además que proveen de hábitat únicos para una amplia variedad de flora y fauna. Estos se consideran como espacios vitales para mantener la salud general del planeta y son descritos como zonas ecológicas de alta eficiencia para la captura de carbono y la estabilidad del clima global.

Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente en el estado de Michoacán (2009) estableció la necesidad de elaborar un inventario de humedales, partiendo de una definición de éstos ecosistemas para después establecer sus funciones y señalar los problemas a los que se enfrentan. Michoacán tiene cuatro humedales Ramsar con una superficie total de 1,429 ha y aún están como propuesta al menos cinco sitios para su inclusión en esta convención.

Ayala *et al* (2008) evaluarón el impacto ambiental de dos ambientes del humedal basándose en las características fisicoquímicas del agua en el Sur del Lago de Pátzcuaro, menciona que el Lago poseía una superficie de 130 km², ésta se ha reducido paulatinamente por la erosión, azolve, crecimiento de la vegetación acuática, estancamiento hidráulico y evapotranspiración. Actualmente la superficie del Lago no alcanza a los 75 km². Los resultados sugieren la presencia de aguas de infiltración, los procesos de hidrodinámica y oxigenación natural influyen en la distribución y concentración de fósforo total y nitrógeno inorgánico en el agua. Estos nutrientes son retenidos hasta en un 70% en el interior del ecosistema de humedal. Lo que sugiere que el humedal una vez restaurado funciona como un filtro natural en la zona litoral además de inducir un balance hidrológico positivo. Proponen que es necesario un control de este ambiente en beneficio de la existencia del Lago de Pátzcuaro como la

capacidad de carga tanto de nutrientes como de materia orgánica, sólidos y de niveles de agua permitirá diseñar modelos que fortalezcan la coexistencia del humedal con el sistema lacustre.

Lara (2008) estudió la composición y dominancia de especies hidrófitas emergentes y captura de nitrógeno y fósforo en humedales de agua dulce en Michoacán, México. Obteniendo como resultado 44 especies para los tres sitios de colecta, siendo el humedal de la Mintzita el que presento mayor cantidad de especies con 35, seguido por el humedal de Pátzcuaro con 20 y finalmente los humedales de Zacapu con 19. Y con respecto a la concentración de nutrientes registro que al incrementar estos elementos hay una pérdida de algunas especies mientras que otras se ven favorecidas, de acuerdo a estas concentraciones determino el estado en que se encuentra cada humedal siendo el humedal de Pátzcuaro el más deteriorado, seguido el humedal de Zacapu y el mas conservado fue el humedal de La Mintzita. Por lo que concluye que la captura de nutrientes por parte de algunas especies es un factor determinante para la estructura y composición de los humedales.

Mendoza (2007) describe y analiza la dinámica de cambio de las superficies ocupadas por el Lago de Cuitzeo entre el periodo de 1974 al 2001, sugiriendo que las superficies del vaso lacustre varían con el tiempo y que estos cambios muestran relación con el comportamiento de la precipitación y la temperatura media mensual del año que antecede. Los cambios monitoreados en el corto plazo (1997-2001) muestran que la superficie del Lago de Cuitzeo presenta una tendencia a la reducción de su espejo de agua por lo que asume que este comportamiento es resultado de la sequía que afecta a toda la cuenca desde mediados de los años noventa.

Medina *et al* (2006) determinó la dinámica de fósforo, nitrógeno, en el humedal localizado en el litoral sur del Lago de Pátzcuaro, en donde se marcaron siete sitios, repartidos dentro del humedal, zona limnética y un manantial en un trayecto de 1500 m. Los resultados obtenidos de las concentraciones de fósforo total y nitrógeno inorgánico en agua demostraron que estos nutrientes son retenidos cuando pasan a través del humedal en un porcentaje de 67.5% y

70.8% respectivamente. Por lo que determina que el humedal funciona como un filtro natural.

Linding (2005) estudió la vegetación del manantial en la Mintzita, municipio de Morelia, enlistó más de 54 especies de plantas acuáticas emergentes, lo que hace de este humedal el sistema más rico en especies entre los humedales de agua dulce de la región. Entre las especies más abundantes se encuentran los tules (*Typha domingensis*) y otras especies características como *Shoenoplectus americanus*. También se encontró con especies indicadoras de altos niveles de conservación (*Carex* spp.). Determinó que hay varios factores que amenazan a estas especies como son el pastoreo del ganado, las concentraciones de nutrientes que han ido aumentando cerca de las zonas en donde las actividades humanas son más intensas, menciona que si las concentraciones de estos elementos en el agua sobrepasan ciertos límites, muchas de las plantas del humedal pueden ser afectadas negativamente. Con los resultados obtenidos propuso medidas de manejo y restauración para el humedal de la Mintzita, como controlar en la medida de lo posible, los aportes de nitrógeno por medio de prácticas agrícolas adecuadas en las partes altas de la cuenca y evitar algunas actividades que tienen alto impacto sobre la calidad del agua como el lavado de ropa en las orillas del manantial.

Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente en el estado de Michoacán (2005) realizó tres proyectos de humedales para la recuperación de la cuenca del Lago de Pátzcuaro en el cual el primer proyecto consistió en la participación de la comunidad realizando la construcción de humedales, el segundo proyecto diseñaron humedales para el tratamiento de aguas residuales de cuatro localidades, y el tercer proyecto fue colocar otro humedal para el pulimento (remoción de nutrientes y microorganismos patógenos) del efluente de la planta de tratamiento de Quiroga. Obteniendo beneficios ambientales, sociales y económicos como fueron la eliminación de un área insalubre y de lodos acumulados durante muchos años; la protección de la calidad del agua del lago y de la vida acuática, y la generación de empleos durante la instalación y la operación del humedal.

Escalante (2005) establece que el Lago de Pátzcuaro se encuentra en condiciones de eutroficación, determinando que el principal problema es el incremento de nutrientes, por descargas de aguas residuales producidas por las localidades que aportan 603 toneladas de materia orgánica, 347 de nitrógeno y 79 de fósforo al año, además de los contaminantes generados por la actividad agropecuaria. Concluye que ante la problemática que presenta el lago, una alternativa viable para disminuir el proceso de eutroficación es el desarrollo de plantas de tratamiento, tales como los humedales artificiales.

Urquiza (2005) realizaron la instalación de un humedal artificial de tipo subterráneo para el tratamiento de las aguas residuales de las comunidades ribereñas de Santa Fe de las lagunas, Mpio. Quiroga. El humedal cuenta con todos los sistemas eslabonados para realizar la eliminación de basuras, sólidos, bacterias y microorganismos patógenos y retención de nutrientes, este humedal estaba construido por una unidad de pretratamiento, un humedal principal, una laguna de maduración y un humedal de pulimento. Los resultados que se obtuvieron mediante monitoreo y pruebas de calidad de agua en los diferentes procesos, fueron una eficiente retención de nutrientes (88%), mientras que para los sólidos fue del 70%. Concluye que estos ecosistemas son una alternativa de bajo costo para depurar las aguas residuales.

Israde *et al* (2002) estudiaron la estratificación de diatomeas de un núcleo de 27 metros extraídos de la zona central del Lago de Cuitzeo, indicando la existencia de tres fases lacustres, que se encuentran separadas por discontinuidades, en la primera fase muestra una tendencia marcada a la recuperación en el nivel lacustre con diatomeas planctónicas que indican la presencia de un lago abierto y más profundo con poca vegetación acuática. En la segunda fase el lago muestra bajos niveles seguidos por breves episodios de recuperación, aunque la tendencia es de un nivel somero que es interrumpido por eventos volcánicos, en la tercera fase se registran mayores concentraciones iónicas, turbidez, y menor profundidad del tirante del agua.

Izurieta (2002) estimó el aporte de nutrientes en la cuenca del Lago de Cuitzeo, mediante el uso de la técnica de funciones de carga, para lo cual se empleó el modelo Generalized Watershed Loading Functions (GWLF). Encontró que el Lago de Cuitzeo recibe anualmente en promedio 147.4 toneladas de nitrógeno y 373.4 toneladas de fósforo, siendo en los meses de Agosto y Septiembre cuando se presentan las mayores aportaciones. Se establece que el impacto del aporte de nutrientes al Lago de Cuitzeo fue evaluado desde el punto de vista limnológico y con la información que se obtuvo establecieron que el Lago de Cuitzeo recibe una carga anual de fósforo equivalente a 0.926 g/m², lo cual lo define como un cuerpo en estado hipereutrófico según la clasificación de Vollenweider.

Martínez *et al* (2002) describen que en la ribera del Lago de Cuitzeo y Pátzcuaro se encuentran operando humedales artificiales que tratan las aguas residuales de las poblaciones aledañas. A partir del 2005 ha estado en operación un humedal de flujo subsuperficial, en Pátzcuaro dónde se han logrado la remoción, asimilación y transformación de altos niveles de nitrógeno ureico y amoniacal en agua; utilizando para ello *Typha domingensis* y *Phragmites ssp* como plantas acuáticas. En el caso de los humedales en Cuitzeo no se logró obtener beneficio alguno ya que estos ecosistemas al poco tiempo dejaron de funcionar.

Rivas *et al* (2001) realizaron un diseño conceptual de cinco humedales para remover el fósforo, nitrógeno y coliformes fecales, de las descargas de aguas residuales de las localidades de Tzintzúntzan, Erongarícuaro, Santa Fe de la Laguna, Buenavista (municipio de Pátzcuaro) y del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Quiroga. Los resultados de coliformes se presentaron dentro del rango esperado, el nitrógeno y el fosforo (entre 4 y 15 mg/L) requieren mayores áreas de tratamiento. Se identificaron 22 descargas, cada localidad presenta sus descargas de manera dispersa, normalmente en número mayor de dos. Los autores concluyeron que los humedales son una alternativa viable para el tratamiento de las aguas residuales en comparación con sistemas mecanizados, ya que la tasa de remoción es alta y son de bajo costo.

Rojas y Novelo (1995) describen la flora y la vegetación acuática del Lago de Cuitzeo donde mencionan que debido a la extensión del Lago, su poca profundidad y al gran número de manantiales determinaron una alta diversidad de hábitats propicios para el alto desarrollo de diversas formas de vida de plantas acuáticas y subacuáticas. El Lago presenta una riqueza florística representada por 40 familias, 70 géneros y 92 especies, de las cuales se registraron 25 acuáticas estrictas y 30 subacuáticas y el resto consiste de plantas tolerantes. Las hidrófitas preponderantes son las enraizadas emergentes dominadas por *Typha*, *Scirpus*, *Cyperus*, *Eleocharis*, *Phragmites*. De las enraizadas sumergidas se encuentra el *Potamogeton pectinatus*, siendo el elemento que cubre más de la mitad de la parte oriental del lago, asociado a un alga del género *Chara*. Concluyendo que un largo periodo de sequía, la alta evaporación, la concentración de sal 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, especialmente en la parte Occidental y el Centro del Lago. de seguir la pérdida captación del agua, se pone en peligro el futuro del Lago, la flora y fauna que lo habitan.

III .OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

Determinar la eficiencia depurativa del humedal natural del lago de Cuitzeo

3.2 Objetivos particulares

- ❖ Determinar la composición fisicoquímica del agua de ingreso y egreso del humedal.
- ❖ Evaluar la composición fisicoquímica del sedimento en el humedal.
- ❖ Estimar la capacidad de retención de nutrientes del humedal.

IV. HIPÓTESIS

- ❖ ¿Qué tan eficiente puede ser este ecosistema en la depuración de aguas residuales?
- ❖ ¿Qué elementos puede retener o procesar este ecosistema?

Ho

Si el humedal de Cuitzeo presenta una elevada eficiencia en la absorción de nutrientes entonces este ecosistema mejora la calidad de agua que es ingresada al Lago

V. DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO

5.1 Localización Geográfica

El Lago de Cuitzeo se encuentra localizado al Sureste del Estado de Guanajuato y Noroeste de Michoacán, entre las coordenadas UTM 261103 N, 2211197E y 305338N, 2206963E, mínimas 258504N, 2203622E y 306164N, 2201322E a una altitud de 1,830 m.s.n.m. La extensión promedio del Lago, incluyendo zonas de inundación es de aproximadamente 400 km². Comparte parte de los municipios de Huandacareo, Chucándiro, Copándaro de Galeana, Santa Ana Maya, Zinapécuaro y Álvaro obregón, en Michoacán y Acámbaro en Guanajuato (García 2008).

El Lago de Cuitzeo es un Lago de origen natural, se formó a partir de una antigua falla del tipo *rift*, esta falla se ha registrado de manera continua en toda la cuenca y ha causado el aporte de material terrígeno de menor y mayor tamaño en casi toda la superficie del lago en distintos períodos, es por ello que en la actualidad no presenta aguas profundas; Sin embargo, se sabe que el Lago de Cuitzeo se ha secado completamente sólo una vez, en el periodo Mioceno, hace unos tres mil ciento cincuenta millones de años aproximadamente. Dentro del embalse quedarón varios montículos terrígenos conocidos como islas, que han recibido diversos nombres a través del paso de los años, tal como Uirapio o San Pedro, Las Palmas, Coenio, Las Burras, Chanacos, Tacumo, Cerro Grande, Las Cuatas, Cirio Grande y Sirio Chico (Israde *et al* 2002) (Fig. 1)

Dentro del Lago de Cuitzeo se encuentra un humedal en la parte Oeste; el cual, de acuerdo a la clasificación de Cowardin (1979) se tipifica como humedal lacustre, presenta una extensión de 420 Hectáreas, abarcando las localidades de Queréndaro y El Temazcal. Entre las islas cercanas al humedal se encuentra la Tzirio Grande, Tzirio Chico, Isla Chanaco y Cerro Grande y la vegetación predominante es *Typha domingensis*, y *Scirpus acutus*.



Figura 1. Mapa de ubicación geográfica del área en estudio

5.2 Fisiografía.

La cuenca del Lago de Cuitzeo se ubica dentro de la provincia fisiográfica del Sistema Volcánico Transversal y la subprovincia de las Sierras y Bajíos Michoacanos (Rojas, 1991). Cuitzeo se originó a finales del periodo Terciario entre el Plioceno y el Pleistoceno, en la misma actividad tectónica y volcánica que dio origen al Sistema Volcánico Transversal (Tamayo, 1962).

En la parte Sur de la cuenca se localizan las sierras de pendientes fuertes, sobresaliendo la de Otzumatlán y la de Mil Cumbres; la parte Central de la cuenca presenta una serie de planicies escalonadas, de pendientes suaves, destacando las de Undameo, Morelia, Queréndaro y Zinapécuaro, las cuales están rodeados por lomeríos y sierras con laderas de pendientes medias (Pompa-López, 1995) (Fig. 2).

Si relacionamos el relieve de la cuenca encontrado por Mendoza, *et al.* (2001) con la disponibilidad de agua se esperaría que la parte Sur y Sureste donde se encuentran las sierras con pendientes fuertes, el escurrimiento del agua fuese mayor debido a que en esta zona se encuentran las laderas inclinadas y escarpadas; en la parte Central de la cuenca donde se encuentran las planicies con pendientes suaves hubiese mayor infiltración de agua y en la parte Norte y Noroeste donde se encuentran los lomeríos y sierras con pendientes medias se presenta un grado intermedio de escurrimiento del agua, lo anterior va a depender de otros factores como son el tipo de roca y su porosidad, el tipo de suelo, así como de la cobertura vegetal y el uso de suelo que se esté dando en el área. En la cuenca se observa que los asentamientos humanos se encuentran sobre laderas muy suaves a suaves (36%) y planicies (30%), por lo que se puede decir que el relieve está influyendo en la distribución de la población en la cuenca.

Cerca del humedal se encuentra la isla de Tzirio Grande, Tzirio Chico o isla de los puercos con 365 habitantes, la Isla Chanaco, que está situada en el Municipio de Álvaro Obregón con 30 habitantes y el Cerro Grande.

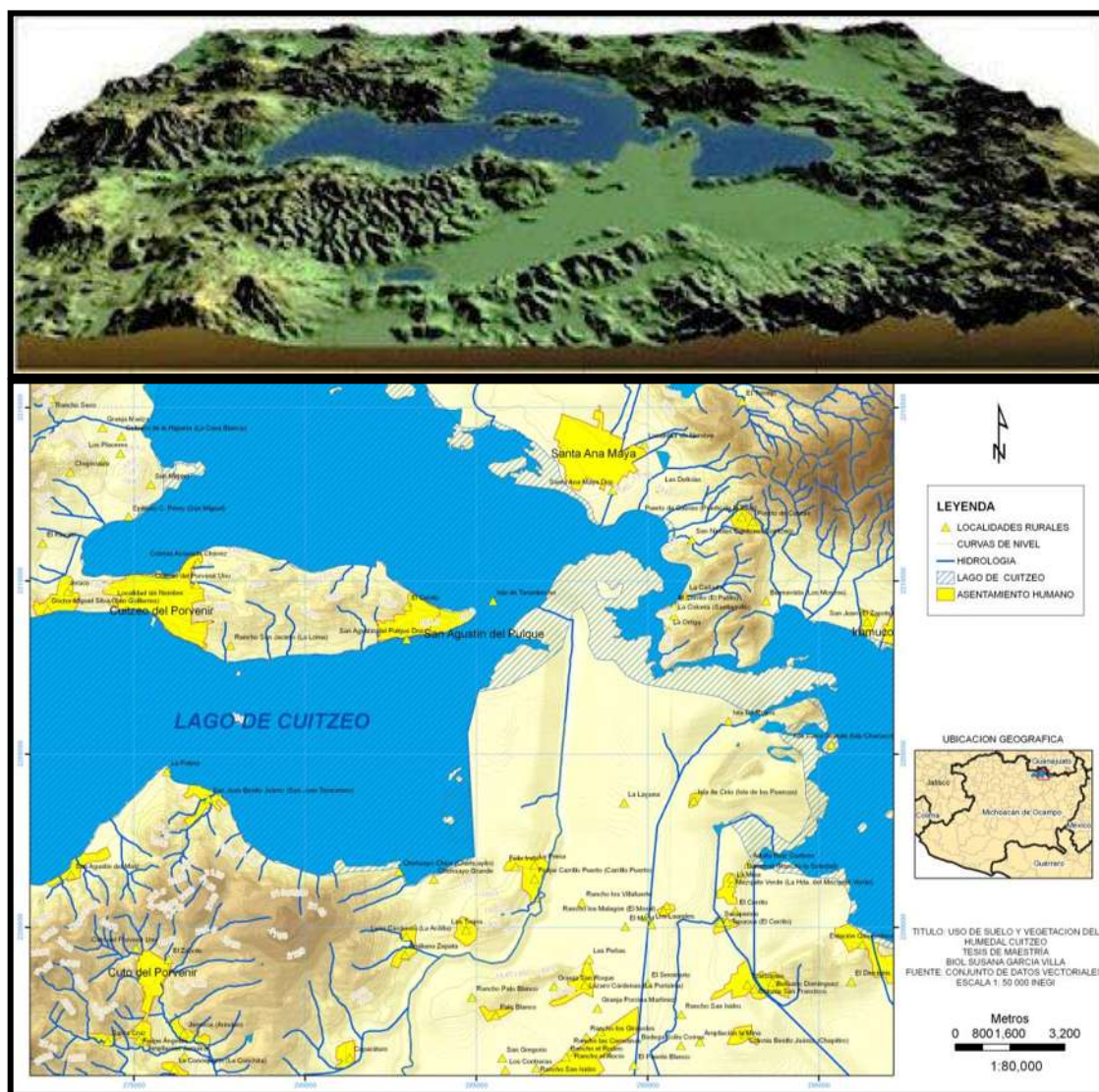


Figura 2. Fisiografía de la zona cercana al humedal

5.3 Geología.

En el margen Sur y Oriente del Lago de Cuitzeo se identifican rocas que pertenecen a la llamada serie calco-alcalina predominando las rocas de tipo andesita. Las cuales se distribuyen en tres unidades principales: 1) andesitas con pequeñas cantidades conglomerados, tobas, reolitas e ingimbritas de una edad aproximada entre los 18 y 14 millones de años, b) unidad sedimentaria integrada por lutitas y diatomitas lacustres, tal vez de la época del Mioceno tardío o Plioceno temprano cuya edad oscila entre los siete y cuatro millones de años, posiblemente fueron depositadas después de formarse el lago de Cuitzeo y c) la unidad derivada del vulcanismo del Eje Neo Volcánico Transversal cuyo basamento se encuentra formado por rocas piroplásticas . Las edades de estas rocas van desde los 1.6 a los 1.2 millones de años, cuya porción final se compone de derrames tisulares de andesitas y basaltos así como conos cineríticos. En la cadena montañosa de la cuenca alta se presentan las rocas ígneas incluyendo los basaltos y andesitas (Gutiérrez, 1996).

Cerca del área de estudio el tipo de roca predominante son del Cuaternario lacustre Q (la) son suelo integrado por depósitos de suelos finos (limos y arcillas), seguido de rocas de tipo andesitas pertenecientes al Terciario medio Superior) Ts (A), son de textura samítica de grano fino a grueso con una grado de redondez subanguloso a subredondeados de granos de cuarzo (INEGI 2009) (Fig.3).

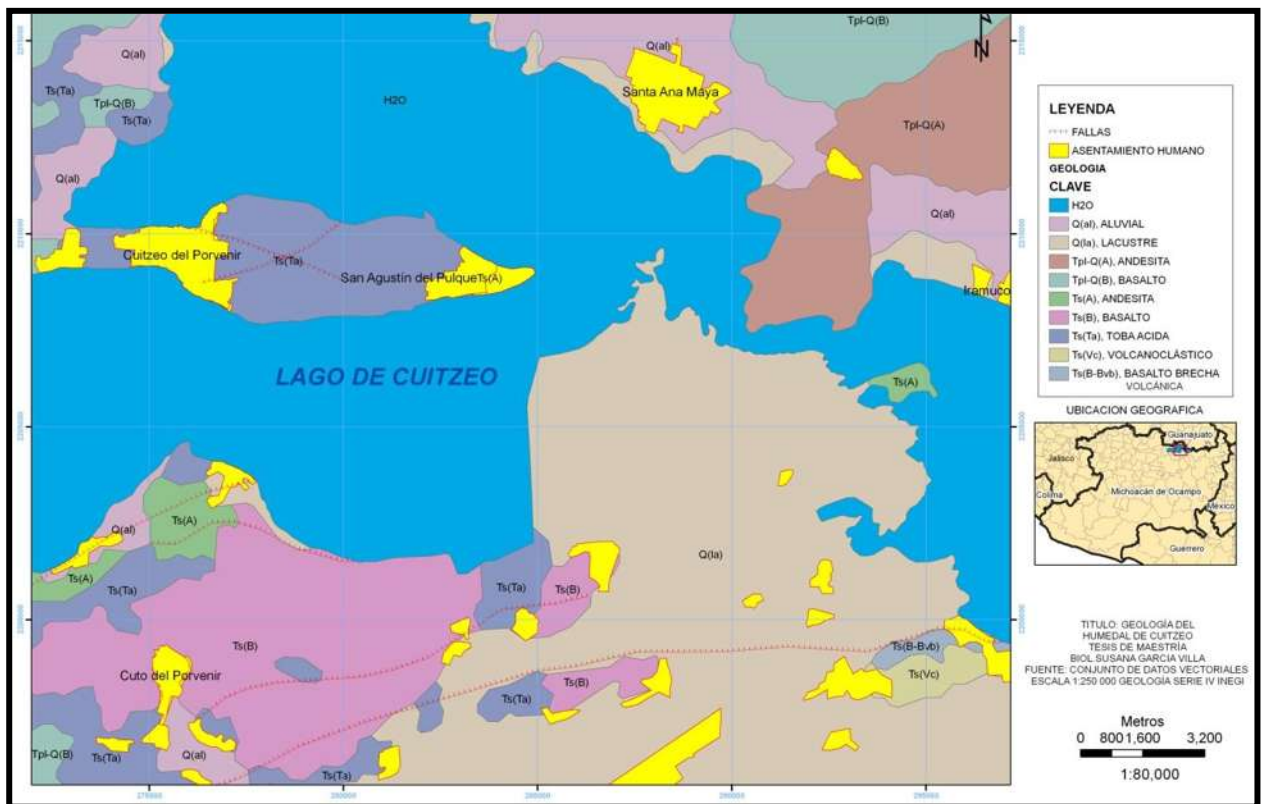


Figura 3. Mapa geológico del los alrededores cercanos al humedal

5.4 Suelos.

En la cuenca dominan cinco unidades de suelo que se encuentran distribuidas en el paisaje en una secuencia determinada por la topografía (toposecuencia). En la zona montañosa se presentan tres unidades de suelo de composición ácida: Andosoles en las zonas más altas de la cuenca (son suelos formados a partir de materiales ricos en vidrios volcánicos y que comúnmente tienen un horizonte superficial oscuro), seguidas por Acrisoles (son suelos de origen residual desarrollados a partir de rocas volcánicas), y Luvisoles (se caracterizan por ser muy ácidos y estar fuertemente meteorizados). A medida que las pendientes disminuyen, se presentan los Feozems (son suelos de color oscuro y ricos en materia orgánica), y en las partes bajas, sobre terrenos planos en donde convergen los escurrimientos, se encuentran los Vertisoles son suelos de textura arcillosa, son los más profundos y evolucionados en la zona, pudiendo presentar problemas de drenaje y con tendencia a la salinidad; cuando están secos se agrietan y cuando están húmedos son plásticos y pegajosos, lo cual presenta problemas para el manejo agrícola y riesgos a la ganadería y a las construcciones, presentándose en el área de llanura y de sierra con pendiente suave, cercanas al lago de Cuitzeo. (Pulido 2007)

Cerca de la zona al humedal se encuentran los suelos de tipo Solonchaks (son suelos que contienen altas concentración de sales solubles en algún momento del año, están ampliamente confinados a zonas climáticas áridas y semiáridas y regiones costeras en todos los climas). Y en la parte Sur se tienen suelos Phaeozem suelos de pastizales relativamente húmedos su elevada humedad impide que se acumulen los carbonatos o la sal. Debido a su alto contenido en iones de calcio, que se unen a las partículas del suelo, estos presentan una estructura muy permeable (IUSS 2007) (Fig. 4).

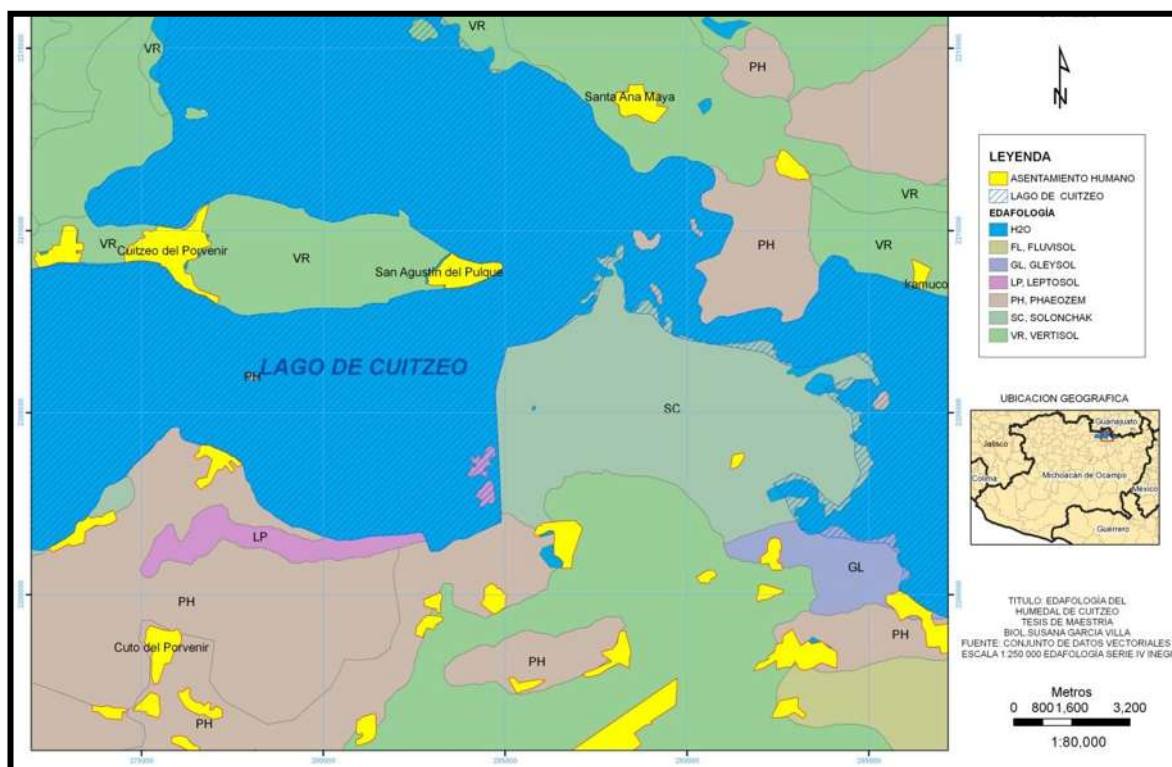


Figura 4. Mapa edafológico de la zona cercana al humedal

5.5 Clima.

El clima predominante en la cuenca corresponde al templado con lluvias en verano, **Cb(wo)(w)(i')g** es el menos húmedo de los climas subhúmedo. Sin embargo se presenta un gradiente de incremento de humedad y descenso de temperatura que va de Norte a Sur. Este clima es considerado de transición, caracterizado como el menos seco de los esteparios, con lluvias durante el verano, su oscilación térmica entre el mes más frío y el mes más caliente es moderada, pues varía entre 5 y 7 °C. El clima estepario es considerado como un clima seco en donde por lo general, la evaporación o evapotranspiración excede a la precipitación. De acuerdo al Climograma del año 2010 el mes más caliente en este Lago es Mayo antes del solsticio de verano (21 de Junio) con 21 °C, por lo que se describe como una marcha de la temperatura de tipo Ganges, mientras que el mes más frío es en Enero con 14.5°C de manera que su isoterma media anual es de 18 °C. El mes más lluvioso es Agosto y el mes más seco es Febrero (CIRPAC-INIFAP 2010) (Fig. 5).

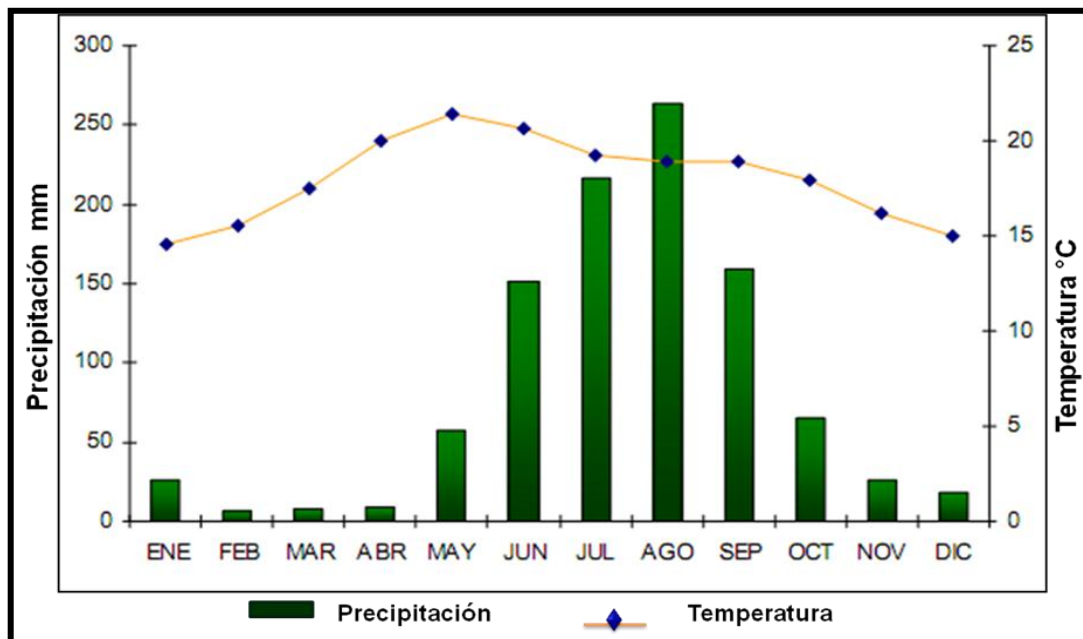


Figura 5. Climograma de Cuitzeo 2010. (Red nacional de estaciones estatales agroclimáticas)

5.6 Hidrología

Como consecuencia del accidentado relieve en el estado de Michoacán se han formado tres vertientes:

- ❖ Vertiente del Norte, donde se ubica el río Lerma y las cuencas endorreicas de Cuitzeo, Pátzcuaro y Zirahuén.
- ❖ Vertientes del centro donde se encuentran los ríos Tepalcatepec y Balsas
- ❖ La vertiente del Sur o del Pacífico, en donde los escurrimientos de la sierra de Coalcomán desembocan directamente al Océano Pacífico.

El Lago recibe agua de tres ríos principales como se muestra en la Figura. 6: El Río Grande de Morelia es el tributario más importante, drenando un área de 1,577 km². Este se forma con los ríos Tiripetío y Tirio, a los cuales se les une el Río Chiquito de Morelia. Escurre de SW a NE hasta justo antes de la zona de riego agrícola donde se divide en dos el Viejo y el Rectificado cuyo flujo de agua es permanente durante todo el año. El Río Queréndaro tiene una extensión superficial de 549 km², se localiza en su mayor parte en el municipio del mismo nombre y su principal afluente es el río Zinapécuaro. El lago cuenta además con las aportaciones de numerosos arroyos de temporal y cuerpos termales que se localizan en la parte baja de la cuenca. Las zonas de mayor infiltración y recarga se encuentran en la parte poniente de Capula y Cuto de la Esperanza, Irapeo y la zona de Mil Cumbres (Bravo 2008).

Los principales afluentes que abastecen el humedal son el Río Grande de Morelia, el Río Rectificado y el Río Queréndaro.

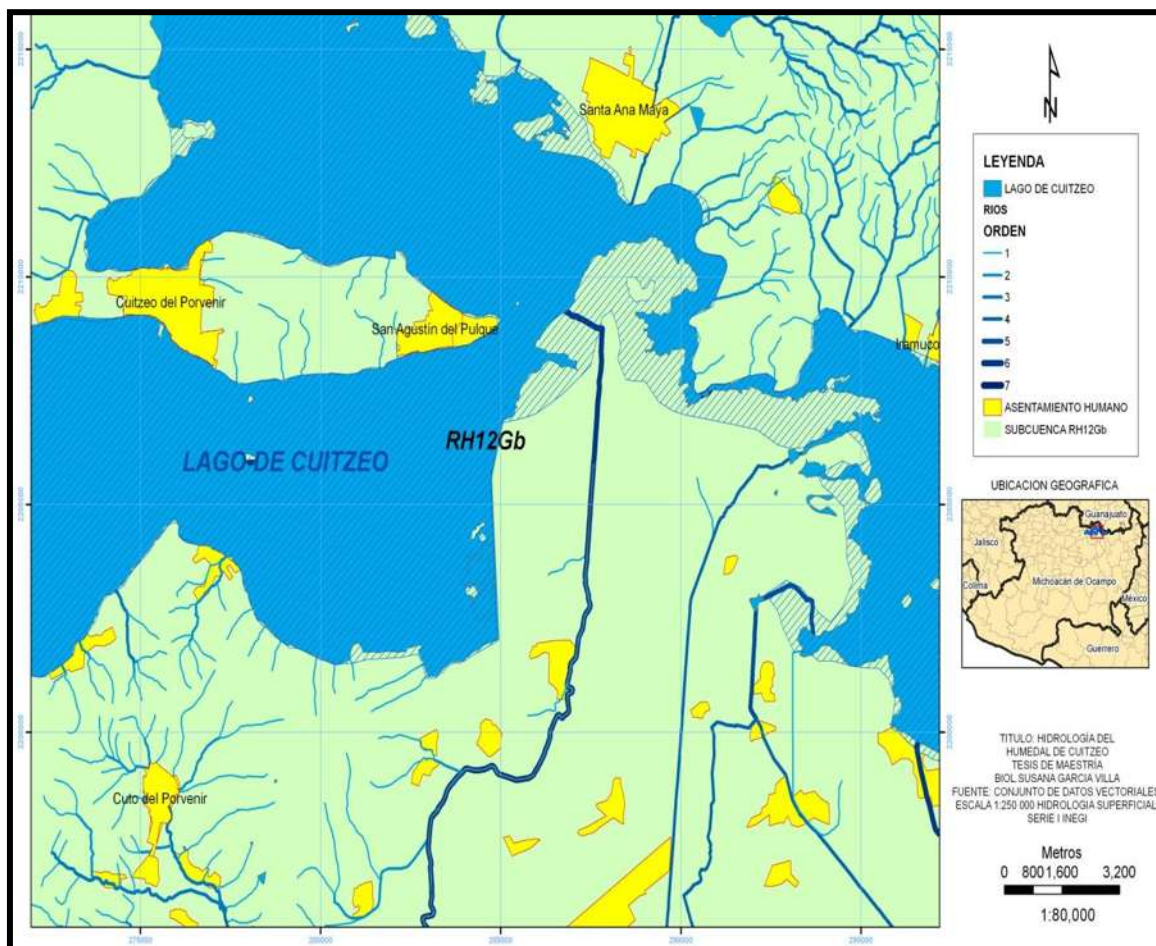


Figura 6. Mapa hidrológico de la zona cercana al humedal

5.7 Vegetación y uso de suelo.

La vegetación que identifica a la cuenca es de matorral xerófito, especialmente de asociaciones de huizache-mezquite. Los árboles y arbustos más característicos que se localizan son mezquites (*Prosopis laevis*), huizaches (*Acacia farnesiana*, *A. angustissima*, *A. schaffneri*), Cazahuatl (*Ipomea murucoides*), pirul (*Schinus molle*) y granjeno (*Celtis palida*). Debido a la alta salinidad que presentan los suelos de la ribera la vegetación es poco diversa, (Chacón *et al* 2007).

En el año 2000 las clases de cobertura que estaban mejor representadas fueron los arbustos con el 24.2% de la superficie de la cuenca (97,006 ha), le siguen los cultivos de temporal con el 20.0% (79,902 ha), y los cultivos de riego con un 19.1% (76,494 ha), estos tres tipos de cobertura representan el 76.3% de la superficie de la cuenca (López y Bocco 2002).

En la parte Este, Sur y Oeste de la cuenca que corresponden a las zonas más altas y húmedas, se encuentran los bosques de pino (*Pinus spp*), de pino-encino (*Pinus spp* y *Quercus spp*), de encino (*Quercus spp*), y de oyamel (*Abies spp*). La agricultura de riego se encuentra en la parte centro y sur de la cuenca donde se encuentran los valles y hay disponibilidad de agua. Mientras que los pastizales, los matorrales y cultivos de temporal están distribuidos en toda la cuenca dominando en la parte Centro y Norte. Lo anterior indica que en la cuenca los diferentes tipos de cobertura se distribuyen de acuerdo a dos factores principales el relieve, y la disponibilidad de agua

En cuanto a la vegetación acuática del Lago de Cuitzeo se tiene una riqueza florística alta, representada por 40 familias, 70 géneros y 92 especies, de estas últimas 25 fueron acuáticas estrictas, 30 subacuáticas y el resto consiste de plantas tolerantes. Las hidrófitas preponderantes son las enraizadas emergentes dominadas por *Typha*, *Scirpus*, *Cyperus*, *Eleocharis* y *Phragmites*. De las enraizadas sumergidas, *Potamogeton pectinatus* es el elemento que cubre más de la mitad de la parte oriental del lago, asociado a una alga del género *Chara* (Rojas *et al* 1995).

Cerca de la zona de estudio en la (Figura 7) se observa la presencia de pastizal halófilo, gramíneas que se desarrollan en suelos con altas concentraciones de sales y pastizal inducido (esta comunidad resulta de la perturbación que produce el hombre al abrir zonas donde la vegetación prístina era el bosque de pino-encino, para ser sustituida y emplearlas como zonas de sobrepastoreo y agricultura).

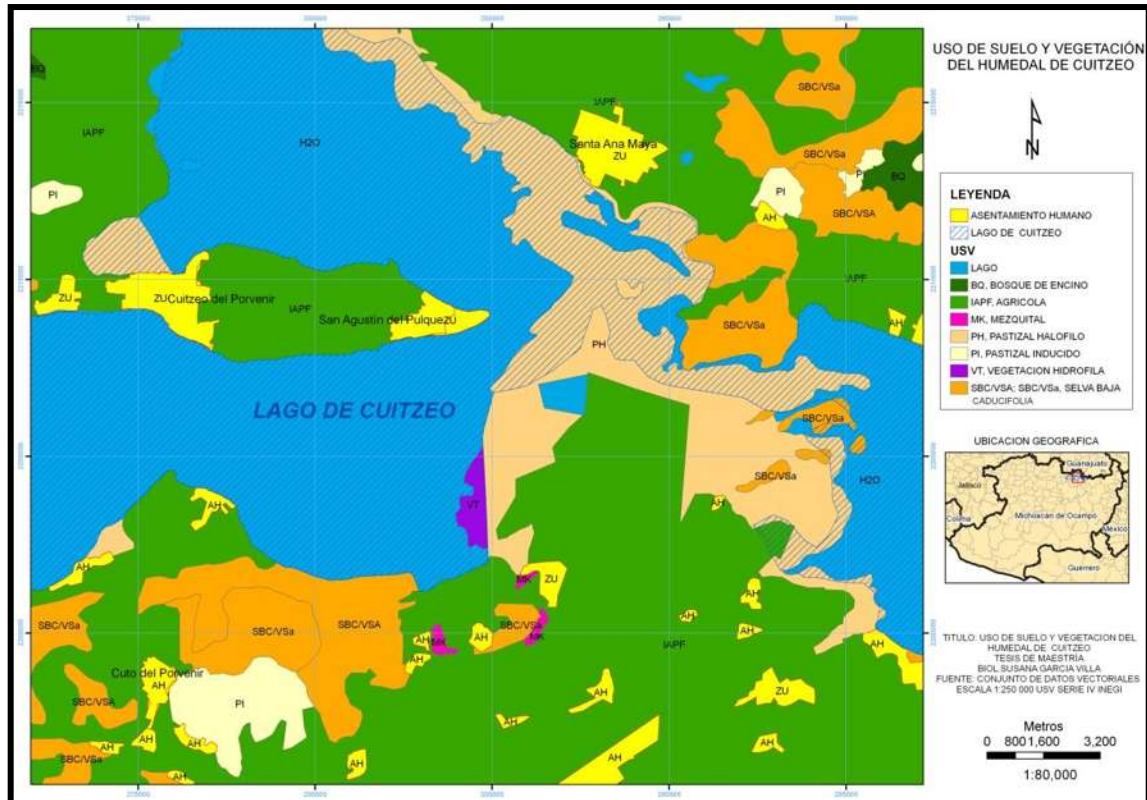


Figura 7. Mapa de uso de suelo y vegetación cercana al humedal

5.8 Fauna.

En la cuenca existen reptiles, anfibios, aves y mamíferos muchos de los cuales solamente se presentan en esta cuenca. Las poblaciones de estas especies han sido reducidas, quizá de una manera más drástica que las de la vegetación debido al cambio ambiental provocado por el hombre. La fauna silvestre terrestre de la cuenca del Lago de Cuitzeo está compuesta por animales típicos de las zonas semidesérticas del altiplano mexicano, como son ardillas de árbol (*Sylvilagus floridanus*), tlacuaches (*Didelphys virginiana*), zorra (*Urocyon cinereoargenteus*), zorrillo (*Conepatus mesoleucus*), tejón (*Nasua narica*) y comadreja (*Mustela frenata*) entre otros (Chacón et al 1980).

La avifauna del Lago de Cuitzeo comprende 38 familias con 157 especies lo que representa el 31.12% de las especies registradas en el estado de Michoacán. De estas 81 especies son residentes (51.6%), mientras que 75 son migratorias (47.8%) y solo una especie es estacional (Villaseñor-Gómez, 1994). Las especies más importantes son (*Anas americana*) el pato chiflador, (*A. acuta*) pato golondrino, (*A. discors*) cerceta alas azules, (*Aythya collaris*) pato cabezón, y (*Botaurus lentiginosus*) avetoro americano, (*Geotlypis speciosa*) Mascarita transvolcánica. Y con relación a la ictiofauna se pueden encontrar charales del genero *Chirostoma*, como *C. jordani*, y *C. bartani*, (Hernández 2006).

5.9 Actividades socioeconómicas

En la cuenca se ubican parcial o totalmente 28 municipios, de los cuales 23 corresponden al estado de Michoacán y cinco al estado de Guanajuato. Dentro de la cuenca se encuentran 15 cabeceras municipales: Acuitzio del Canje, Álvaro Obregón, Copándaro de Galeana, Cuitzeo del Porvenir, Charo, Chucándiro, Huandacareo, Huiramba, Indaparapeo, Lagunillas, Queréndaro, Santa Ana Maya, Tarímbaro, Zinapécuaro y Morelia. En el año de 1970 existían 392 asentamientos humanos y en el año 2000 se incrementaron a 687 localidades. La población de la cuenca en 1970, fue de 380,787 habitantes (16 % de la población estatal), y en el 2010 alcanzó la cifra de 28,227 habitantes (22 % de la población estatal). Los municipios con mayor población son Morelia, Zinapécuaro, Tarímbaro y Cuitzeo en donde se encuentran ubicadas las ciudades con mayor población de la cuenca, incluyendo la capital de Morelia, el asentamiento más importante en términos demográficos y económicos (INEGI 2010).

Las actividades económicas que se desarrollan en la zona de estudio son principalmente agropecuarias, como el cultivo de granos y producción de animales, representando el 88% de las actividades que se desempeñan (PEA). En contraste, actualmente sólo el 30% de la PEA se mantiene en el sector primario y el resto se dedica a actividades secundarias y terciarias (70%). Una característica importante de la población que habita en la cuenca, es su tendencia a la emigración hacia la ciudad de Morelia y los Estados Unidos; por ejemplo, el 79 % de los municipios que conforman la zona tienen tasas migratorias altas (Chacón *et al* 1980).

Las localidades cercanas al humedal son la Purísima, el Temazcal, la Mina donde se realizan actividades de extracción de tule para la producción de petates, siembran cultivos de maíz, sorgo, la extracción de rana y charal como actividad económica.

VI .MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 SITIOS DE MUESTREO

Se realizaron salidas de reconocimiento de campo con la finalidad de establecer los sitios de muestreo. Para la selección de los sitios de muestreo se tomaron en cuenta los siguientes criterios:

- a) Profundidad
- b) Transición entre sistema acuático y terrestre
- c) Perfil de vegetación semi-acuática y acuática

Los sitios establecidos (Tabla 1 y Figura 8) se ubicaron en:

- 1) Sitio 1 la colecta de muestras se realizó sobre la Desembocadura del Río Queréndaro, este nace en la sierra de Oztumatlán, se dirige al Noroeste, atraviesa el poblado de Queréndaro, y desemboca en la presa Malpaís, donde sale nuevamente como canales de riego para finalmente desembocar en el Lago de Cuitzeo, presenta una profundidad de 2.30 m y un ancho de 21.20 m. (INEGI, 1990 y 1994).
- 2) Sitios de muestreo 2 y 3 se establecieron sobre el Cauce y la Desembocadura hacia el lago, respectivamente- Río Grande de Morelia, presenta una profundidad de 1.50 m y de ancho 2.5 m. Nace aguas arriba de la presa de Umécuaro, se dirige hacia el Norte donde alimenta a la presa de Cointzio, posteriormente recibe aportaciones del río Chiquito, la Minzita, Itzícuaru y la Quemada, las aguas negras de la ciudad de Morelia y las aguas residuales de CRISOBA Industrial, S.A de C.V. Las aguas del río Grande se utilizan para riego, que se aprovecha en los valles de Charo, Álvaro Obregón y Tarímbaro. Finalmente el agua sobrante desemboca en el lago de Cuitzeo (INEGI, 1996).
- 3) Sitios 4 y 5 se establecieron dos puntos de muestreo uno sobre el Cauce y el otro en la Desembocadura del Río Rectificado, este río presenta una profundidad de 3 metros y un ancho de 20.10 m, se

caracteriza por recibir aguas de uso industrial que se provienen de la ciudad de Morelia, agua de uso agropecuario pues sobre ambas inmediaciones se realiza cultivo de maíz, así como de los poblados que se encuentran sobre su cauce.

- 4) Sitio 6 se colectó la muestra en la Estación Queréndaro, este punto de muestreo forma parte de lo que es lago. El agua que recibe es del poblado con el mismo nombre.
- 5) Sitio 7 se tomo en cuenta este sitio dentro de un proyecto grande del cual solo se considero como una referencia., en este ecosistemas no se realizaron muestreos en la entrada hacia el humedal, ni dentro de él, solo se tomarón muestras sobre la salida del agua que es vertida hacia el Lago, este humedal se localiza cerca del poblado de Cuitzeo, presenta ocho hectáreas, el cual está delimitado con maya la cual impidió que se tuviera acceso hacia el interior del humedal. En este ecosistema el tipo de vegetación predominante es la *Typha dominguensis*, el humedal recibe descargas del municipio de Cuitzeo

Los cinco sitios restantes fueron establecidos en la zona donde el humedal vierte sus aguas hacia el vaso lacustre. Estos sitios se caracterizan por estar dentro del Lago, las inmediaciones de una extensa masa de vegetación hidrófita de la cual predomina la *typha dominguensis* o tular, seguida de *T. angustifoli*, y posteriormente el *Eichhorni crassipes* o lirio acuático, los sitios del humedal presentan una profundidad menor a un metro, este humedal se encuentra extendido desde el poblado del temazcal hasta unirse con la isla Chanaco y el Cerro Grande.

Tabla 1. Coordenadas geográficas de los sitio de muestreo

SITIOS		COORDENADAS UTM	
1	Río de Queréndaro	0293486	2202905
2	Cauce del Río Grande de Morelia	0287192	2202060
3	Desembocadura del Río Grande de M.	0287737	2207355
4	Río Rectificado	0290739	2203895
5	Desembocadura del Río Rectificado	0290581	2206408
6	Estación Queréndaro	0296120	2199828
7	Humedal artificial	0273931	2209072
H1	Fuera del Humedal 1	0294998	2202964
H2	Fuera del Humedal 2	0295140	2203707
H3	Fuera del Humedal 3	0294956	2204869
H4	Fuera del Humedal 4	0294976	2205287
H5	Fuera del Humedal 5	0294686	2205596



Figura 8. Ubicación de los sitios de muestreo en humedal natural del Lago de Cuitzeo

6.2. Muestreo en campo

Previamente al muestreo se realizó la calibración del equipo de mediciones de campo. Se llevó a cabo la colecta de muestras y datos en los puntos establecidos.

Registrando en campo las siguientes variables:

- ❖ Temperatura del agua (°C): Con un termostato acoplado a un Conductivímetro modelo PC 18.
- ❖ Potencial de Hidrógeno (pH): Con un sensor para pH acoplado a un Conductivímetro modelo PC 18.
- ❖ Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$): Se midió con un Conductivímetro modelo PC 18.
- ❖ Oxígeno disuelto (mg/L): Por el método de Winkler modificado al ácido de sodio (APHA, 1992).

Posteriormente se colectó agua de la superficie directamente con un muestreador de plástico, de una capacidad de cuatro litros, las muestras se trasladaron al laboratorio en una hielera a bajas temperaturas para minimizar la alteración de las mismas, finalmente se tomaron muestra de sedimento directamente o con una pala en los sitios con profundidades menores a 30 centímetros, mientras que en los sitios con profundidades mayores a 1 metro se realizó empleando una draga tipo Eckman de capacidad de 2.0 kg, la muestra de sedimento fue colectada en un frasco de plástico, etiquetado para su traslado al laboratorio.

Una vez en el laboratorio las muestras se mantuvieron en refrigeración hasta su procesamiento.

6.3. Análisis de agua

En el laboratorio se realizaron los siguientes parámetros:

Alcalinidad a la fenolftaleína y total empleando en método titrimétrico, con ácido sulfúrico (H_2SO_4) 0.02N como solución titulante y como indicadores fenolftaleína y verde de bromocresol ([APHA, 1985](#)).

La estimación de los carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos se realizó indirectamente mediante cálculos dependiendo de la tabla de relaciones de alcalinidad ([APHA, 1985](#)).

La dureza total se estimó empleando el método titrimétrico como indicador Ericromo negro T y sal Disódica de EtilenDiamino Tetra Acético (EDTA) ([APHA, 1985](#)).

La dureza de calcio se realizó con el método titrimétrico, ([APHA, 1985](#)). Y para la dureza de magnesio se calculó de manera indirecta, sustrayendo de la concentración de dureza total aquella debida al Calcio (Ca) expresada en miliequivalentes y multiplicados por equivalente del peso de magnesio ([Rainwater y Thatcher, 1960](#)).

La concentración de sólidos suspendidos totales se estimó mediante el método gravimétrico ([Strickland y Parsons, 1972](#)), mientras que los sólidos disueltos totales se determinaron con un conductivímetro PC 16.

Los sólidos sedimentables se calcularon mediante el método volumétrico del cono de sedimentación tipo Imhoff (APHA, 1992) y la turbidez con un turbidímetro tipo Hach previamente calibrado.

En cuanto a la concentración de nitritos (NO_2) y nitratos (NO_3) se realizó mediante el método de colorimetría, empleando un espectrofotómetro “Perkin Elmer” modelo Lambda 10UV/Vis a una longitud de onda de 543nm para (NO_2) empleando una curva de calibración, con un valor de $r^2 = 0.98$ y para los (NO_3)

una longitud de onda de 220 a 275nm utilizando una curva de calibración, expresando con una $r^2 = 0.94$ (APHA, 1992).

La concentración de Amonio se estimó mediante la técnica de colorimetría de Nessler, a una longitud de onda de 425nm ([APHA, 1985](#)).

La concentración de fósforo total (FP) se estimó mediante el método colorimétrico con la técnica del ácido ascórbico ([Murphy y Riley, 1962](#)), con una previa digestión y lecturas en la longitud de onda de 880 nm. La concentración de fosfato reactivo soluble u ortofosfato (SRP) se estimó mediante la técnica del ácido ascórbico en la misma longitud de onda (APHA, 1992). En los dos casos se utilizaron curvas de calibración con una $r^2 = 0.99$ para (FP) y 0.99 (SRP)

La concentración de pigmentos fotosintéticos (clorofila-a) se determinó mediante el método de extracción con acetona acidificada al 90%. Empleando un espectrofotómetro a una longitud de onda de 663nm a 750nm, utilizando una curva de calibración con una $r^2 = 0.99$ ([Lind, 1985](#)).

Para cálculo de materia orgánica: Se estimó indirectamente con la determinación de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) con el método de incubación DBO₅ ([Eaton et al. 1995](#)). Demanda Química de Oxígeno (DQO) con la técnica de digestión con un ácido sulfúrico concentrado ([Eaton et al. 1995](#)).

6. 3. 1 Análisis de sedimentos

La humedad se determinó, por medio del método gravimétrico de diferencia de pesos. Los resultados se expresaron en porcentaje ([Romero, 1999](#)).

El nitrógeno orgánico se determinó con el método Kjeldahl establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 ([APHA, 1985](#)).

La materia orgánica se determinó utilizando el método gravimétrico, ([Beltrán, 1964](#)).

El análisis de la concentración de fósforo total se realizó con la técnica establecida por Beltrán (1964), mediante digestiones con ácido sulfúrico al 0.002 N, y posteriormente se analizó con el método colorimétrico u una longitud de onda de 880 nm.

La textura en los sedimento se analizó mediante método de Bouyoucos y para el análisis de granulométrico se realizó mediante el procedimiento para la determinación de partículas del suelo usando el método del hidrómetro modificado y con respecto a la clasificación textural se empleó el triángulo de texturas o diagrama ternario de Folk y Ward (1957) (Fig. 9)



Figura 9. Triángulo de texturas de Folk y Ward

6.4 Propiedades de absorción

Con los datos obtenidos mediante las fórmulas de (Fleischer y Stibe, 1991) se obtuvieron los porcentajes de la eficiencia de retención del humedal.

La capacidad de retención se reporta en porcentaje (%) y se calcula dividiendo la retención entre la concentración de ingreso por 100 (Fleischer y Stibe, 1991).

Capacidad sortiva (retención)

$$CS (\%) = (R/C_{\text{ingreso}}) * 100$$

CS (%)= Porcentaje de la capacidad sortiva

R= retención (diferencia en mg/L)

C ingreso = Concentración de ingreso (mg/L)

6.5 Análisis Estadístico

Mediante el programa de estadística versión 10 se realizó un análisis de conglomerados o método de Clúster en el cual se logró obtener las asociaciones entre los sitios de muestreo, y posteriormente se llevó a cabo el análisis factorial a partir de una matriz de correlación, para determinar las variables de mayor peso o importancia en el ecosistema, se tomó en cuenta aquel factor que explicara el mayor porcentaje de la variación de las variables analizadas. Finalmente utilizando el programa R 2.12. Se aplicó un análisis de varianza estableciendo un p-valor menor o igual a 0,05 como límite para aceptar la hipótesis nula (si hay o no diferencias significativas entre las varianzas) (Ramírez, 1999).

.

VII. RESULTADOS

Los resultados obtenidos se describirón con base a los sitios de los afluentes y sitios del humedal.

7.1 Variación temporal

Se reportan solo aquellos parámetros que presentarón una variación durante los periodos de sequía y lluvias

El valor promedio anual de la conductividad eléctrica fue de 1,054.5 μ S/cm, registrándose para el período de sequia un valor más elevado 1,256.47 μ S/cm, mientras que en la temporada de lluvias existe una disminución hasta los 853.55 μ S/cm, siendo el mes de Abril dónde se registro el nivel máximo 3,031.0 μ S/cm y con un nivel mínimo de 200.0 μ S/cm en el mes de Febrero (Tabla 2).

El oxígeno disuelto registró un promedio anual 4.1mg/L, mismo que aumenta en la temporada de sequía 5.11mg/L y durante el período de lluvias disminuye a un valor promedio de 3.1mg/L, reportando el valor máximo en el mes de Mayo con 6.2mg/L y con una concentración mínima de 2.9mg/L en el mes de Febrero.

La concentración de nitritos mostró una concentración promedio anual de 1.5 mg/L, con una media de 2.2mg/L en la temporada de sequía y para el período de lluvias disminuye registrando un promedio de 0.9mg/L, la máxima concentración se registró en el mes de Junio con 5.08mg/L y la mínima (0.07mg/L) en el mes de Octubre.

La concentración de nitratos registró un promedio anual de 22.5mg/L, con un promedio de 33.3mg/L en el periodo de sequía y para la temporada de lluvias se reduce a 11.64mg/L, cuyo nivel máximo se obtuvo en el mes de Junio 61mg/L y un mínimo (9.9mg/L) en el mes de Octubre.

Para la concentración de amonio se obtuvo un promedio anual de 0.15mg/L, con una diferencia en las temporalidades de 0.21mg/L en el período de sequía y de 0.09mg/L para el periodo de lluvias, registrando el valor máximo en el mes de Mayo con 0.24mg/L y con una mínima de 0.01mg/L en el mes Agosto.

En lo que se refiere a las concentraciones de fósforo total, se obtuvo un promedio anual de 757.2µg/L, en el período de sequía presentó un aumento a 979.8µg/L y para el período de lluvias se registro una reducción a 534.6µg/L, obteniendo un nivel máximo de 2,544.2 µg/L en el mes de Mayo y un mínimo de 310µg/L en el mes de Agosto (Tabla 2).

El promedio anual para la concentración de ortofosfato fue de 573.3µg /L, la mayor concentración fue en la temporada de sequía cuyo promedio fue de 733.1µg/L, y para el período de lluvias disminuye con un promedio de 413.5µg/L, registrando el valor máximo de 2,049.8µg/L en el mes de Mayo y un valor mínimo de 209µg/L en el mes de Agosto

Para los sólidos suspendidos se registró un promedio anual de 354.05mg/L, los cuales presentan un incremento en el período de lluvias (423.9 mg/L) y una disminución durante la temporada de sequía (284.2mg/L), registrándose el valor máximo de 1278.8mg/L en el mes de Noviembre y un valor mínimo de 129mg/L en el mes de Agosto.

Los sólidos suspendidos totales registraron un promedio anual de 786.6mg/L, con un incremento en la temporada de sequía de 1,161.0mg/L y disminuye en el período de lluvias a 412.1mg/L. La máxima concentración fue de 1,569.2mg/L en el mes de Junio y con la mínima de 410 mg/L en el mes Octubre.

La clorofila-a registró un promedio anual de 12.9mg/m³, mismos que se incrementa en la época de sequía a 14.29 mg/m³ y disminuyen en el período de lluvia a 11.64 mg/m³. Encontrándose que la máxima concentración fue de

24.2mg/m³ en el mes de Marzo y con la mínima de 5.6mg/m³ en el mes de Febrero.

Con respecto a la demanda química de oxígeno se obtuvo un promedio anual de 822.5 mg/L, misma que se incrementa en la temporada de sequía de 985.3mg/L y se reduce en la temporada de lluvias a 659.7mg/L. Reportándose una valor máximo de 1467.2mg/L en el mes de Marzo y un valor mínimo de 285mg/L en el mes de Mayo.

La demanda bioquímica de oxígeno presentó un promedio anual de 238mg/L, cuya variación fue muy ligera por temporalidad, registrándose niveles de 231mg/L y 245mg/L en la temporada de lluvias y secas, respectivamente. La máxima concentración se obtuvo en el mes de Marzo con 396.3mg/L y el mínimo de 73.8mg/L en el mes de Noviembre.

Tabla 2. Características físico químicas del agua en el período de sequías y lluvias.

VARIABLES	SEQUIA	DESVIACIÓN ESTANDAR	LLUVIAS	DESVIACIÓN ESTANDAR
Temperatura (°C)	21.11	2.38	20.57	2.04
Conductividad (μS/cm)	1256.47	622.43	853.55	447.34
Potencia de Hidrogeno	8.35	0.90	7.84	0.76
Turbidez (NTU)	197.07	120.92	117.51	166.27
Alcalinidad Total (mg/L)	182.19	60.24	174.79	109.48
Alcalinidad Fenolftaleínica (mg/L)	32.88	27.21	7.94	22.33
Dureza Total (mg/L)	163.58	62.51	148.50	28.91
Dureza de Calcio (mg/L)	25.22	13.64	25.96	6.82
Dureza de Magnesio (mg/L)	25.86	7.32	21.95	5.80
Bicarbonatos (mg/L)	126.98	73.95	158.91	86.32
Carbonatos (mg/L)	57.06	47.14	15.88	44.65
Hidróxidos (mg/L)	1.11	3.69	0.00	0.00
Bióxido de Carbono (mg/L)	8.96	9.00	9.30	8.95
Oxígeno disuelto (mg/L)	5.11	2.94	3.19	1.27
Nitritos (mg/L)	2.20	6.65	0.94	1.74
Nitratos (mg/L)	33.39	16.43	11.64	3.91
Amonio (mg/L)	0.21	0.10	0.09	0.10
Fósforo Total (μg/L)	979.82	706.31	534.64	465.11
Ortofosfato (μg/L)	733.11	632.64	413.59	406.79
Sólidos suspendidos Totales (mg/L)	284.20	207.62	423.88	179.40
Sólidos disueltos totales (mg/L)	1161.06	738.78	412.17	208.27
Sólidos sedimentables (ml/L)	0.33	0.49	0.23	0.31
Clorofila a (mg/m ³)	14.29	7.07	11.53	9.49
Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	985.34	113.60	659.71	219.53
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	245.38	70.19	231.51	45.36

Durante el periodo de sequía la clorofila- a registró un aumento, para la zona de afluentes los sitios con mayor concentración fue tanto el Cauce (sitio 2) como la Desembocadura (sitio 3) del Río Grande de Morelia, para la zona del humedal el sitio H1 (Fuera del humedal) registró la concentración maxima con 31.5mg/m³

Durante el período de lluvias la clorofila-a tiende a disminuir en ambos ecosistemas, para la zona de afluentes se registró la concentración máxima en el Río Queréndaro (sitio 1) con 12.3mg/m³, mientras que para los demás sitios las concentraciones disminuyeron de manera homogénea, en la zona del humedal el sitio H5 (Fuera del humedal) registró la concentración máxima concentración durante este temporada con 38.8mg/m³ (Fig. 10).

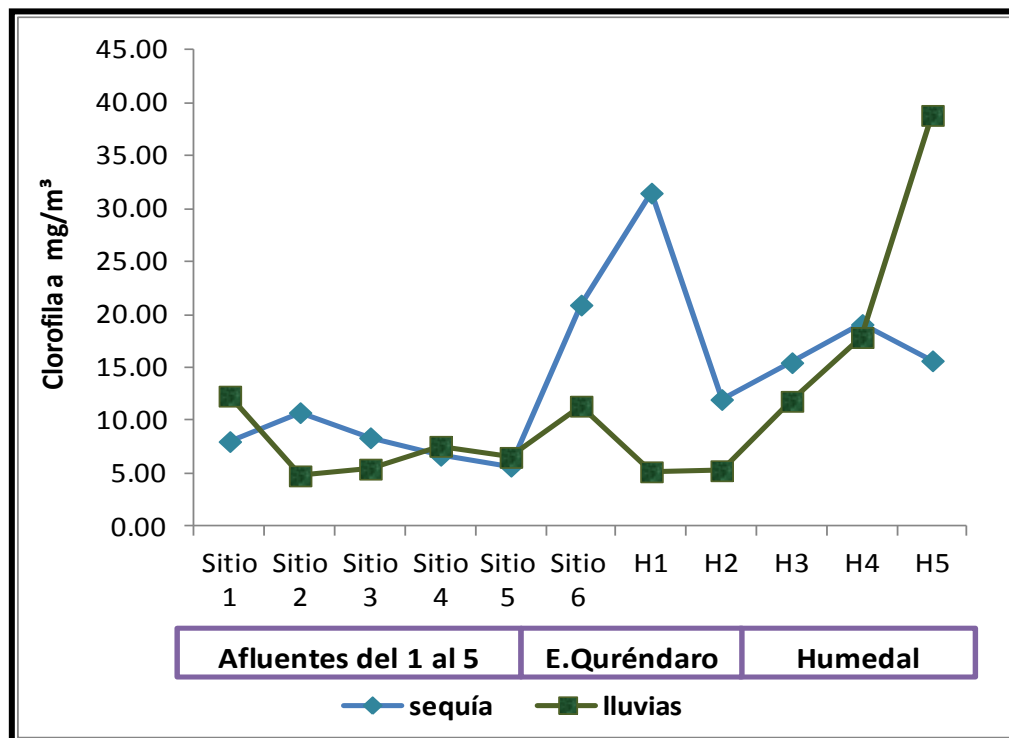


Figura 10. Distribución de Clorofila-a durante el período de sequía y lluvias

En base al análisis de varianza, la demanda química de oxígeno durante el período de sequía y lluvias presenta diferencias significativas con una probabilidad (P) del $P=3.792e-07^{***}>0.05$. Durante el período de lluvias el nivel máximo fue de 900mg/L y el mínimo fue de 500mg/L, se observa en la (Fig. 11) que la mayor cantidad de los datos tiende a concentrarse en la parte superior de la media y con respecto al período de sequía la concentración máxima fue de 1050mg/L y la mínima fue de 821.5mg/L, concentrándose la mayor cantidad de datos en la parte inferior de la media.

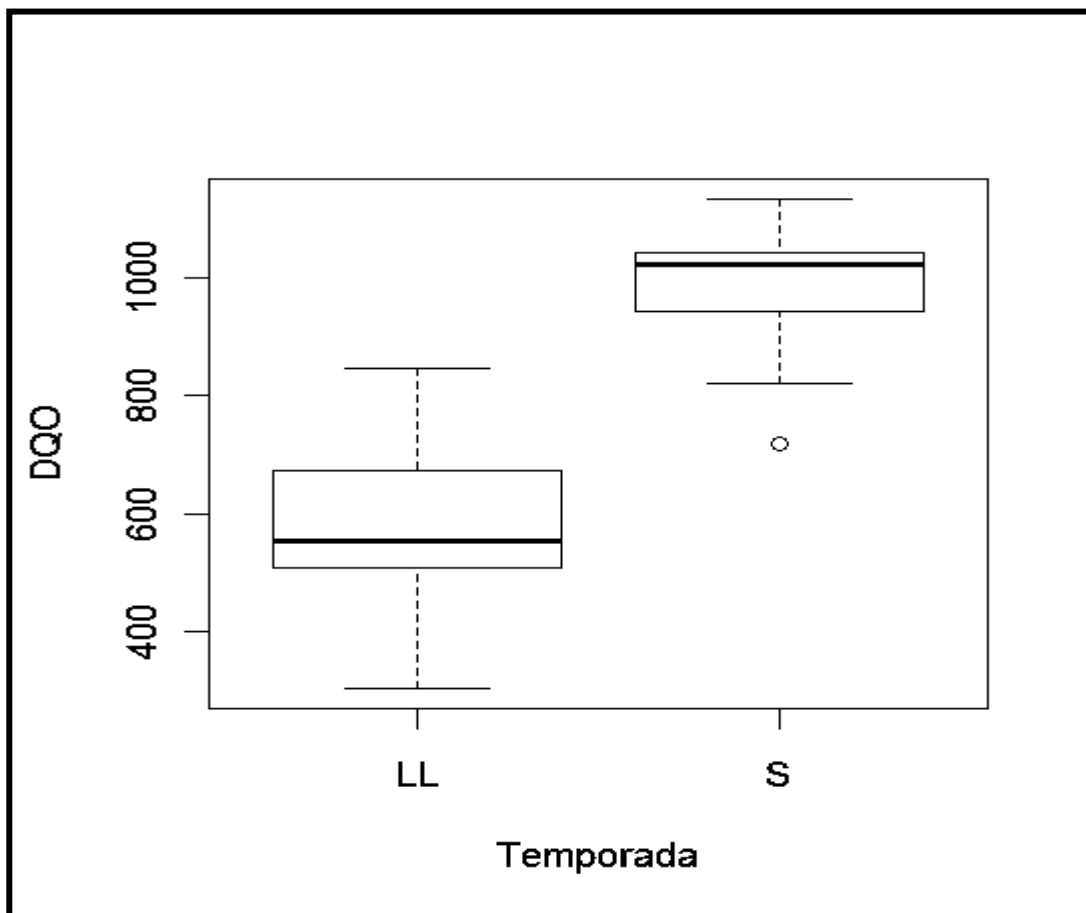


Figura 11. Demanda química de oxígeno en la temporada de sequía y lluvias

7.2 Variación espacial

Las diferencias entre los sitios de colecta mostraron que en los afluentes se registró la temperatura máxima en la Estación Queréndaro (sitio 6) con 25.1°C y la mínima (17.5 °C) en el Río Rectificado (sitio 4). En los sitios que se encuentran Fuera del humedal se reportó la temperatura máxima con 24.3°C en el sitio H5 y la mínima de 20°C en el sitio H3 (Tabla 3).

Los valores de pH registrados en la zona de aportes fueron de 7.1 a 7.5 y en la zona del humedal van de 8.0 a 8.5.

Con relación a la conductividad, en los afluentes se registró el valor máximo en el Cauce del Río Grande de Morelia (sitio 2) con 1164.7µs/cm y la mínima de 549.4 µs/cm en el Río Rectificado (sitio 4). Para la zona del humedal la máxima lectura fue de 1703 µs/cm en el sitio H5 y el mínimo se presentó en el sitio H1 con un valor de 852.9 µs/cm. Esta misma variable registró el valor máximo en el humedal artificial con 2934.3 7µs/cm

La alcalinidad total para la zona de afluentes presentó una máxima de 249.7mg/L en la Desembocadura del Río Grande de Morelia (sitio 3) y con un mínima de 81.2 en Río Rectificado (sitio 4); en la zona del humedal los niveles disminuyen registrándose un máximo en el sitio H5 con 111.1mg/L y con un mínimo de 88mg/L el sitio H3.

En la zona de afluentes dominaron los carbonatos con un promedio de 177.7mg/L presentándose el valor máximo en el Río Queréndaro (Sitio1) con 205.5mg/L y el valor mínimo de 82.0mg/L en el Río Rectificado (sitio 4), seguido de los bicarbonatos con 10.2mg/L, registrándose el nivel máximo de 21.5mg/L en la Desembocadura del Río Rectificado (sitio 5) y con el mínimo de 8.8mg/L en la Desembocadura del Río Grande de Morelia (sitio3). Mientras que para el dióxido de carbono (CO₂) el nivel máximo se registró (25.5mg/L) en el Cauce del Río Grande de Morelia (sitio2) y el mínimo (15.8mg/L) en el Río Rectificado (sitio 4).

En la zona del humedal dominaron los carbonatos con un promedio de 51.1mg/L, registrándose el máximo en el H1 con 73.1mg/L y con una concentración mínima de 39.4mg/L en el sitio H3 (A estos le siguieron los bicarbonatos con un promedio anual de 46.3, obteniéndose la mayor concentración en el sitio H5 con 69.4mg/L y la mínima en el sitio H1 con 29.6mg/L. Finalmente se encontraron los hidróxidos que sólo se reportaron en el sitio H3 con 5.7mg/L. En lo que respecta al dióxido de carbono (CO_2), en esta misma zona de humedal, el contenido máximo se registró en el H1 con 3.9mg/L y el contenido mínimo fue de 1.4 en el H5. En el humedal artificial dominaron los carbonatos con 232.5mg/L, seguido de los bicarbonatos con 101.8mg/L.

La dureza total en los afluentes presentó el valor máximo en el Río Queréndaro (sitio 1) con 269.8mg/L y el valor mínimo en el Río Rectificado (sitio 4) con 122.5mg/L. Para la zona del humedal el valor máximo fue 168.7mg/L en el sitio H5 y el mínimo fue de 121.0mg/L en el sitio H1.

El contenido de oxígeno disuelto para la zona de afluentes mostró un promedio de 2.99mg/L, cuyo máximo se obtuvo en la Desembocadura del Río Grande de Morelia (sitio 3) con 3.2mg/L y el mínimo de 2.0mg/L en la Desembocadura del Río Rectificado (sitio 5). Mientras que en la zona de humedal los niveles de oxígeno mínimos se encontraron en el sitio H2 con 5.1mg/L y el máximo en el sitio H4 con 6.9mg/L.

En lo que respecta a las diferentes formas del nitrógeno evaluados en el sistema, se encontró que para la zona de afluentes la concentración de nitritos máxima encontrada fue de 0.35mg/L en la Desembocadura del Río Rectificado (sitio 5) y la mínima de 0.05 mg/L en el Río Queréndaro (sitio 1). En la zona de humedal la máxima concentración se reportó en el sitio H5 con 0.67mg/L y la mínima en el H1 con 0.12mg/L.

Los niveles de nitratos en los afluentes presentaron un máximo en la Desembocadura del Río Rectificado (sitio 5) con 51.0mg/L y un mínimo de 10.1mg/L en el Río Queréndaro (sitio1). Para el área del humedal el máximo fue de 45 mg/L en el sitio H5 y el mínimo de 15.5 mg/L en el sitio H2.

La concentración de amonio en la zona de afluentes registró un valor máximo de 0.070mg/L en el Río Rectificado (sitio 4) y con un mínimo de 0.010mg/L en el Río Queréndaro (sitio 1), en la zona del humedal el valor máximo fue de 0.016 mg/L en el sitio H4 y un mínimo de 0.007mg/L en el sitio H2

El fósforo total determinado en la zona de afluentes registró una concentración máxima en el Cauce del Río Grande de Morelia (sitio 2) con 1,092.3µg/L, y una mínima de 811.6µg/L el Río Rectificado (sitio 4). En lo que respecta a la zona de humedal, ocurrió una disminución de este elemento, registrándose la máxima concentración en el sitio H1 con 325.5µg/L y una mínima de 193.5µg/L el sitio H2 (Tabla 3).

La mayor concentración de ortofosfato para el grupo de afluentes se obtuvo en la Desembocadura del Río Rectificado (sitio 5) con 1,271.4µg/L y la mínima de 815.2 µg/L se registró en la Desembocadura del Río Grande de Morelia (sitio 3), en la zona del humedal se registro la máxima concentración en el sitio H5 con 145 µg/L y la menor fue de 89.1µg/L en sitio H1.

Los sólidos suspendidos totales en los afluentes registrarón la máxima concentración en la Desembocadura del Río Grande de Morelia (sitio 3) (459.6mg/L) y la menor en la Desembocadura del Río Rectificado (sitio 5) con 185.2 mg/L. Con respecto a la zona de humedal, el sitio H5 obtuvo la mayor concentración con 236. 6 mg/L y la mínima fue en el sitio H3 (Fuera del humedal) con 106.5 mg/L.

Para los sólidos disueltos totales se registró una máxima concentración en el Río Querendaro (sitio 1) con 1960.2mg/L y una mínima de 363.4mg/L en el Cauce del Río Grande de Morelia (sitio 2). En el humedal se obtuvo el máximo en los sitios H5 con 905.5mg/L y el mínimo en el sitio H1 con 488.1mg/L. En

contraste, la Estación Queréndaro (sitio 6) presentó la mayor concentración de sólidos disueltos (2651.1mg/L) debido posiblemente a su influencia de las aguas abiertas del lago.

La clorofila a en los afluentes registró un contenido máximo en el Río Queréndaro (sitio1) con 9.6mg/m³ y un mínimo en la Desembocadura del Río Rectificado (sitio 5) con 5.7mg/m³, en cuanto a la zona del humedal dichos niveles se incrementan hasta 27mg/m³ en el sitio H5 y con un mínimo en el sitio H2 de 8.6 mg/m³.

Para la zona de aportes se registró una demanda química de oxígeno máxima de 1135 mg/L en la Desembocadura del Río Rectificado (sitio 5) y una mínima de 690.2mg/L en el Cauce del Río Grande de Morelia (sitio 2). En lo que se refiere al humedal se obtuvo un máximo de 1000mg/L en el sitio H2 y un mínimo de 876.7mg/L en el sitio H4.

Tabla 3.Características fisicoquímicas de los afluentes, Estación Queréndaro y la zona del humedal

VARIABLES	AFLUENTES					E.QUERÉNDARO	FUERA DEL HUMEDAL				
	1	2	3	4	5	6	H1	H2	H3	H4	H5
Temperatura (°C)	18.5	19.0	22.8	17.5	18.9	25.1	21.5	22.1	20.0	25.1	24.3
Conductividad (μS/cm)	1164.7	559.3	674.3	549.1	760.3	3447.2	852.9	946.1	1209.1	1196.8	1710.3
Potencial de Hidrógeno	7.5	7.1	8.1	6.9	7.3	9.1	7.9	8.1	8.1	8.5	8.3
Turbidez (NTU)	117.0	211.4	62.4	277.3	22.7	229.9	70.4	83.2	95.1	188.0	165.8
Alcalinidad Total (mg/L)	194.5	198.5	249.7	81.2	170.4	292.0	102.7	90.0	88.0	95.0	111.1
Alcalinidad Fenoltaleínica (mg/L)	0.0	0.0	4.4	0.0	10.8	71.9	14.8	20.8	21.3	27.8	34.7
Dureza Total (mg/L)	269.8	174.1	186.8	122.5	222.0	99.3	121.0	129.0	124.0	146.9	168.7
Dureza de Calcio (mg/L)	43.7	31.8	33.7	25.8	39.6	20.4	20.5	15.8	24.5	20.3	24.5
Dureza de Magnesio (mg/L)	42.0	28.5	25.7	14.1	29.9	11.8	16.9	21.7	15.3	23.4	26.1
Bicarbonatos (mg/L)	205.5	198.4	243.1	82.0	159.6	188.3	73.1	48.3	46.8	39.4	48.1
Carbonatos (mg/L)	0.0	0.0	8.8	0.0	21.7	63.7	29.6	41.7	35.5	55.6	69.4
Hidróxidos (mg/L)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.0	0.0	0.0	5.7	0.0	0.0
Bióxido de Carbono (mg/L)	16.1	25.5	16.8	15.8	18.9	2.0	3.9	2.3	2.4	1.7	1.4
Oxígeno disuelto (mg/L)	2.3	2.6	3.2	0.8	2.0	6.3	5.3	5.1	5.8	6.9	6.8
Nitritos (mg/L)	0.05	0.07	0.06	0.08	0.35	0.23	0.12	0.32	0.20	0.18	0.67
Nitratos (mg/L)	10.1	12.4	16.4	18.1	51.0	47.4	15.5	16.8	18.3	24.8	45.4
Amonio (mg/L)	0.010	0.037	0.014	0.070	0.033	0.015	0.009	0.007	0.007	0.016	0.011
Fósforo Total (μg/L)	708.1	1092.3	1062.5	811.6	1571.6	2215.3	325.5	193.5	232.4	242.7	351.8
Ortofosfato (μg/L)	462.1	926.0	815.2	706.5	1271.4	1752.8	89.7	127.5	122.5	145.0	128.3
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	455.6	309.8	459.6	308.2	185.2	879.6	160.3	137.7	106.5	144.7	236.6
Sólidos disueltos totales (mg/L)	1960.2	363.4	532.9	379.8	689.8	2651.1	488.1	555.3	652.8	810.7	905.5
Sólidos sedimentables (ml/L)	0.6	0.1	0.2	0.3	1.8	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Clorofila a (mg/m ³)	9.6	8.3	7.3	6.4	5.7	20.2	15.4	8.6	24.7	18.5	27.2
Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	804.5	690.2	768.2	1003.5	1135.0	848.0	972.1	1000.0	975.0	876.7	910.6
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	244.5	241.4	197.5	314.3	283.4	230.8	264.3	329.4	300.9	389.6	376.1

Los niveles de oxígeno muestran que las estaciones loticas (ríos) registraron concentraciones entre 1mg/L a 4.1mg/L excepto la Desembocadura del río Rectificado (sitio 5) que presentó una disminución de este gas hasta 1mg/L, mientras que en los sitios del humedal el oxígeno consigue incrementarse entre 5 a 7mg/L.

Como se observa en la (Fig. 12) las temperaturas se registrarón de forma homogénea en la zona de ríos con un promedio de 20.4°C, observándose una disminución de ella en la desembocadura del Río Rectificado (sitio 5), mientras que en la Estación Queréndaro (sitio 6) la temperatura aumento a 24°C y posteriormente en los sitios del humedal se observa un incremento desde el H1 al H5 hasta registrarse la mayor lectura con 25°C

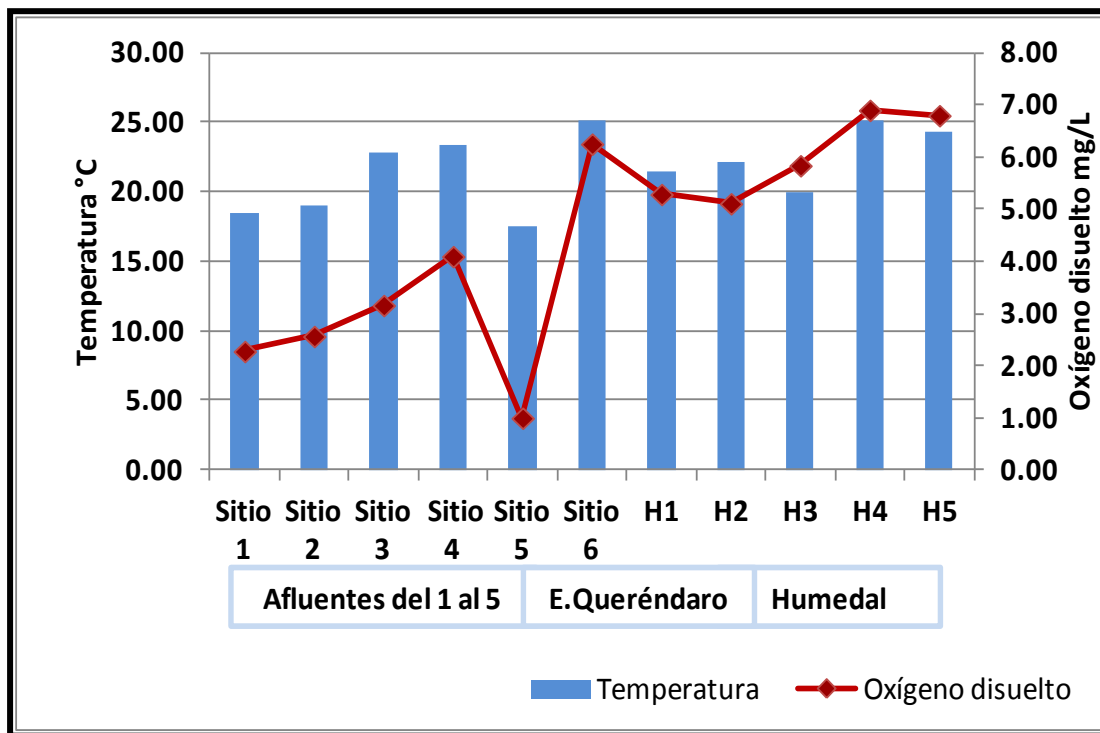


Figura 12. Distribución de temperatura y oxígeno disuelto

La concentración de nitratos en el sitio 1 perteneciente al Río Queréndaro se registro la menor concentración 10 mg/L, posteriormente el sitio 2 y 3 correspondientes al Río Grande de Morelia las concentración aumentaron de 12.4mg/L a 16.4mg/L, en cuantos a los sitios 4 y 5 correspondientes al Río Rectificado (Fig.13) se presento una mayor concentración en la Desembocadura del Río con 51mg/L. para la zona del humedal la concentración fue en aumento con una concentración que va de 20mg/L a 45mg/L. Con respecto a los nitratos, es tos se registrarón en concentraciones menores en la zona de afluentes, para los sitios 1 Río Queréndaro, sitio 2 y 3 pertenecientes al Cauce y la Desembocadura del Río Grande de Morelia las concentraciones van de 0.05 mg/L a 0.8 mg/L, reportando la mayor concentración en el sitio 5 Desembocadura del Río Rectificado con 0.35mg/L y para la zona del humedal las concentraciones fueron más elevadas de 0.12 mg/L a 0.68mg/L. posteriormente el amonio en la zona de afluentes las concentraciones van del 0.01mg/L a 0.070mg/L, registrándose la mayor concentración en el sitio 4 (Cauce del Río rectificado), en cuento a la zona del humedal estas disminuyen con una concentración que va de 0.007mg/L a 0.016mg/L, registrándose la máxima en sitio H4.

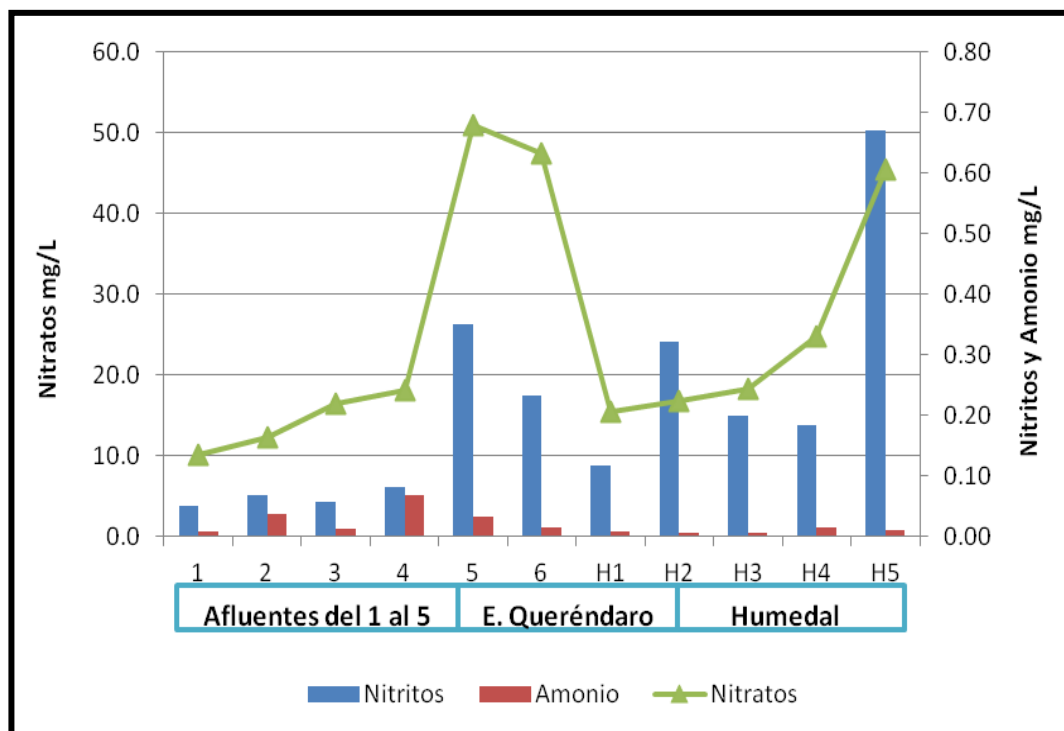


Figura 13. Distribución de Nitratos, Nitritos y Amonio

La asociación de los sólidos disueltos totales con la conductividad fue del 76%, la cual indica que en un elevado porcentaje el incremento o disminución de estas variables dependerá una de la otra. En esta asociación se identifican claramente dos grupos: el de los afluentes y el de los sitios del humedal. El grupo de los afluentes está determinado por la concentración de sólidos y no por la concentración de sales. Como ejemplo de ello se registró en el Río Queréndaro (sitio 1) una concentración máxima de sólidos con 1960.2mg/L lo que corresponde a una conductividad elevada de 1,164.2 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

En contraste, en la zona de humedal, se agrupan los sitios en base a la conductividad, siendo el sitio H5 el que presenta el valor máximo con 1710.33 $\mu\text{S}/\text{cm}$, puesto que los sólidos en estos sitios disminuyen.

Los sitios que difieren de estos grupos son el humedal artificial (sitio 7) y la Estación Queréndaro (sitio 6), donde se observa (Fig.14) que ambos sitios presentan concentraciones elevadas de sólidos y sales, muy distintas a los afluentes y a los sitios del humedal.

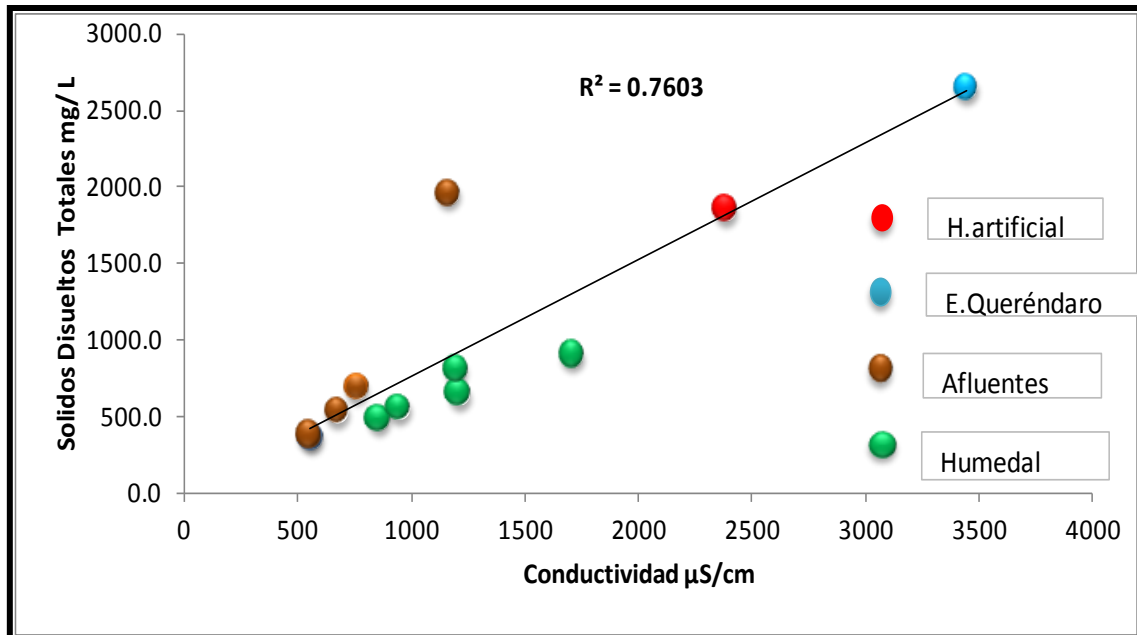


Figura 14. Correlacion entre Solidos Disueltos Totales y Conductividad

El coeficiente de correlación entre los sólidos suspendidos y la clorofila-a fue del 51.3 %, encontrándose que los afluentes presentan mayor concentración de sólidos en un rango de 50.32mg/L a 308.22mg/L mientras que para la zona de humedal esta concentración disminuyó a un intervalo de 106mg/L a 236mg/L. De acuerdo a la concentraciones de clorofila-a se agrupan los sitios que pertenecen a la zona del humedal, esta aumenta en un rango de 15.36mg/m³ a 27.25mg/m³, dentro de este grupo se integra la Estación Queréndaro (sitio 6) registrando valores similares a los sitios del humedal, para los afluentes los valores de clorofila-a disminuyen a niveles de entre 5.69mg/m³ a 9.58mg/m³. El humedal artificial (sitio 7) se encuentra como un ecosistema intermedio entre el humedal natural y los afluentes (Fig. 15).

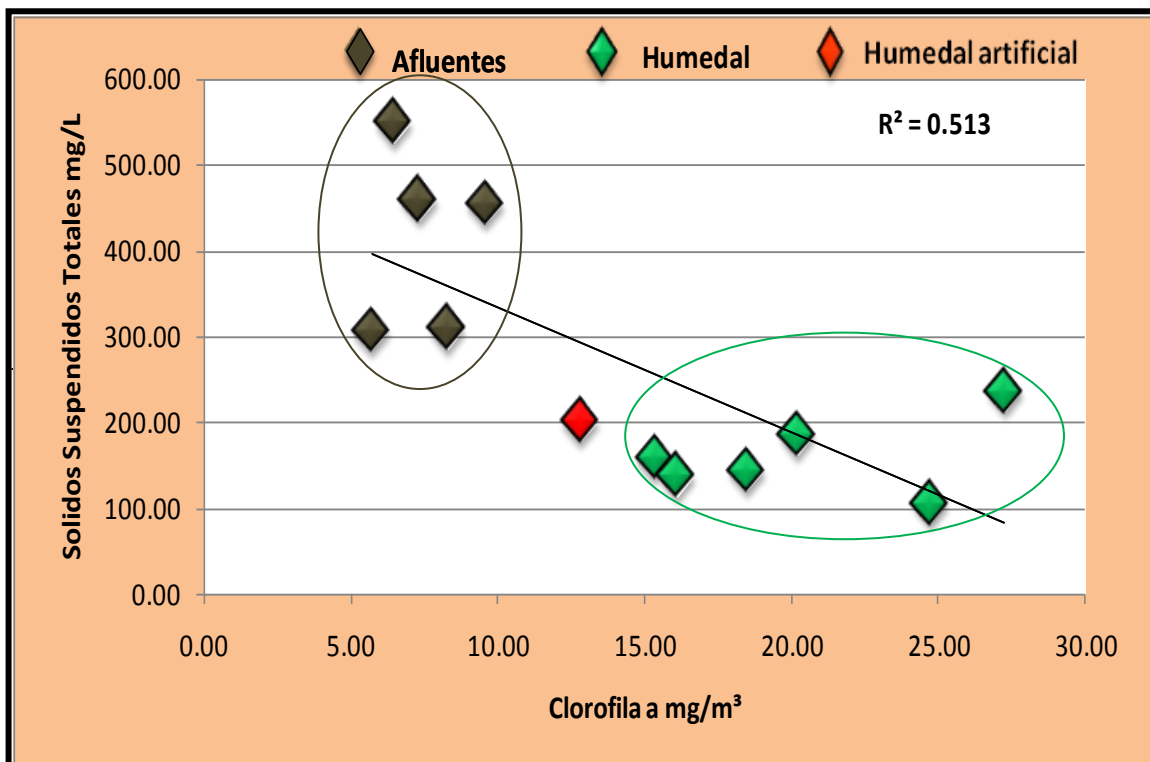


Figura 15. Correlacion entre Sólidos Suspendidos Totales y Clorofila- a

En lo que se refiere a la asociación del ortofosfato con la clorofila se obtuvo que la Desembocadura del Río Rectificado (sitio 5) presentó la máxima concentración 1,271 μ g/L y en el Río Queréndaro (sitio 1) la mínima con 462.08 μ g/L. En la zona de humedal este nutriente disminuye de forma homogénea en los cinco sitios del humedal, registrándose un intervalo de 89.7 μ g/L en el sitio H1 hasta 144.9 μ g/L. en el sitio H4. En la Estación Queréndaro (sitio 6) y el humedal artificial (sitio 6), se encuentran las máximas concentraciones de este elemento con 1863.3 μ g/L (Fig. 16).

Las menores concentraciones de clorofila-a se registraron en los afluentes, siendo el Río Queréndaro (sitio 1) el que presentó el un valor máximo (9.5mg/m³) y la Desembocadura del Río Rectificado (sitio 5) con el mínimo de 5.6 mg/m³. En el humedal los valores de clorofila aumentan registrándose el máximo en el sitio H5 con 27.2mg/m³ y el mínimo en el sitio H1 con 15.3mg/m³.

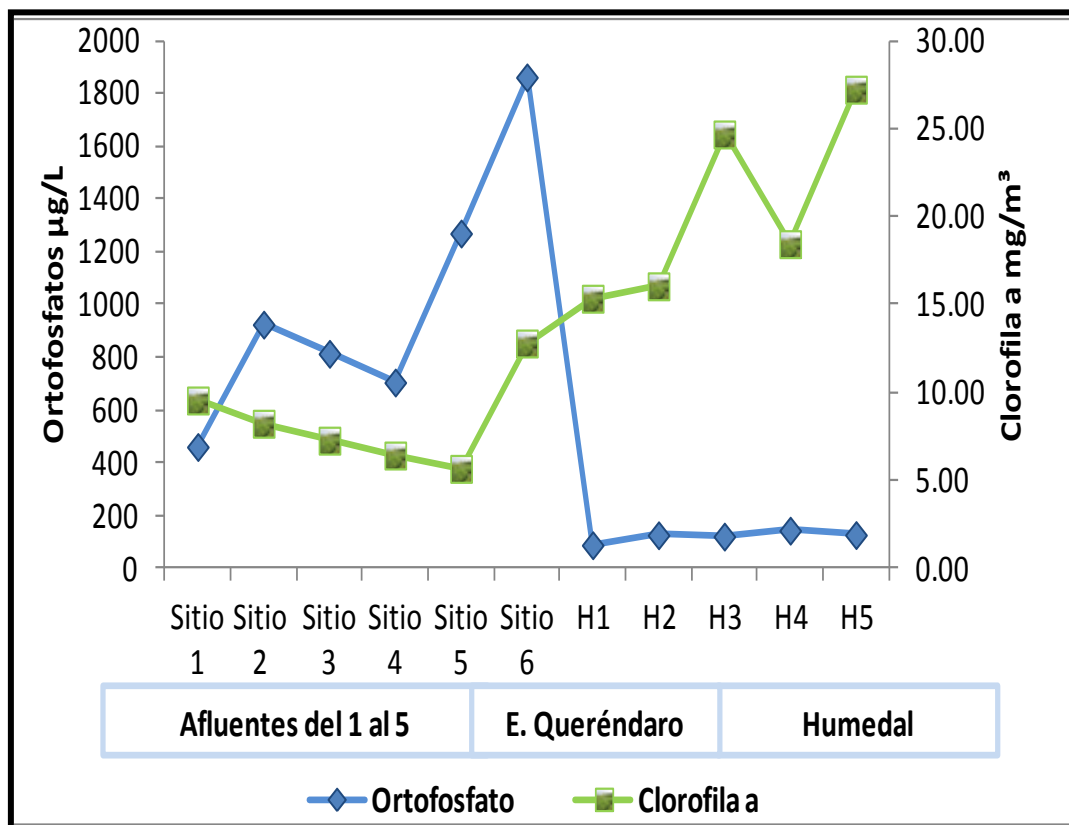


Figura 16. Distribución anual entre ortofosfatos y clorofila- a

La demanda bioquímica de oxígeno presenta una diferencia espacial significativa con una probabilidad (P) de $P=0.0239 > 0.05$ esto con base a los ecosistemas de afluentes y humedal, sin embargo esta variable no presenta variación significativa con respecto a la temporada.

Con base a lo anterior, el nivel máximo en los afluentes fue de 326mg/L y el mínimo fue de 160mg/L, la mediana se encuentra en 203.5mg/L y la mayor cantidad de datos se encuentran concentrados en la parte superior de la caja, para el ecosistema del humedal la DBO máxima fue de 405 mg/L y la mínima fue de 169.2mg/L, mientras que la mediana se registró en 250.2mg/L y la mayor cantidad de datos se concentro en la parte inferior (Fig. 17).

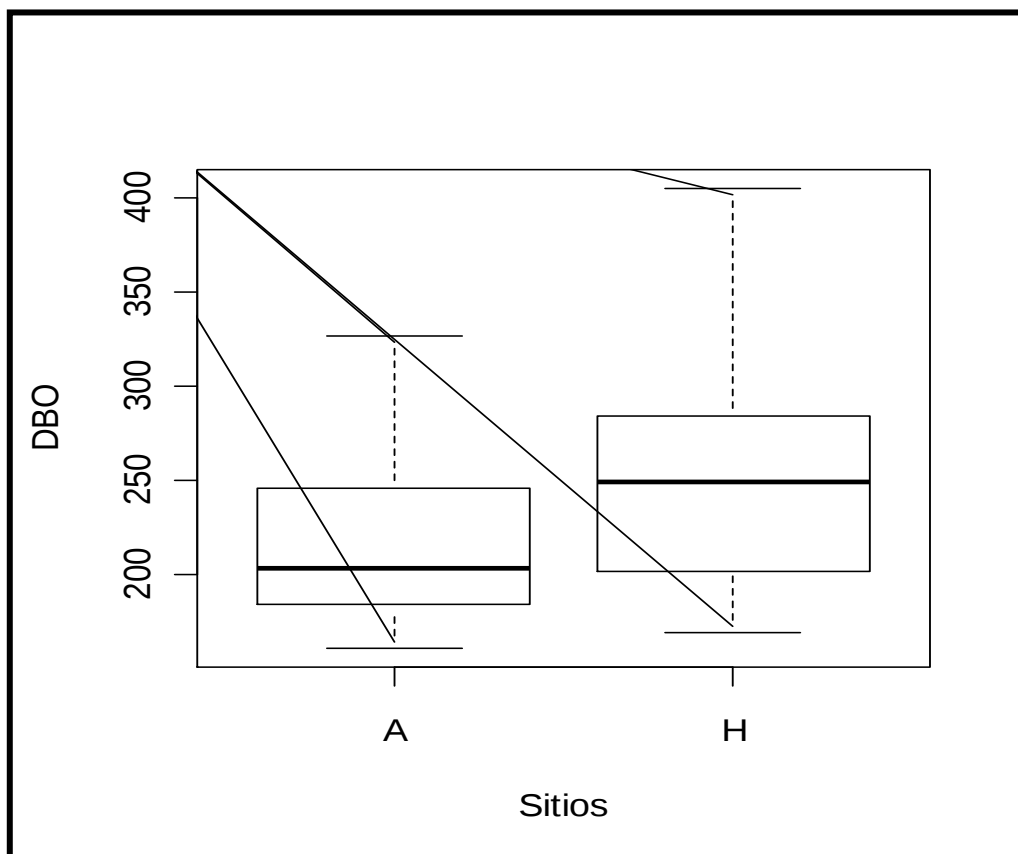


Figura 17. Demanda bioquímica de oxígeno en los sitios afluentes y humedal

7.2.1 Análisis estadístico en agua

Del análisis estadístico de conglomerados para el período de sequía se obtuvo una asociación en dos grupos de los sitios de muestreo de acuerdo a sus características fisicoquímicas del agua: el primer grupo incluye los afluentes como son el Cauce del Río Grande de Morelia (sitio 2), la Desembocadura del Río Grande de Morelia (sitio 3), el Río Rectificado (sitio 4), la Desembocadura del Río Rectificado (sitio 5) y la Estación Queréndaro (sitio 6).

El segundo grupo está conformado por los sitios del humedal (H1, H2, H3, H4 y H5) y el Río Queréndaro (sitio 1) (Fig. 18).

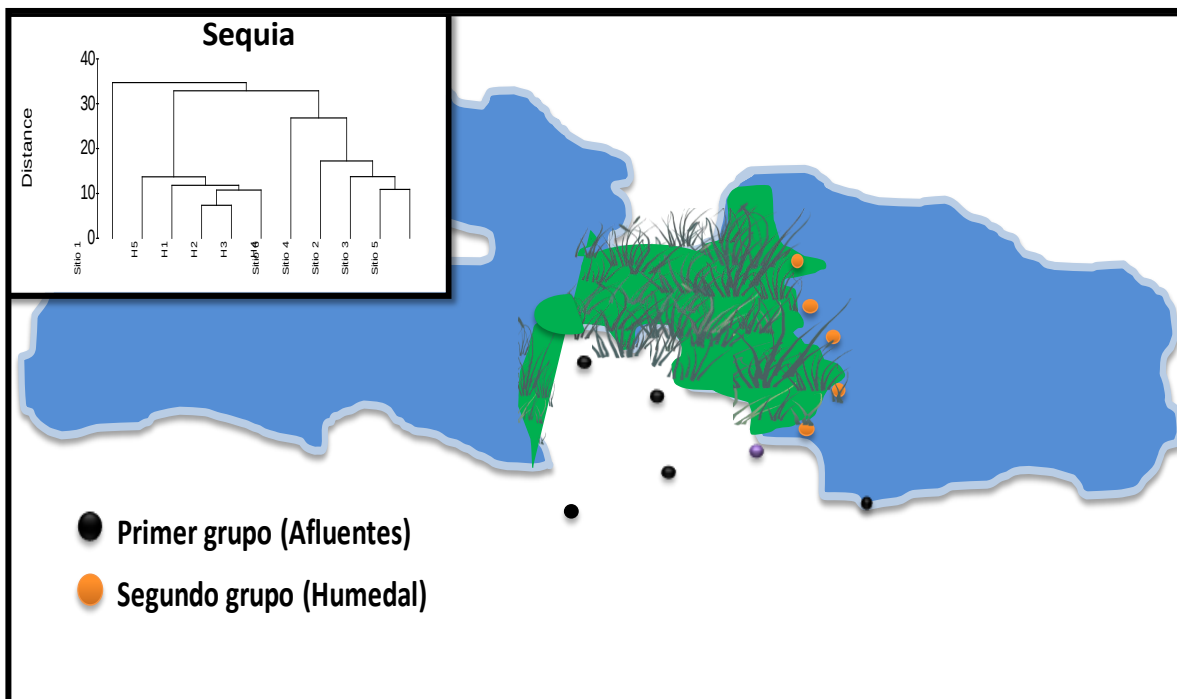


Figura 18. Agrupamiento de las estaciones de acuerdo a las variables fisicoquímicas en agua durante el período de sequía.

De este mismo análisis para la temporada de lluvias se obtuvieron tres grupos: el primero está constituido por las estaciones que corresponden a la Desembocadura del Río Rectificado (sitio 5), el Cauce del Río Grande de Morelia (sitio 2), la Desembocadura del Río Grande de Morelia (sitio 3) y el Río Rectificado (sitio 4) .El segundo está integrado por los sitios que se encuentran Fuera del humedal (H1, H2, H3, H4 y H5). Finalmente el tercer grupo están determinado por Río Queréndaro (sitio 1) y la Estación Queréndaro (sitio 6) (Fig. 19).

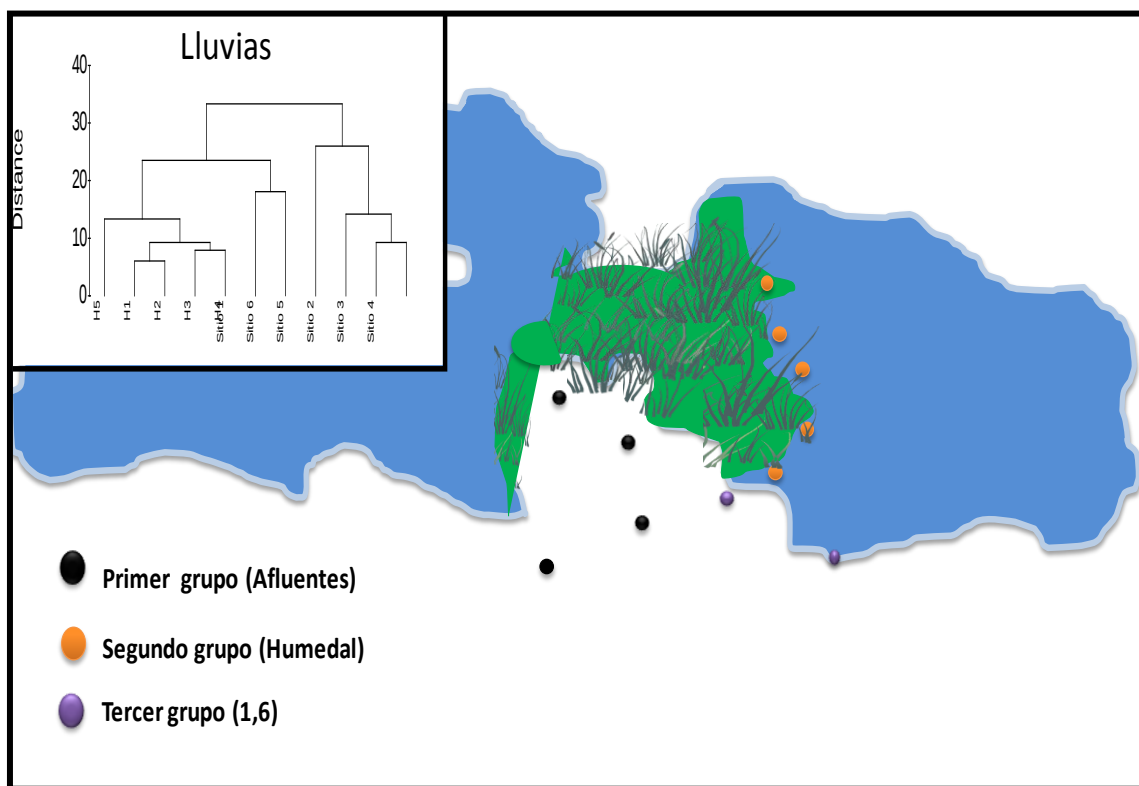


Figura 19. Agrupamiento de las estaciones de acuerdo a las variables fisicoquímicas en agua durante el período de lluvias.

Mediante el análisis factorial se logró establecer las variables de mayor peso o importancia las cuales presentarán un efecto sobre los ecosistemas durante cierta temporalidad, en la (Tabla 4) se presentan las variables con mayor carga factorial, mismas que se muestran en un orden decreciente las cuales están representadas por el Factor 1 en el cual se explica el 54.5% de la variación que hubo entre las variables analizadas

Tabla 4. Variables dominantes en agua durante la temporada de lluvias

Variables	Factor 1
Bióxido de Carbono	0.95706
Conductividad	-0.90032
Alcalinidad Total	0.84977
Amonio	0.89928
Sólidos suspendidos Totales	0.83560
Oxígeno disuelto	-0.83386
Sólidos disueltos totales	-0.81596
Clorofila a	-0.81154
Demanda Bioquímica de Oxígeno	-0.79538
Ortofosfato	0.74523
Demanda Química de Oxígeno	-0.74705

Para la temporada de sequía en la (Tabla 5) se muestran las variables de mayor importancia en el factor 1 donde se explica 52.17% de la variación entre las variables analizadas, durante esta temporada se obtuvieron diferentes variables como fue el potencial de hidrogeno, el fósforo total, la dureza total y la turbidez estas en comparación con las de lluvias

Tabla 5. Variables dominantes en agua durante la temporada de sequía

variables	Factor 1
Potencial de hidrogeno	0.94874
Bióxido de Carbono	-0.98479
Oxígeno disuelto	0.97375
Ortofosfato	-0.87820
Fósforo total	-0.84443
Dureza total	-0.84710
Demanda Bioquímica de Oxígeno	0.88315
Turbidez	0.71024

7.3 Composición físico-química en Sedimento

El fósforo total en sedimentos durante el período de sequía es de 682g/Kg y durante el período de lluvia este disminuye a 287g/Kg, posteriormente el porcentaje de humedad durante la sequía fue elevada con un porcentaje de 80% y durante las lluvias esta reduce a 65%, la materia orgánica durante la sequía fue de 581g/Kg y durante las lluvias aumento con 682g/Kg, y finalmente en la (Tabla 6) el nitrógeno orgánico en sequía se presentó concentraciones más elevadas con 485g/Kg y durante las lluvias este disminuye a 226g/Kg.

Tabla 6. Composición fisicoquímica en sedimento en la temporada de sequía-lluvias

VARIABLES	SEQUÍA	LLUVIA
Fósforo total g/Kg	682	287
Humedad %	80	65
Materia orgánica g/Kg	581	682
Nitrógeno Orgánico g/kg	485	226

La humedad presenta diferencias significativas de acuerdo a los sitios de los afluentes y los sitios del humedal con una probabilidad baja de $P=0.04086 > 0.05$, registrando que para la zona de afluentes el valor máximo fue del 82% y el valor mínimo fue del 40% con la media del 60%. Posteriormente para la zona del humedal el valor máximo se registró en el 100% y con un valor mínimo del 60% registrándose que la mayor cantidad de los datos tienden a concentrarse en la parte inferior de la media entre el 70% y 80% (Fig. 20).

El nitrógeno orgánico durante la temporada de sequía en la zona de afluentes presentó un promedio de 728g/Kg; para la zona del humedal el promedio fue de 277.2g/Kg. En cuanto a la temporada de lluvias este tiende a disminuir registrándose en la zona de afluentes 252g/Kg y en la zona del humedal el promedio fue de 192.5g/Kg (Fig.21).

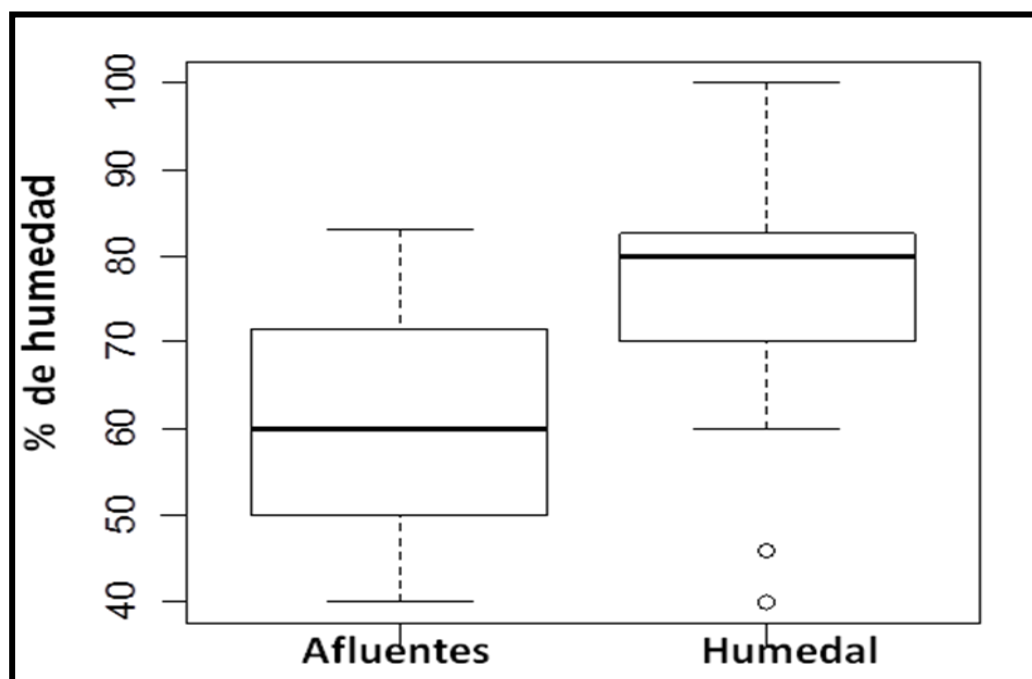


Figura 20. Diferencia espacial en el porcentaje de humedad en sedimento

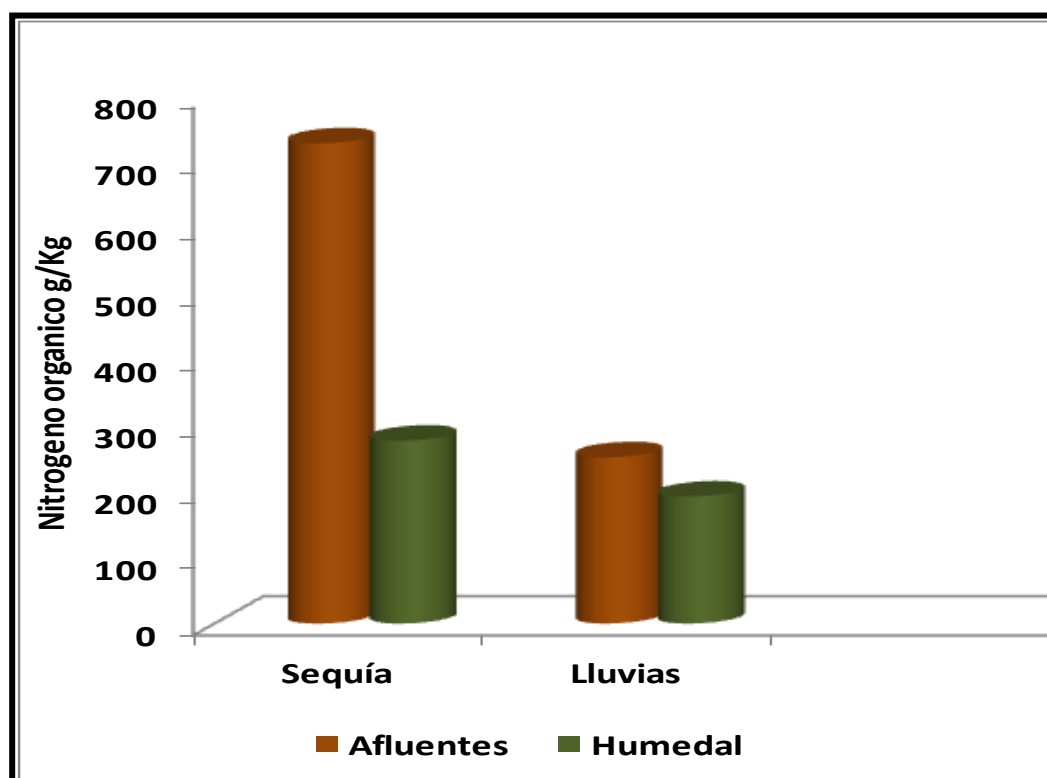


Figura 21. Distribución del nitrógeno orgánico durante la temporada de sequía y lluvia

El fósforo total en la temporada de sequía se registró un promedio de 636.36g/Kg en la zona de afluentes y para la zona del humedal este disminuye a 557.45g/Kg. La materia orgánica (MO) para la zona de afluentes se registró un promedio de 464.g/Kg y para la zona del humedal aumento a 554g/Kg (Fig.23).

Posteriormente el fósforo total durante la temporada de lluvias este disminuye en ambos ecosistemas, registrándose en los afluentes 186.92g/Kg y para la zona del humedal con 337.87g/Kg. En cuanto a la materia orgánica durante este período esta tiende a aumentar en ambos sitios, para la zona de afluentes el promedio fue de 533g/Kg y para la zona del humedal con 850g/Kg (Fig.22).

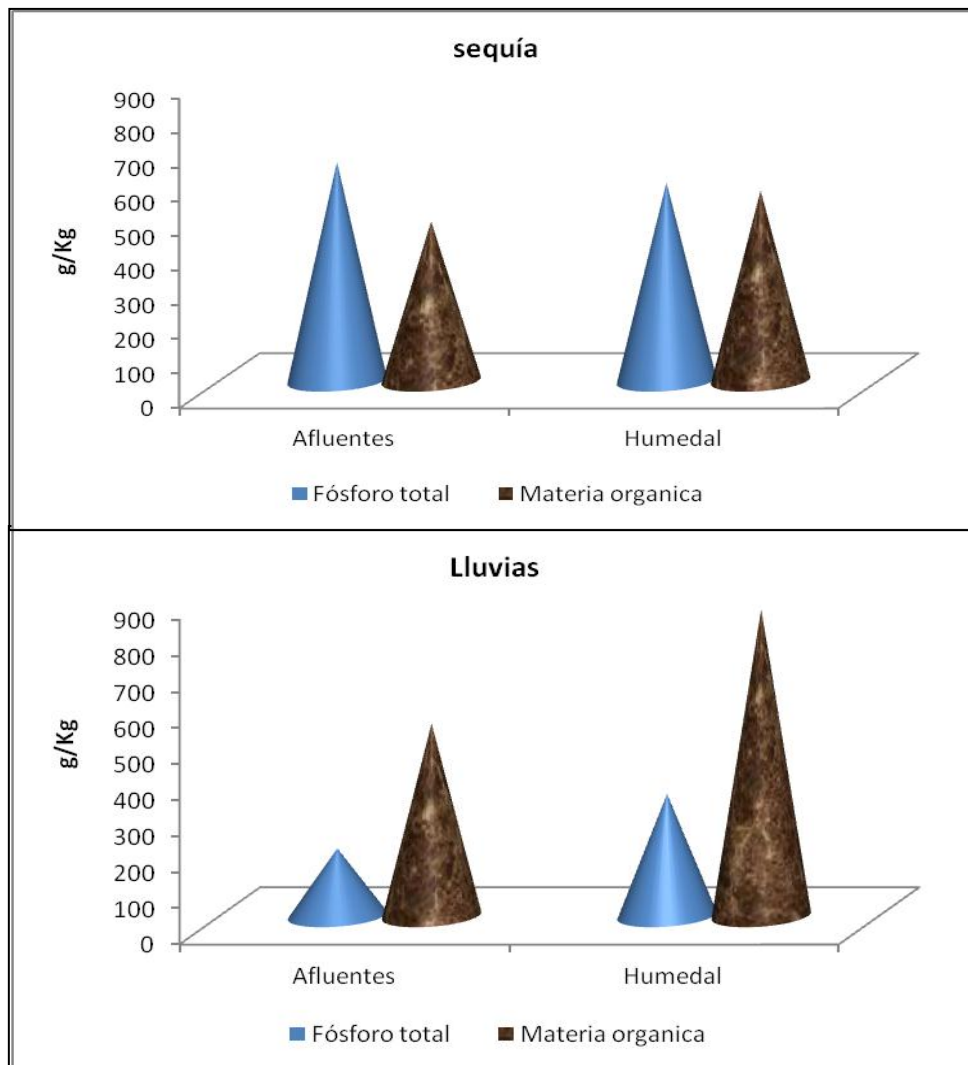


Figura 22. Distribución del fósforo total y materia orgánica en la temporada de sequía

Durante el período de sequía se presentaron siete tipos de textura, dominado por el Franco-arcilloso con 31%, seguido por Arenas-francosas con 26.32%, con un 21% los suelos Franco-arcillo arenoso, un 13% de los suelos Franco arenosos, y con un 2.63% se encuentra los suelos Franco-arcillo-limoso, Arcilla- limosa y suelos arcillosos (Fig. 23).

Durante el período de lluvias existe un cambio en el tipo textura del sedimento encontrándose seis tipos, predominado los suelos arenosos como fueron las arenas con 22.73%, el Franco-arenoso 18.18% y Arena-francosa con 22.73% los cuales dan un total del 63.6% de arenas, seguido de los suelos Franco-arcillosos con el 27.27%, con un 4.55% los suelos Franco-arcillo-arenoso y Arcillo-limosos (Fig. 24).

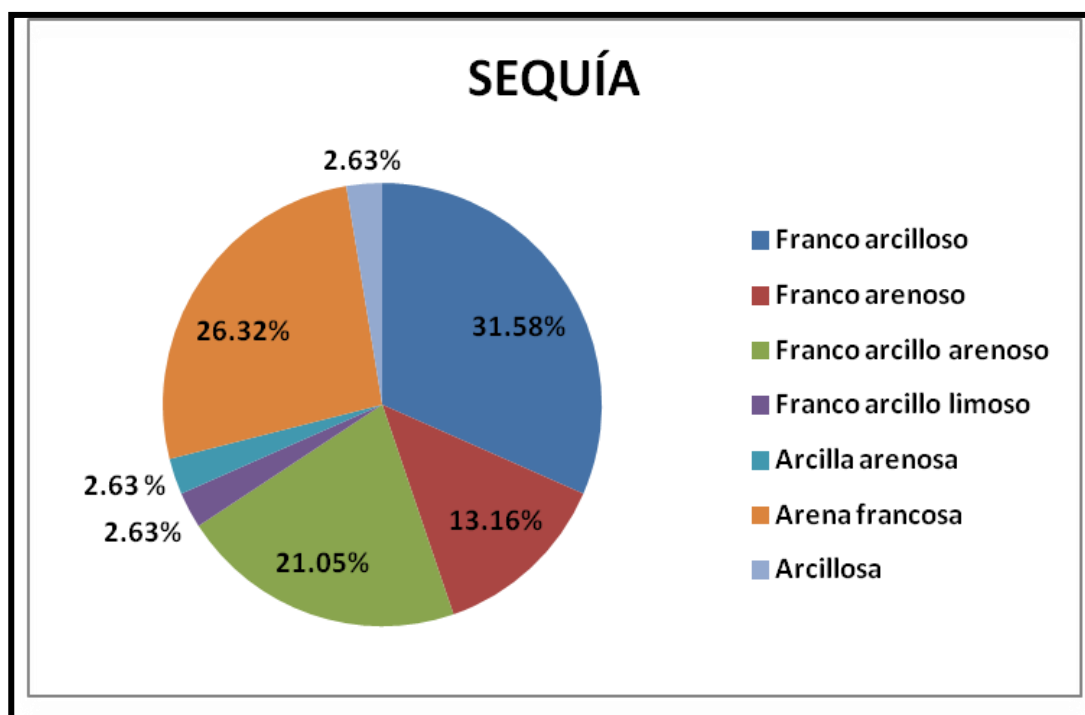


Figura 23. Frecuencia de texturas en sedimentos durante la temporada de sequía

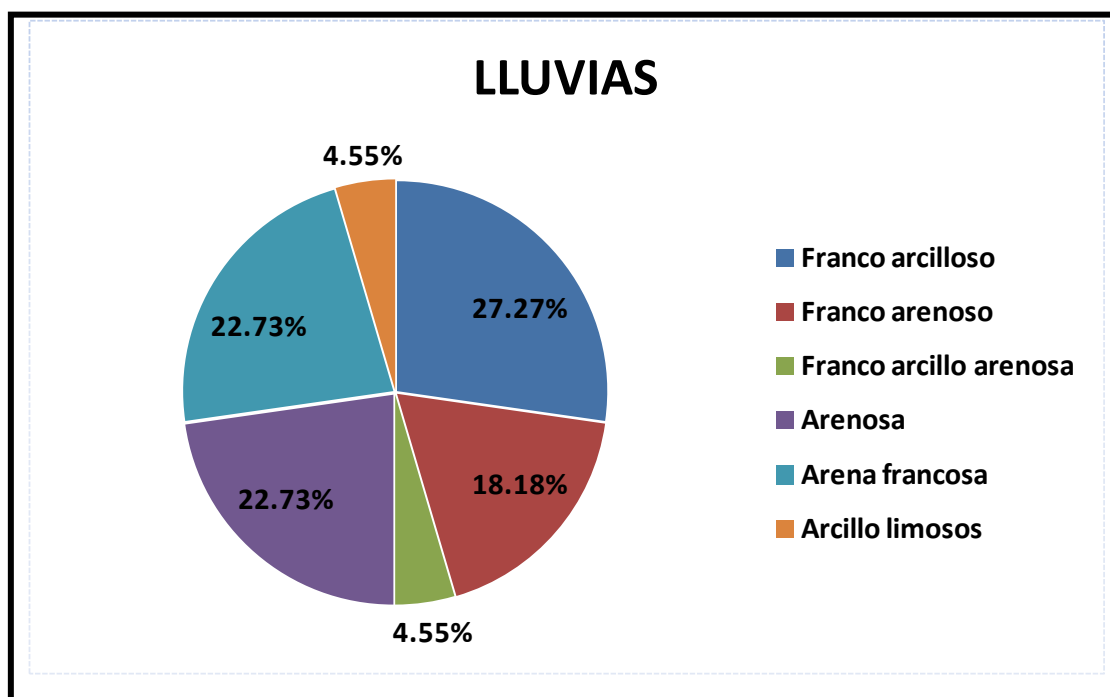


Figura 24. Frecuencia de texturas en sedimento durante la temporada de lluvias

Mediante el análisis granulométrico (Tabla 7), se identificó la presencia de cinco grupos texturales para los afluentes predominaron el Franco arcilloso con un 50% que se caracterizan por ser suelos muy finos, seguido de Franco - arcillo-arenoso con un 18%, la Arenas-francosas con un 7% el cual se caracterizan por poseer partículas de mayor tamaño y gruesas, seguido de Arenas-francosas con 18% los cuales poseen partículas de mayor tamaño y más gruesas y con un menor porcentaje el Arcilla-limoso con 7% que son suelos muy finos.

En cuanto a los sitios del humedal se presentarán cuatro grupos de textura predominando el Franco-arcilloso con un 40%, seguido de Franco- arenoso con un 30%, Arenas-francosa con un 20% y con un 10% los suelos franco-arcilló-arenoso

Tabla 7. Porcentaje de textura en los afluentes y humedal

CLASE TEXTURAL	TEXTURA	AFLUENTES (%)	HUMEDAL (%)
Franco-arcilloso	Moderadamente fina	50	40
Franco-arcillo-arenosa	Moderadamente fina	18	10
Franco- arenosa	Moderadamente gruesa	7	30
Arena francosa	Gruesa	18	20
Arcillo-limoso	Fina	7	

7.3.1 Análisis estadístico en sedimento

El análisis de conglomerados en los sedimentos asoció durante el período de sequía dos grupos, el primero está constituido por el Río Queréndaro (sitio1), la Desembocadura del Río Grande de Morelia (sitio 3), H1, H2, H4, H3 (Fuera del humedal) y la Desembocadura del Río Rectificado (sitio 5). El segundo grupo lo conforma el sitio H5 (Fuera del humedal), Cause del Río Grande de Morelia (sitio 2) y el Río Rectificado (sitio 4). Cabe señalar que la Estación Queréndaro (sitio 6) no se asoció a ninguno de estos dos grupos (Fig.25)

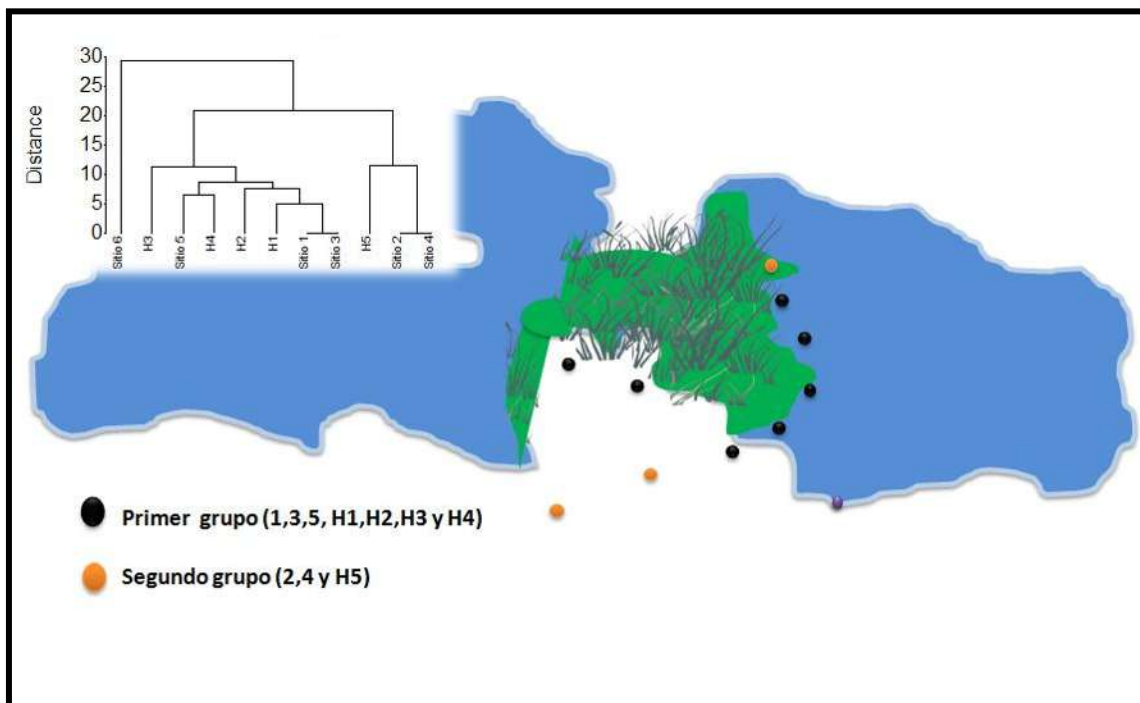


Figura 25. Agrupamiento de las estaciones de acuerdo a las variables fisicoquímicas en sedimento en la temporada de sequía

El mismo análisis para el período de lluvias mostró tres agrupaciones; La primera de ellas está representada por el sitio H5 (Fuera del humedal), el Cauce del Río Grande de Morelia (sitio 2) y la Estación Queréndaro (sitio 6). El segundo grupo incluye el Río Rectificado (sitio 4), y los sitios H1, H2 y H4 de Fuera del humedal. Finalmente el tercer grupo está constituido por la Desembocadura del Río Grande de Morelia (sitio 3) y H3 (Fuera del humedal). Se observa además que la Desembocadura del Río Rectificado (sitio 5) y el Río Queréndaro (sitio 1) no se encuentran asociados a los grupos establecidos (Fig. 26).

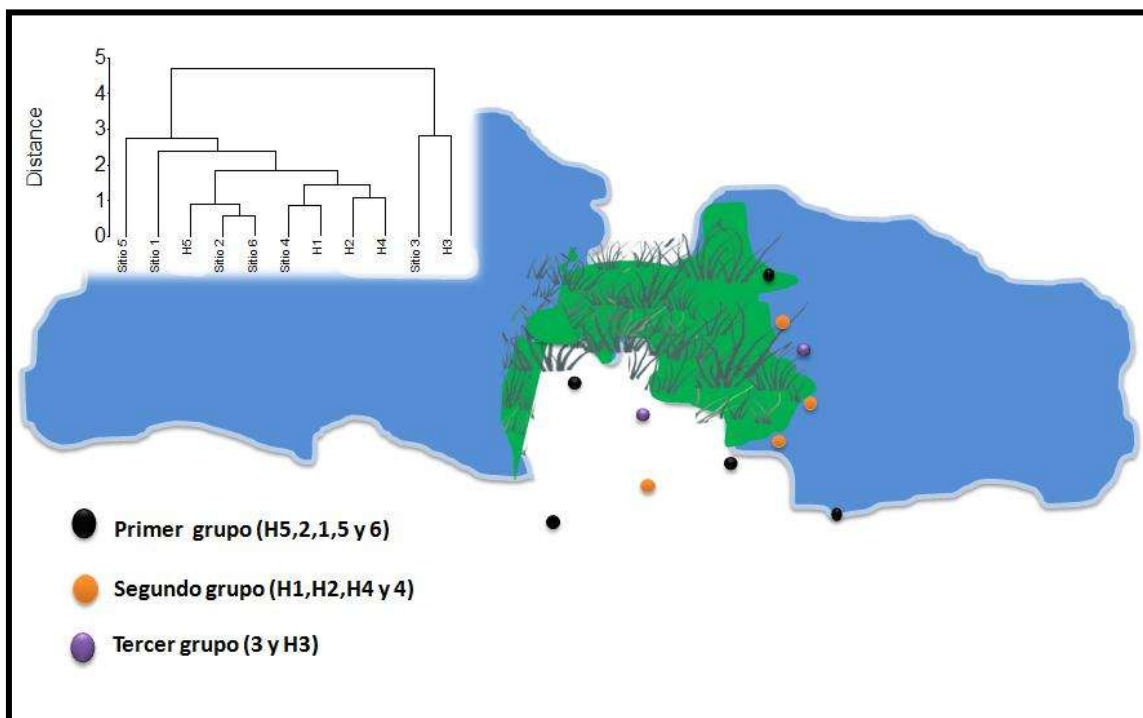


Figura 26. Agrupamiento de las estaciones de acuerdo a las variables fisicoquímicas en sedimento en la temporada de lluvias

Mediante el análisis factorial se obtuvo que para la temporada de sequías las variables de mayor importancia en los sedimentos son el fósforo total y el nitrógeno orgánico, tomando en cuenta el Factor 1 en el cual se explica el 60% de la variación entre las variables analizadas (Tabla 8).

Tabla 8. Análisis factorial en sedimento en la temporada de sequía

	Factor 1
Fósforo total g/Kg	0.935376
Humedad %	0.645333
Materia orgánica g/Kg	-0.009475
Nitrógeno orgánico g/Kg	0.782338

Del conjunto de las variables analizadas en la temporada de lluvias las que están contribuyendo en los ecosistemas fueron la humedad y la materia orgánica con los valores más altos, tomando encuentra el Factor 1 donde se explica 50.61% de la variación que existió entre las variables (Tabla 9).

Tabla 9. Análisis factorial en sedimento en la temporada de lluvias

	Factor 1	Factor 2
Fósforo total en sedimento g/Kg	-0.285048	-0.807721
Humedad %	-0.946008	0.139589
Materia orgánica g/Kg	-0.801233	-0.346262
Nitrógeno orgánico	-0.637606	0.589115

7.4 Eficiencia depurativa del humedal

Se determinó el porcentaje depurativo anual analizando la calidad de agua de ingreso y la que salió del humedal (Tabla 10), en los afluentes se registró la entrada de 19mg/L de bióxido de carbono del cual salieron 2mg/L quedando en el humedal el 87%, en cuanto al amonio ingresaron 0.02mg/L, del cual salieron 0.01mg/L quedándose en el humedal un 70%, el fósforo total que ingresó fue de 1049µg/L del cual salieron 269µg/L reteniendo el humedal el 74%, posteriormente el ortofosfato el aporte fue de 836µg/L del cual se salieron 123µg/L reteniendo un 85%, en cuanto a los sólidos suspendidos totales que ingresaron fue de 344mg/L del cual salieron 157mg/L presentando una retención del 54%, para los sólidos disueltos totales que entraron fue de 785mg/L y de los cuales salieron 682mg/L que dando se en el humedal el 13% y con respecto a los sólidos sedimentables se tuvo una entrada de 1ml/L del cual fue retenido en un 100%, posteriormente la entrada de la demanda química de oxígeno fue de 947mg/L de los cuales salieron 880mg/L reteniéndose en el humedal el 7% y para la demanda bioquímica de oxígeno el aporte fue de 332mg/L de los cuales salieron 256mg/L reteniendo el humedal el 23%.

Tabla 10. Porcentaje depurativo anual del humedal de Cuitzeo

VARIABLES	ENTRADA AL HUMEDAL	SALIDA DEL HUMEDAL	% DEPURATIVO EN EL HUMEDAL
Bióxido de Carbono mg/L	19	2	87
Amonio mg/L	0.02	0.01	70
Fósforo Total µg/L	1049	269	74
Ortofosfato µg/L	836	123	85
Sólidos suspendidos totales mg/L	344	157	54
Sólidos disueltos totales mg/L	785	682	13
Sólidos sedimentables ml/L	1	0	100
Demanda Química de Oxígeno mg/L	947	880	7
Demanda Bioquímica de Oxígeno mg/L	332	256	23

El humedal presento una eficiencia en la retención de sólidos sedimentables (SS) del 100% seguido del bióxido de carbono con un 87%, posteriormente el ortofosfato fue absorbido en un 85% y el fósforo total con un 74%, el amonio fue retenido en un 70%, en cuanto a los sólidos suspendidos totales (SST) el porcentaje de retención fue del 54%, y en un porcentaje menor se registró la demanda bioquímica de oxígeno(DBO_5) con un 23% seguido de los sólidos disueltos totales (SDT) y finalmente la demanda química de oxígeno con 7% (Fig.27).

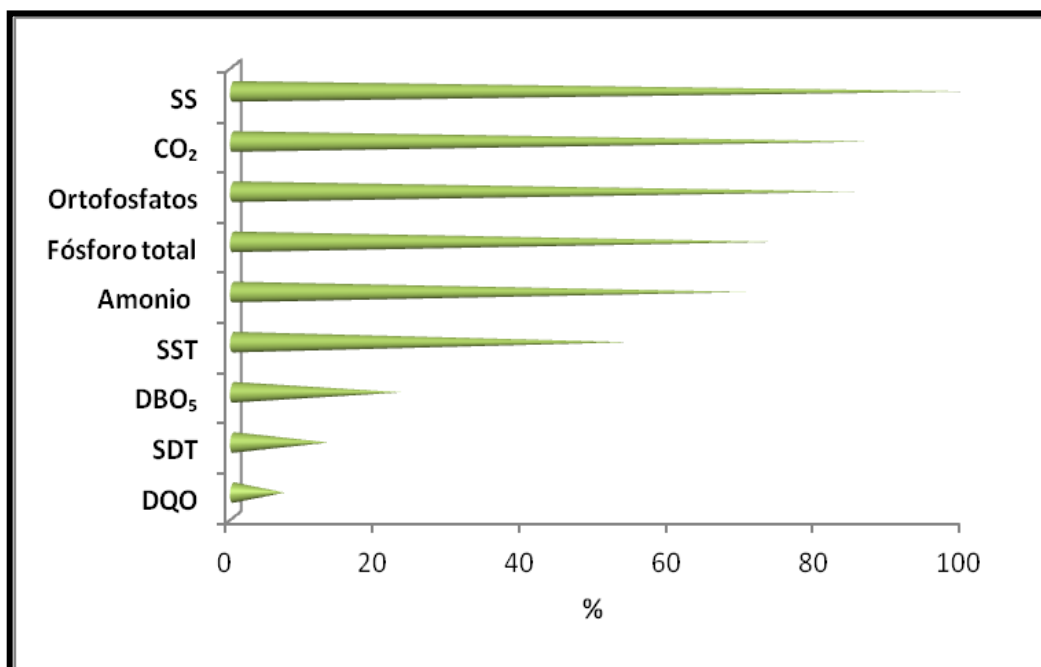


Figura 27. Porcentaje depurativo anual en el humedal natural de Cuitzeo

Posteriormente se evaluó la eficiencia depurativa del humedal tomando en cuenta los diferentes afluentes, consecutivamente se relacionaron los sitios mediante un transecto, quedando el Río Queréndaro-humedal y el Río Rectificado-humedal (Tabla 11). El aporte de sólidos suspendidos totales en Río Queréndaro fue de 374mg/L del los cuales salieron 121.56 reteniendo el humedal el 68%, con respecto a los sólidos que ingresaron en el Río rectificado fue de 313.17mg/L del cual salieron 209.44mg/L que dándose el 33% dentro del humedal, los sólidos disueltos totales que ingresaron en el Río Queréndaro fueron de 5169.67mg/L de estos salieron 1191.67mg/L reteniendo el humedal el 77%, en relación con el Río Rectificado se ingresaron 1216.00mg/L del cual se reportaron 666.33mg/L quedándose en el humedal el 45%, posteriormente el porcentaje depurativo para los sólidos sedimentables fue superior en ambos sitios Río Queréndaro-humedal se registro una retención del 100% y para el Río Rectificado-humedal fue del 95%. El fósforo total que ingresó del Río Queréndaro fue de 801.37µg/L del cual salieron 301.4µg/L y se retuvo el 27% dentro del humedal, con respecto al Río Rectificado entraron 1646.3µg/L y salieron 372.09µg/L quedándose en el humedal el 78%, en cuento al aporte de ortofosfatos en el Río Queréndaro fueron de 756.79µg/L, registrándose una salida de 142.33µg/L de los cual se retuvo un 81% y con relación al Río Rectificado el ingreso fue 1299.91µg/L y salieron 181.30µg/L reteniendo el humedal un 86%. El amonio ingresado en el Río Queréndaro fue de 0.02 µg/L del cual salieron 0.01µg/L quedándose en el humedal el 50% y para el Río Rectificado el aporte fue de 0.022mg/L del cual salieron 0.017mg/L reteniendo el humedal el 23%. Posteriormente la entrada de la demanda química de oxígeno en el Río Queréndaro fue de 389.08 teniendo en la salida 329.31mg/L del cual se retuvo un 15% y el ingreso en el Río Rectificado fue de 468.03mg/L y saliendo del humedal 345.10mg/L del retuvo un 26% dentro del humedal. Finalmente la demanda química de oxígeno que ingresó en el Río Queréndaro fue del 123.33mg/L de la cual salieron 943.33mg/L reteniendo el humedal el 16% y con relación al Río Rectificado el aporte fue de 913.33mg/L del cual salieron 821.11mg/L reteniendo dentro del humedal el 11%.

Tabla 11. Porcentaje depurativo en los sitios Río Queréndaro-humedal y el Río Rectificado-humedal

VARIABLES	ENTRADA AL HUMEDAL RÍO QUERÉNDARO	SALIDA DEL HUMEDAL	%DE RETENCIÓN EN EL HUMEDAL	ENTRADA AL HUMEDAL RÍO RECTIFICADO	SALIDA DEL HUMEDAL	%DE RETENCIÓN EN EL HUMEDAL
Sólidos suspendidos totales mg/L	374.22	121.56	68	313.17	209.44	33
Sólidos disueltos totales mg/L	5169.67	1191.67	77	1216.00	666.33	45
Sólidos sedimentables ml/L	0.07	0	100	9.44	0.43	95
Fosforo total µg/L	801.37	301.40	27	1646.38	372.09	78
Ortofosfatos µg/L	756.79	142.33	81	1299.91	181.30	86
Amonio mg/L	0.02	0.010	50	0.022	0.017	23
DBO ₅ mg/L	389.08	329.31	15	468.03	345.10	26
DQO mg/L	1123.33	943.33	16	913.33	821.11	11

En cuanto al Río Queréndaro- humedal presentó una retención del 100% en los sólidos sedimentables (SS), posteriormente los ortofosfatos con un 81%, después los sólidos disueltos totales (SDT) con una retención del 77% y los sólidos suspendidos totales con un 68%, y en cuanto al amonio fue retenido con un 50%, el fósforo total con 27%, la demanda química de oxígeno con un 16% y finalmente la demanda bioquímica de oxígeno con un 15%. En lo que respecta al Río Rectificado-humedal los valores de retención variaron teniendo en los sólidos sedimentables (SS) un porcentaje de retención del 95%, siguiendo los ortofosfatos con un 86% y después el fosforo total con un 78%, después se encuentran los sólidos disueltos totales con un 45% y los sólidos suspendidos totales con 33%, en cuanto a la demanda bioquímica de oxígeno fue retenida en un 26% y con un 23% el amonio, finalmente con un porcentaje menor la demanda química de oxígeno con un 11% (Fig.28).

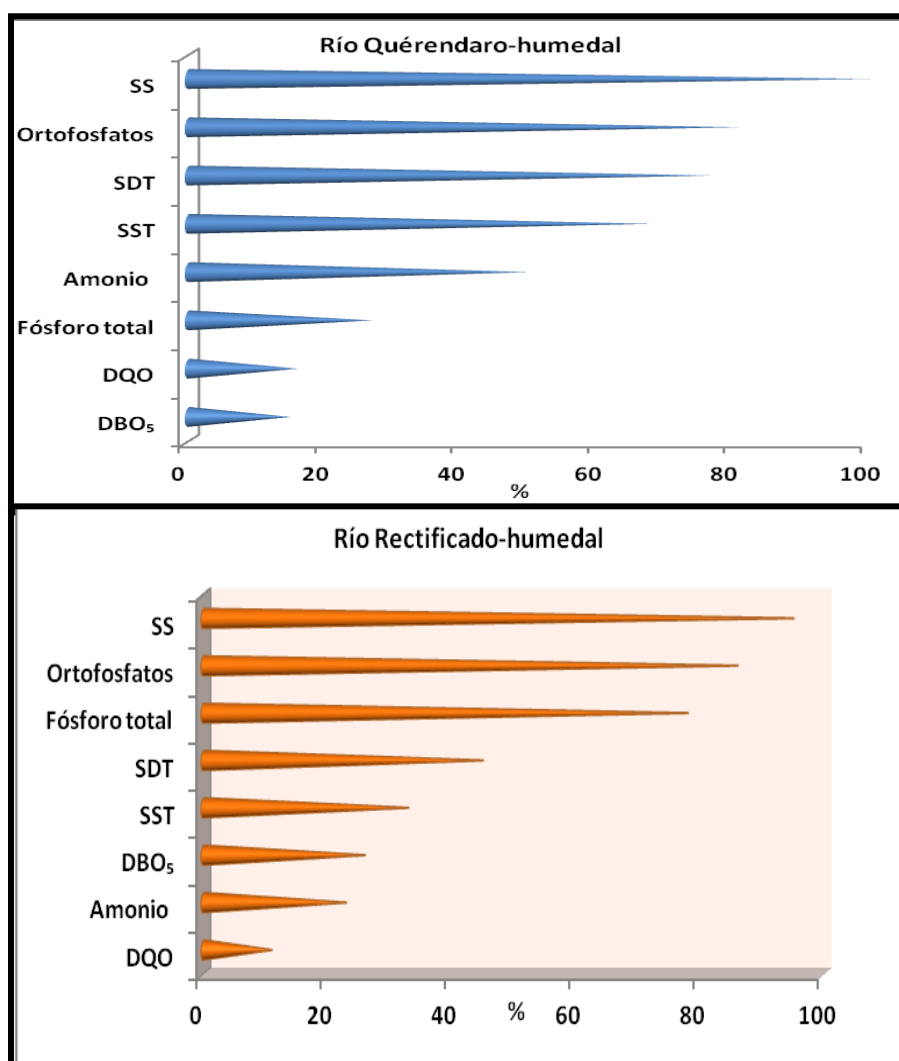


Figura 28. Porcentaje depurativo en el Río Queréndaro-humedal y Río Rectificado-humedal

Otro de los componentes importantes en el humedal son los sedimentos los cuales gran parte de lo que entra en los humedales también es retenido por ellos, tal es el caso del nitrógeno total del cual entran 455g/Kg y salieron 266g/kg reteniendo el 41% y en cuanto al fósforo total la concentración que ingresó fue de 711g/Kg y salieron 516g/Kg quedándose retenido el 27%. En cuanto a la materia orgánica en la (Tabla 12), se observa el porcentaje de retención la cual fue negativa, ya que la cantidad de materia orgánica que ingreso fue menor a la que salió del humedal.

Tabla 12. Porcentaje de retención en sedimentos en el humedal de Cuitzeo

	AFLUENTE	SALIDA DEL HUMEDAL	% DE RETENCIÓN EN SEDIMENTO
Nitrógeno total g/Kg	455	266	41
Fósforo total g/Kg	711	516	27
Materia orgánica g/Kg	506	756	-51

En los sedimentos del humedal se retuvieron un 52% del nitrógeno orgánico y con un 27% en la retención del fósforo total (Fig.29).

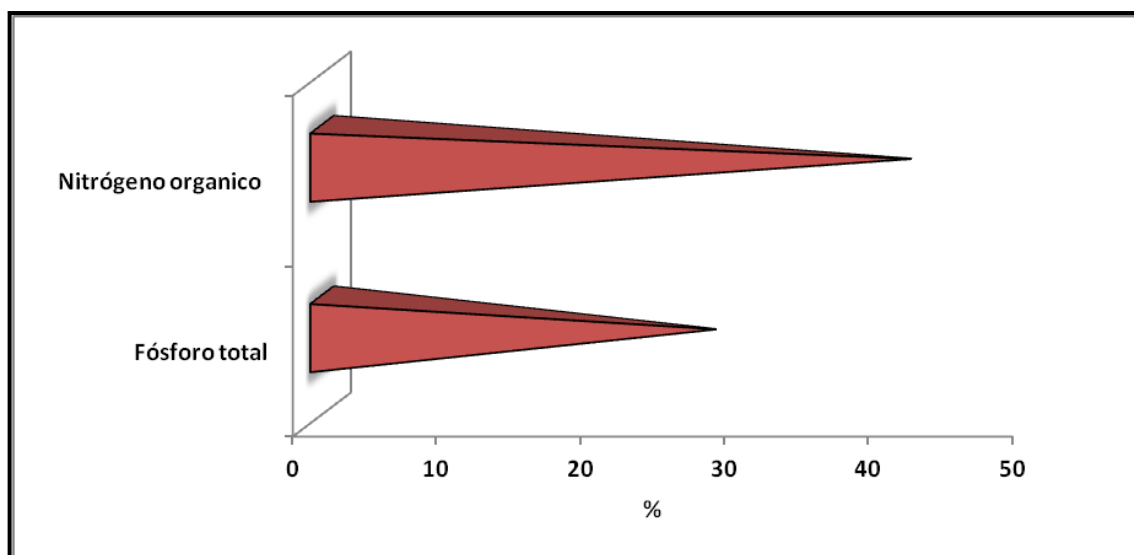


Figura 29. Porcentaje de retención del nitrógeno orgánico y fósforo total en sedimentos

El humedal natural del lago de Cuitzeo durante la temporada de sequía el humedal de Cuitzeo presentó una eficiencia de absorción en algunos nutrientes como fueron el amonio con un 36% el fósforo total con 66% y el ortofosfato con un 81%, a si mismo presentó una eficiencia en la retención de sólidos como fueron los sólidos suspendidos totales con un 32% y para los sólidos sedimentables con un 100%, y reduce la Demanda química de Oxígeno en un 11%, posteriormente almacena en un 93% el bióxido de carbono. En cuanto a los sedimentos estos retienen un 62% el nitrógeno orgánico y en un 26% el fósforo total (Fig.30).

En cuanto a la temporada de lluvias la capacidad absorción en humedal tiende a variar registrando en el amonio un incremento en la retención con un 92%, el fósforo total es absorbido en un 75% y el ortofosfato con un 86%, posteriormente retiene los sólidos suspendidos totales en un 48% y los sólidos sedimentables con un 88%, por lo tanto en esta temporada una de las variables que cambio fue la demanda química de oxígeno presentando una retención del 9%. En cuanto a los sedimentos el nutriente que se retuvo fue el fósforo total en un 29% (Fig.31).

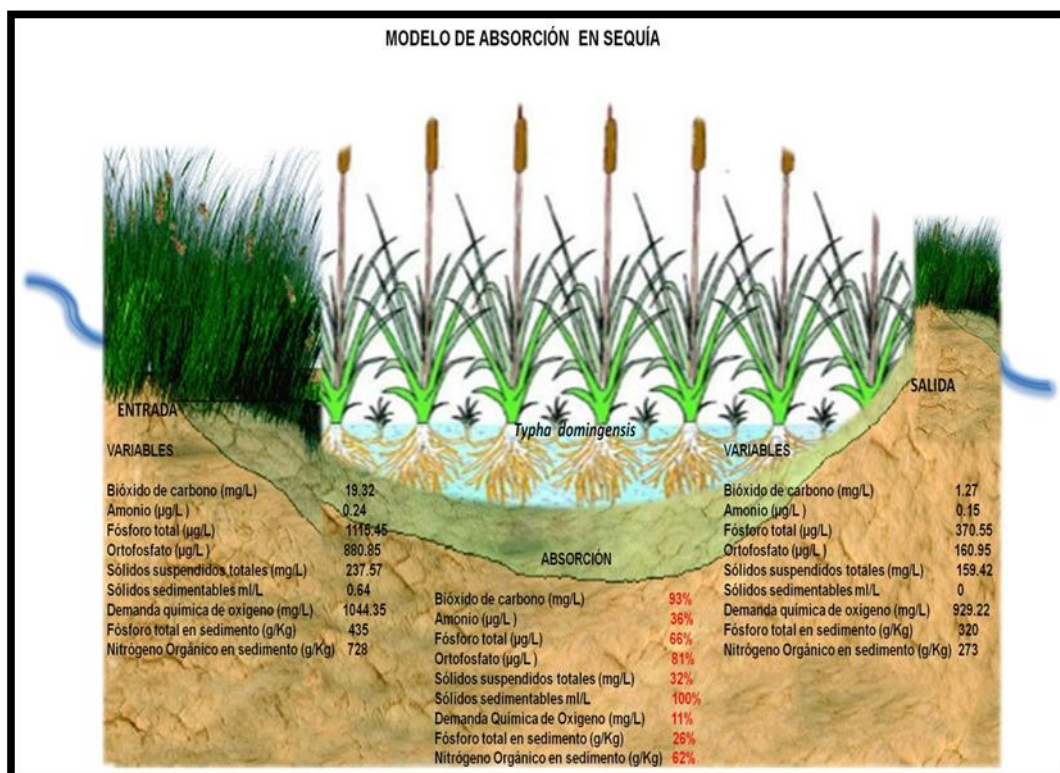


Figura 30. Modelo de absorción en el humedal de Cuitzeo durante la temporada de sequia

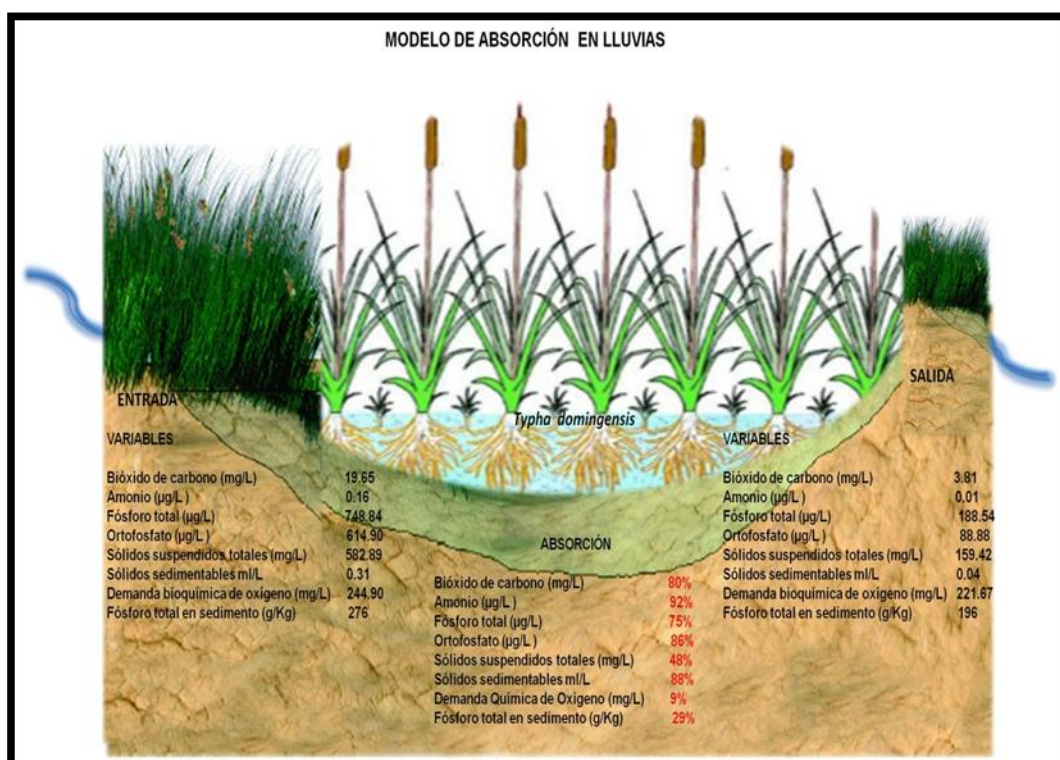


Figura 31. Modelo de absorción en el humedal de Cuitzeo durante la temporada de lluvias

El humedal artificial formo parte de un proyecto grande en el cual solo se tomo como una referencia, dónde solo se evaluó la calidad de agua que sale del humedal y que es vertida hacia el Lago, sin embargo otra de las cuestiones por la cual no se pudo evaluar el proceso depurativo dentro de este ecosistema fue que se encuentra delimitado por una maya.

La calidad de agua que sale del humedal artificial y del natural se muestra en la (Tabla 13). La conductividad en el humedal artificial fue más elevada con 2384.33µg/L y en el humedal natural fue de 1183.05µg/L, posteriormente la turbidez en el artificial fue de 484.17NTU y en el natural fue de 120.51NTU, la alcalinidad total en el humedal artificial fue de 362.8mg/L y en el otro ecosistema fue de 97.36mg/L, en el humedal artificial la concentración del amonio fue más elevada con 0.023µg/L y en relación al natural se registraron 0.010µg/L. En el humedal artificial la concentración del fósforo total fue de 2265.23µg/L y el ortofosfato con 1863.08 µg/L y en cuanto al ecosistema natural se registrarón en menor concentración el fosforo total con 269.20µg/L y el ortofosfato con 122.60µg/L, los sólidos suspendidos totales en el artificial fueron de 583.70mg/L y en el natural con 157.17mg/L, posteriormente en el ecosistema artificial se registro a los sólidos disueltos totales con 1857.25mg/L y para el natural con 682.47mg/L. La demanda química de oxígeno (DQO) en el artificial fue de 946.86mg/L y para el humedal natural fue de 793.33mg/L Finalmente la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) en el humedal artificial fue de 332.08mg/L y en el humedal natural fue de 259.89mg/L.

Tabla 13. Calidad de agua del humedal artificial y del humedal natural

VARIABLES	HUMEDAL ARTIFICIAL	DESVIACIÓN ESTANDAR	HUMEDAL NATURAL	DESVIACIÓN ESTANDAR
Temperatura (°C)	23.40	5.78	22.58	1.86
Conductividad (µS/cm)	2384.33	2654.51	1183.05	298.01
Potencia de Hidrogeno	9.50	0.62	8.19	0.19
Turbidez (NTU)	484.17	223.26	120.51	47.24
Alcalinidad Total (mg/L)	362.08	133.97	97.36	8.55
Alcalinidad Fenoltaleínica (mg/L)	76.46	70.09	23.89	6.80
Dureza Total (mg/L)	121.89	25.07	137.90	17.81
Dureza de Calcio (mg/L)	23.11	18.42	21.11	3.23
Dureza de Magnesio (mg/L)	23.17	18.62	20.69	4.03
Bicarbonatos (mg/L)	232.50	111.20	51.15	11.46
Carbonatos (mg/L)	101.81	106.26	46.35	14.42
Hidróxidos (mg/L)	0.00	0.00	1.14	2.29
Bióxido de Carbono (mg/L)	1.06	0.66	2.35	0.86
Oxígeno disuelto (mg/L)	4.10	4.81	5.99	0.75
Nitritos (mg/L)	2.56	6.53	3.62	6.60
Nitratos (mg/L)	33.41	14.41	24.17	11.09
Amonio (mg/L)	0.023	0.02	0.010	0.00
Fósforo Total (µg/L)	2265.23	1127.22	269.20	59.64
Ortofosfato (µg/L)	1863.08	917.65	122.60	18.09
Sólidos suspendidos Totales (mg/L)	583.70	481.52	157.17	43.40
Sólidos disueltos totales (mg/L)	1857.25	1718.96	682.47	155.57
Sólidos sedimentables (ml/L)	0.53	1.24	0.00	0.01
Clorofila a (mg/m ³)	12.82	14.10	18.89	6.65
Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	946.86	450.69	793.33	37.49
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	332.08	120.78	259.89	46.52

VIII. DISCUSIÓN

Por medio del análisis factorial se obtuvieron aquellas variables de mayor peso o importancia las cuales presentaron un efecto en la zona de afluentes y humedal. Debido a estas variables en ambos ecosistemas durante la temporada de sequia y lluvia presentaron diferencia significativas.

Con base a los resultados obtenidos en la zona de afluentes y del humedal mostrarón una alta conductividad la cual se asemeja a los valores reportados por Moreno (2010) en el humedal el papaloapan. Las elevadas concentraciones en la conductividad en los ecosistemas puede deberse a la incorporación de solutos como consecuencia de reacciones químicas de alteración de rocas y la gran cantidad de partículas disueltas.

De acuerdo a los valores reportados por Asselman y Crutzen (1989) estimaron que los humedales naturales retienen entre el 88 y el 98% los sedimentos. Con base a estos valores el humedal de Cuitzeo funciona como una especie de colador el cual retuvo gran cantidad de partículas de sedimento como arena, limo o arcilla, cuyo tamaño y número varía según, la intensidad de las precipitaciones, por lo tanto este ecosistema presento una retención de casi un 100% semejándose a los valores propuestos por Asselman.

La correlación entre los sólidos suspendidos totales y la clorofila-a se definió que variable está determinada en cada ecosistema, ya que se formaron dos grupos el de la zona de afluentes, donde se asocian el Río Queréndaro, el Río grande de Morelia y el Río Rectificado los cuales la variable que predomina es la de los sólidos suspendidos totales estos se debe al flujo constante que llevan acarreando gran cantidad de partículas de diversos tamaños, debido al movimiento del agua se lleva a cavo una suspensión de partículas limitando la penetración de la luz solar en la columna lo que reduce la presencia clorofila a, posteriormente la clorofila fue la que determino el secundó que fue la zona de humedal la permite el establecimiento de comunidades fitoplanctonicas debido a que el movimiento del flujo es más lento.

Los sólidos disueltos totales son otro factor que influyen en el ecosistema durante la temporalidad de sequía-lluvias siendo los afluentes los portadores de estas partículas esto se debe a que durante todo el periodo llevan flujo constante, lo que afecta en la calidad de agua que es ingresada y con respecto a la zona del humedal estas partículas disueltas podría ocasionar la saturación y a si mismo disminuir su capacidad en la retención de estos.

Otra de las variables implicadas es la demanda bioquímica de oxígeno esta tiende a tener un peso durante las dos temporadas, estos se debe a que durante todo el periodo hay aporte de agua la cual está siendo vertida por los afluentes siendo el Rio Rectificado el portador de agua de uso industrial y esta suele llegar hasta la zona del humedal donde el su procesamiento puede ser más lento debido a los componente que puede llevar este tipo de agua, lo que implicaría que el humedal no pueda procesar más rápidamente los compuestos.

Con basen a los valores registrados de amonio y nitritos en el humedal es tos se encuentran en concentraciones aceptables para las comunidades acuáticas. Con respecto a los nitratos en el humedal de Cuitzeo estuvieron por encima de los valores reportados por Vázquez en el humedal Sochagota en el cual se basa en la clasificación propuesta por Vollenweider (Citado por Roldán, 1992). En la que establece que valores mayores a 10mg/L son ecosistemas en estado trófico, de acuerdo a esta concentración el humedal de Cuitzeo sobrepasa esté valor por lo que se clasifica como un humedal en estado trófico elevado.

De acuerdo con Vázquez (2006) los valores de fósforo soluble entre (0,25 y mayores a 3,0 mg/L), se clasifican como humedales en estado eutrófico e hipertrófico por lo que de acuerdo a estas concentraciones el humedal de Cuitzeo se encuentra ubicado dentro de este rango con 0.26 mg/L el cual se clasifica como un humedal en estado eutrófico e hipertrófico. Posteriormente cuando los ortofosfatos son inferiores a 0,0073 mg/L, el ecosistema se encuentra en un estado de oligotrofia, entre 0,0074 y 0,0013 mg/L en mesotrofia y cuando es mayor a 0,014 mg/L, es eutrófico y cuando sobrepasan

estas concentraciones ya está en estado hipereutrófico, con base a estas concentraciones el humedal de Cuitzeo sobrepasa estos valores con 0.122mg/L, el cual se encuentra en estado hipertrófico (Henao, 1987). Estas interpretaciones tróficas de los humedales con base en los nutrientes medidos se deben tomar con precaución, ya que solo es una aproximación al verdadero estado del humedal.

La tendencia a altas concentraciones de nutrientes en el humedal se debe principalmente a la gran cantidad de desechos y material orgánica provenientes de la ciudad de Morelia los cuales son incorporados en los principales ríos que provienen de esta ciudad, a ello se le suman los asentamientos cercanos a los ríos y posteriormente a las comunidades aledañas al Lago, donde se llevan a cavo actividades de agricultura y ganadería estas actividades aportan nutrientes a los ecosistemas acuáticos, especialmente fósforo, a través de los fertilizantes y detergentes utilizados provocando el crecimiento abrupto en la biota, cubriendo la superficies de los ríos hasta asfixiar estos ecosistemas ocasionando la eutroficación, con respecto a la zona del humedal la vegetación juega un papel importante en la absorción de estos nutrientes ya que son aprovechados para su crecimiento provocando una reducción de estos en el agua (Roldán, 1992).

La demanda bioquímica de oxígeno presento una probabilidad la cual tiende a varias con base a los sitios de afluentes y humedal esto se debe a que esta variable no presenta efecto de acuerdo a la temporalidad pero si a los sitios a un que muy poco ya que durante todo el periodo hay aporte de descargas el cual no se ve reflejado una diferencia significativa , sin embargo en los afluentes hay menor concentración de materia orgánica, mientras que en la zona del humedal aumenta por el proceso de oxidación, sumando a ello la descomposición de la vegetación y de microorganismos.

La clorofila-a en los ecosistemas acuático nos sirve para determinar de forma indirecta la biomasa de las comunidades fitoplanctónicas, el aumento de la clorofila- a durante la temporada de sequia se debe a que durante este periodo hay mayor incidencia solar siendo una de las fuentes principales de energía,

para la biomasa además de que también hay un aumento en el fósforo y el nitrógeno que son nutrientes que estimulan el crecimiento del fitoplanctonico. Posteriormente en la zona de humedal es mayor la presencia clorofila-a, que en los sistemas loticos donde la concentración fue menor la cual se debe a que hay más movimiento por el flujo lo que impide el establecimiento de estas comunidades fitoplanctonicas

El principal problema que disminuye la eficiencia depurativa del humedal es la incorporación de grandes cantidades de material orgánico de acuerdo a los valores registrados por Fernández (2001) menciona que estos ecosistemas son muy efectivos ya que reducen la demanda química de oxígeno en un 65% y la demanda bioquímica de oxígeno en un 80%. Con base a estos valores reportados el humedal de Cuitzeo presento baja eficiencia en la depuración de la demanda química de oxígeno con un 7% y la demanda bioquímica de oxígeno con 23%, lo que indica que este ecosistema no es tan efectivo en la depuración de estas dos variables

La humedad en los sedimentos depende del tipo textura , obteniendo en ambos ecosistemas suelos muy arcillosos como fue el franco arcilloso, a excepción de los sitios de los afluentes que durante el período de lluvias se obtuvo un cambio en la textura teniendo en mayor porción los suelos arenosos, mientras que en los sitios del humedal prevaleció la misma textura por lo tanto este tipo de textura benefician al ecosistema impidiendo la infiltración por lo tanto son suelos eficientes para impedir el paso del agua al subsuelo.

Es común la presencia de materia orgánica en sedimentos y más cuando esta subsidiada por ríos y por una zona de humedal dónde se llevan a cabo los procesos de oxidación, por lo general la materia orgánica en estos ecosistemas proviene de diversas fuentes, como son la productividad primaria dentro de los ecosistemas acuático, la descomposición de vegetación halófila y de la misma vegetación sumergida, toda esta materia orgánica que permanece sin degradarse en la columna de agua se incorpora en los sedimentos por lo que los sedimento de los ríos y de la zona del humedal son suelos ricos en materia orgánica la cual está generando la extensión y acumulación de biomasa en la

zona del lago. Los valores de materia orgánica en los sedimentos del humedal fueron altas comparando los valores reportados por (Ramírez 2004) el cual describe que los suelos con tasas altas de materia orgánica son suelos característicos de humedales a sadiados a lagos templados.

El fósforo total en los sedimentos es otro elementó el cual refleja la condiciones en las que se encuentra el ecosistema como es el caso de los afluentes donde se determino que en estos sitios las concentraciones son más elevadas esto se debe principalmente al tipo de aguas las cuales son de usos domestico sin tratar como son los detergentes, sumándole la incorporación de plaguicidas y fertilizantes agrícolas, por lo tanto en la zona del humedal esta variable se encontró en menor concentración esto se debe a que la vegetación aprovecha este compuesto para su crecimiento y otra parte es absorbida por las arcillas las cuales se encuentran presentes en ambos ecosistemas

Posteriormente el nitrógeno orgánico es una de las variables que presentan un impacto en ambos ecosistemas como es el caso de la zona de afluentes donde se incorporan grandes cantidades de nitrógeno por medio de escurrimientos esto se debe a que cerca de los rio se llevan a cabo las actividades de agricultura y ganadería, la presencia microorganismo y el tipo de textura que se encuentra son importantes en la fijación y transformación del nitrógeno a si como de otros nutrientes, los cuales son procesados en formas más solubles de tal forma que la vegetación del humedal por medio de los rizomas tiende a absorber estos compuestos y aprovechar los para su crecimiento reduciendo las concentraciones que son han sido ingresada por medio de los escurrimientos y de la zona de afluentes.

El tipo de textura en los sedimentos es parte elemental en la retención de nutrientes ya que del tipo de suelo dependerá la capacidad de retener ciertos compuestos. Por lo tanto durante el período de sequia el tipo de textura que predomina en ambos ecosistemas fue el franco-arcilloso, mientras que en la temporada de lluvias predominan las arenas este cambio se debe a que los causes llevan mayor volumen de agua con más velocidad en el flujo, por lo que estas partículas de mayor tamaño son arrastradas hasta la zona de humedales,

donde gran parte de ellas son retenidas por la vegetación que se encuentran en estos ecosistemas.

Con base a los valores reportados por Núñez (2007) se determina la eficiencia de *typha dominguesis* en la remoción de nutrientes. Así como es el caso del humedal de Cuitzeo donde domina la *typha dominguensis* al igual se presenta una eficiencia en la absorción de nutrientes como fue el amonio, fósforo total y ortofosfatos este tipo de vegetación funciona en la depuración de aguas residuales

En general el porcentaje depurativo en el humedal fue eficiente ya que redujo los nutrientes disueltos, como nitratos, fosfatos, además de la retención de sólidos provenientes de los efluentes, contribuyendo así a mejorar la calidad del agua que es vertida al Lago. También se mostró eficiencia depurativa entre los sitios evaluados Río Queréndaro-humedal y Río Rectificado-humedal, donde los valores de retención variaron debido al tipo de agua que es incorporada en cada afluente

Por lo tanto el humedal natural que se encuentra en la parte Oeste del lago de Cuitzeo es uno de los ecosistemas que presenta una eficiencia en la depuración de aguas residuales, sin embargo el porcentaje depurativo que se presentó varió en relación a la calidad de aguas que es ingresada por cada afluentes como fue el Río Queréndaro-humedal el cual colecta aguas de tipo municipales y el Río Rectificado que colecta aguas de uso industrial, domésticas y comerciales etc.

En base a las variables evaluadas en el humedal artificial y natural los valores son más elevados en el artificial como fueron la conductividad la cual se debe a que se encuentra situado en la parte Central donde hay mayor concentración de sales debido a la poca profundidad, por lo que también conlleva a que hay mayor suspensión de sólidos suspendidos y sólidos disueltos totales, lo que hace de un ecosistema más turbio. Posteriormente estos ecosistemas son muy distintos ya que se sabe de la eficiencia depurativa que tuvo el humedal natural, mientras que en el artificial no se sabe que tan eficiente puede ser, sin

embargó de acuerdo las variables evaluadas en ambos las concentraciones suelen ser mayor en el artificial como fueron los nutrientes fósforo total, ortofosfato, amonio, la demanda química de oxígeno y la demanda bioquímica de oxígeno. Esta diferencias entre estos ecosistemas también puede deberse a al tamaño ya que el humedal artificial es mas pequeño que el humedal natural.

IX. CONCLUSION

- Durante el período de sequía la conductividad tiende a aumentar, y durante la temporada de lluvias esta disminuye en un 67%
- Al igual que los nitrogenados (nitritos, nitratos y amonio) estos suelen concentrarse más durante la sequía
- Posteriormente el fósforo total y el ortofosfato disminuyen en un 54% y 56% en la temporada de lluvias
- Con respecto a los sólidos suspendidos totales el aporte se incrementa durante el período de lluvias
- En ambos ecosistemas los sólidos suspendidos totales aumentan en 67% durante la temporada de lluvias
- Mientras que durante el período de sequía la clorofila- a se encuentra en mayor concentración en la zona del humedal que en la zona de afluentes
- El aporte de la demanda química de oxígeno presenta diferencia significativa con respecto a la temporalidad, mientras que la demanda bioquímica de oxígeno presenta diferencias significativas en base a los sitios e afluentes-humedal
- De acuerdo a los niveles de oxígeno en el agua que es incorporada por los afluentes se encuentra en estado anóxico, y en la zona del humedal los niveles son aptos para la sobrevivencia de organismos acuáticos
- El humedal y la zona de afluentes se clasifican como aguas con una alta capacidad amortiguadora, de acuerdo a la clasificación de (Kevern 1989)

- El humedal del lago de Cuitzeo se tipificó como un humedal hipertrófico en base al fósforo total y ortofosfato de acuerdo con (Vázquez 2006)
- El Río Rectificado de acuerdo a la relación espacial es el principal afluente que incorpora elevadas concentraciones de compuestos nitrogenados
- Posteriormente en el Río Grande de Morelia es el principal portador de elevadas concentraciones de fósforo total y ortofosfatos
- Siendo el Río Grande de Morelia y el Río Queréndaro los principales afluentes que aportan mayor cantidad de sólidos hacia la zona del humedal
- En base a la demanda bioquímica de oxígeno el principal aportador de aguas de usos industrial es el Río Rectificado
- De acuerdo a la correlación de sólidos disueltos y la conductividad se establecieron dos ecosistemas muy distintos el de los afluentes determinado por los sólidos y los sitios del humedal donde predomina la concentración de sales
- La correlación entre los sólidos suspendidos y la clorofila *a* fue del 51.3% estableciéndose los sitios de los afluentes en un grupo determinado por los sólidos y el otro grupo por los sitios del humedal donde domina la clorofila *a*
- De acuerdo al análisis estadístico por el método clúster se definieron dos grupos, los sitios que pertenecen a los afluentes y los que se encuentran en la zona del humedal, lo que determina que cada sitio se integra a su ecosistema

- En base al método clúster durante la temporada de lluvias se establecieron tres grupos el de los afluentes, el de la zona del humedal y tercero el Río Queréndaro se asocia con la Estación Queréndaro
- La humedad en los sedimentos está determinada en base a la temporada de sequía-lluvias presentando diferencias significativas
- Los sedimentos de la zona de afluentes y humedal durante las dos temporadas están suministrados de materia orgánica, lo que los hace como suelos muy fértiles
- El tipo de suelo que predomina en los afluentes y del humedal son el Franco-arcilloso
- El humedal es eficiente en la retención de sólidos suspendidos totales donde los valores de retención van de un 33% al 68%, a si mismo se obtuvo un retención en los sólidos disueltos totales de un 45% al 77%
- El humedal es eficiente en la retención de nutrientes en el caso del fósforo total con un 27% a un 8% y cuanto al ortofosfato con un 81% a un 86% y para el amonio va del 23% al 50%
- En cuanto a la demanda bioquímica de oxígeno la reduce de un 26% a un 15%
- Posteriormente la demanda química de oxígeno es reducida de un 11% a un 16%
- El humedal artificial se caracteriza como un ecosistema muy distinto al humedal natural, lo que hace de un ecosistema menos eficiente en relación con el natural

X.RECOMENDACIONES

- Debido a la eficiencia depurativa que tuvo el humedal en la depuración de nutrientes tanto en agua como en sedimento, se recomienda la conservación y protección de este ecosistema ya que funciona como barrera entre el medio terrestre y medio acuático disminuyendo alteraciones hacia el sistema lacustre. Con el presente estudio se logro establecer el beneficio que proporciona este humedal en mejorar la calidad de agua que ingresa hacia el lago. Por lo que también se recomienda que sea sometido a decretarse como sitio RAMSAR.
- Implementar planes estratégicos para la restauración de esta zona del humedal y la del Lago.
- Se recomienda que las aguas que son incorporadas al humedal reciban un pre-tratamiento con el fin de evitar que estos ecosistemas reduzcan los servicios ambientales que proporcionan.
- Promover el uso e instalación de alternativas económicas, de bajo costo de operación y mínima dependencia tecnológica para tratar las aguas residuales; en especial de humedales artificiales.
- Una vez establecer las alternativas de manejo y restauración atreves de la participación de diferentes sectores sociales y gubernamentales para mejorar las condiciones tanto del humedal como del Lago
- Asesorar a los Municipios y Departamentos para la identificación y delimitación funcional de los humedales como áreas de protección
- Optimizar el manejo y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales de los ecosistemas de humedales, a través de procesos educativos que conduzcan a cambios de actitud, desde los altos niveles gubernamentales hasta los pobladores locales de estos ecosistemas

- Usar los medios de difusión para expandir información acerca de los valores, y beneficios que proporcionan los humedales.
- Implementar y fortalecer la investigación científica que permita conseguir información de base para darle seguimiento y monitoreo al humedal
- Evaluar continuamente análisis de calidad de agua, con la finalidad de mantener un registro sobre los
- Promover programas de empleo temporal para realizar acciones de limpieza sobre los afluentes y la zona del lago los cuales están siendo afectados por la extensión de vegetación flotante evitando el paso de la luz e impidiendo procesos fotosintéticos.
- Disminuir la extracción de aguas por canalización para uso de riego en la agricultura ya que disminuye la cantidad de flujo hacia el lago
- Evitar el sobre pastoreo cercano la humedal ya que tiende afectar la compactación del suelo evitando que se pueda infiltrar el agua
- Realizar proyectos de conservación de humedales, ya que al conservar estos ecosistemas se asegura la calidad de las aguas que lo componen, la diversidad biológica asociada al ecosistema y la reserva genética de esta diversidad (reserva genética que sirve de botiquín, farmacia y variedad genética).

VI. LITERATURA CONSULTADA

- Abarca, F. J. (2002). Tipos de humedales en México. Manual para el Manejo y la Conservación de los Humedales en México. Publicación especial. Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAP, Arizona Game & Fish Department, U.S. Fish and Wildlife Service y Wetlands Internacional.
- Álvarez, S.S. (2005). Descomposición de Materia Orgánica en Humedales: la importancia del componente microbiano. Universidad Autónoma de Madrid. Departamento de Ecología. Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente.
- APHA (1995). "Standard methods for the examination of water and wastewater."_American Public Health Association. Washington DC, 16th edition.
- Arcos, R., Castellano R. E., Alejo N. M de la L., García M.R y Solís C. R. (2005). Remoción de la materia orgánica mediante la utilización de humedales artificiales en la comunidad de Sta. María nativas Texcoco edo.
- Ayala-Ramírez, G. L., (2009). Influencia del cambio climático en el humedal de Pátzcuaro. Morelia Michoacán México. Memorias en extenso IV congreso Estatal de Ciencia y Tecnología. COECYT Gobierno del Estado de Michoacán. 138 págs.
- Barba-Macías, E., (2006). Clasificación de los humedales de Tabasco mediante un sistema de información geográfica. www.ujat.mx/publicaciones/uciencia 22 (2):101-110,20.
- Beltrán, M. J. (1964). Análisis químicos de suelos. Catedrático de química inorgánica de la Universidad de Valencia España.328 págs.

- Berlanga, R., César A., Ruiz L. A., y De la Lanza E.G. (2007) Esquema de clasificación de los humedales de México *Investigaciones Geográficas (Mx)*, Núm. 66, pp. 25-46 Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México.
- Bravo, E. M. (2008) La Cuenca del Lago de Cuitzeo: Problemática, Perspectivas y Retos Hacia su Desarrollo Sostenible. Campo Experimental Uruapan, CIRPAC-INIFAP
- Campanella, M.V., Hadad H., Maine, M. A., Markariani, R., (2005). Efectos del fósforo de un efluente cloacal sobre la morfología interna y externa de *eichhornia crassipes* (mart. solms) en un humedal artificial. Asociación Española de Limnología, Madrid. Spain. ISSN: 0213-8409.
- Carrera, C. J., Andrade E. L. (1978). Los Sistemas de Mangles de Puerto Rico. Programa de la Zona Costanera, Departamento de Recursos Naturales y Ambientales pág. 102.
- Chacón, T. A. (1980). Contribución al conocimiento de la ecología de ictio fauna de Lago de Cuitzeo, Michoacán. Tesis profesional, Escuela de Biología, Universidad MICHOAACNA de San Nicolás de Hidalgo.
- Campo experimental d'Uruápan (CIRPAC-INIFAP) (2010). La Cuenca del Lago de Cuitzeo: Problemática, Perspectivas y Retos Hacia su Desarrollo Sostenible, folleto LAGO CUITZEO byn prop.p65.
- CONANP, (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas), (2005). Los Humedales Prioritarios de México. Ed. Emepunto. 48 p.
- De la Lanza-Espino, G. (2007). Las aguas interiores de México. Ed. AGT-Editor, 1ª edición, México, 695 pág.
- Dodd's, W. K. (2002). Freshwater Ecology, concept and environmental applications. Ed. Academic Press. U.S.A. 569 p.

- Eaton, D.A., Clesceri L.S y Greenberg E.A. (1995). Standard methods for the examination of water and wastewater. 19th. Edit. American Public Health Association. Seccionado I-47.
- Escutia, A.T., Lara C.S., Linding C.R.A. (2009). Efecto del fuego y dinámica de las hidrófitas emergentes en el humedal de la Mintzita, Michoacán. Revista Mexicana de Biodiversidad 80.771-778.
- Fierro-Cabo A., (2007) Indicadores funcionales y estructurales para determinar el estado de conservación de humedales costeros en el sur de Tamaulipas. Instituto de Investigación en Ingeniería, Facultad de Ingeniería “Arturo Narro Siller”, UAT Centro Universitario Tampico-Madero, Tampico.
- Folk, R.L., and Ward, W.C. (1957). Brazons River Bar: A study in the significance of grain size parameters. J. Sediment., 27: 3-26.
- García, V.N. (2008) Memoria Ilustrada del Programa para la Recuperación Ambiental de la Cuenca de Lago de Pátzcuaro, 2003-2008. IMTA. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 151.
- Goldman, C.R. y Horne, A.J. (1983) Limnology. Nueva York, McGraw Hill Book Co., 464 p.
- Gordon, E., y Feo., (2009). Dinámica del nitrógeno en un humedal herbáceo (estado Miranda, Venezuela) dominado por *Hymenachne amplexicaul*. Acta Bot.Venez. 32: 1-18
- Guido, Z.A y Duran B.C., (2008).Remoción de contaminantes en un sistema modelo de humedales artificiales a escala de laboratorio. Tecnología, Ciencia, Educación, Vol. 23. Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos.

- Gutiérrez, N.L.C.A. (1996). Potencial Geotérmico de Lago de Cuitzeo. I Foro de Análisis del problemática ambiental del Estado de Michoacán cuenca del lago de Cuitzeo.
- Henao de U. A. (1987). El disco secchi y el estado trófico. *Revista Ainsa* 12: 67-79.
- Hernández, M. E., (2010). Suelos de humedales como sumideros de carbono y fuentes demetanoterra latinoamericana, vol. 28, núm. pp. 139-147. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México.
- INEGI (2009). Proyecto de Climatología Serie I, IRIS 4.2. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Aguascalientes Ags. México.
- Israde, A.I., Garduño R., Ortega M. (2002). Paleoambiente lacustre del cuaternario tardio en el centro del Lago de Cuitzeo. *Hidrobiologica*, 12 (1):61-78.
- Israde, A.I., Velázquez, R., García L., Domínguez V.G., Garduño M.H (2010) evolución paleolimnonoliga del Lago de Cuitzeo *Bol.Soc.Geol.Mex*, Vo 62 No3.
- IUSS Grupo de Trabajo WRB. (2007). Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103. FAO, Roma.
- Johnston, C.A., (1991). Sediment and Nutrient Retention by Freshwater wetlands: Effects on Surface Water Quality. *Critical Reviews in Environmental Control*, 21 (5, 6): 491- 565.
- Izurieta, D. J.L., (2002) Aporte de nutrientes por fuentes no puntuales en la cuenca del lago de cuitzeo, México. Instituto Mexicano de Tecnología del agua.

- Lara -Escutia Y., (2008). Composicion y dominacia de especies hidrofitas emergentes y captura de nitrógeno y fósforo en humedales de agua dulce en Michoacan.tesis de Maestria.
- Lind, T.O, (1985). Handbook of common methods in Limnology. U.S.A. Second Edition. 198 pp.
- Linding -Cisneros R. (2005). Estudio de la vegetación de los manantiales la Mintzita y su dinámica. Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México.
- Londoño C.L.A., Marín V.A., (2009). Evaluación de la eficiencia de remoción de materia orgánica en humedales artificiales de flujo horizontal subsuperficial alimentados con agua residual sintética. Tesis de licenciatura.
- López, M. (2005).Ingeniera Civil Cátedra Ingeniería Sanitaria, Universidad Nacional del Sur. Tesista de Magíster en Ingeniería.
- Manzano, M. 2001. Clasificación de los humedales de Doñana atendiendo a su funcionamiento hidrológico. Hidrogeología y Recursos Hidráulicos, Madrid, XXIV: 57- 75.
- Marín, M.J.L., Hernández A., Moreno C. M. E., Barceló P., (2011). Secuestro de carbono en suelos humedales costeros de agua dulce en Veracruz. Tropical and Subtropical Agroecosystems, vol. 13, núm. 3, 2011, pp. 365-372 Universidad Autónoma de Yucatán, México.
- Márquez, A., Sénior W., Martínez G., y González A., (2007). Concentraciones de nitrógeno y fósforo en sedimentos recientes de la laguna los patos, estado sucre, Venezuela.9 págs.
- Martínez, L.A., Gómez G.R., Villaseñor C.J., y Mena S.J. (2005). Comparación de diferentes plantas acuáticas en la depuración de aguas

residuales con humedales de flujo subsuperficial. Encuentro internacional en fitodepuración (julio del 2005, Lorca, Murcia, Spa.

- Medina, H. Chacón T., y Rendón M.B. (2006). Dinámica de nutrientes en el humedal lacustre del lago de Pátzcuaro, Michoacán. Instituto de Investigaciones sobre los Recursos Naturales, Laboratorio de Ecología Acuática, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México.
- Mendoza, M.E., Bocco G. y Bravo M. (2002). Implicaciones del cambio de cobertura vegetal y uso de suelos a nivel regional en el Lago de Cuitzeo, Michoacán, México: el caso de una cuenca poco aforada. Tesis doctoral en Ciencias de la Tierra.
- Mendoza, M. E., G. Bocco y M. Bravo. (2007). Tendencias recientes de las superficies ocupadas por el lago de Cuitzeo. Un enfoque basado en percepción remota, sistemas de información geográfica y análisis estadístico. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM ISSN 0188-4611, Núm. 64, 2007, pp. 43-62.*
- Mitsch, W. J. and Gosselink J. G. (2000), *Wetlands*, John Wiley and Sons Inc., Nueva York.
- Moller, P. (2008). Caracterización y estado de conservación de un humedal urbano en la ciudad de Valdivia, sur de Chile. *Gestión Ambiental* 15: 53-65.
- Montoya, I. J., Ceballos U.L., Casas J.C., Morato F.J., (2010). Estudio de la remoción de Materia orgánica en Humedales de Flujo Horizontal Subsuperficial, utilizando tres macrófitas. *Revista EIA*, ISSN 1794-1237, No 14; pp75-84.
- Moreno, M.D., Camin A.F., Pedrocchin C., Causape J. (2009). Effect of wetlands on water quality of an agricultural catchment in a semi-arid area

under land use transformation. Revista WETLANDS, Vol. 29, No. 4, pp. 1104–1113, the Society of Wetland Scientists.

- Murphy J. & Riley J.P., (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Anal Chim. Acta, 27, 31-36.
- Núñez M, Cárdena C., Hablich K., Velázquez W., Isea D., Trujillo A., Morales E., (2006). Uso de un humedal construido como pulimiento para afluentes de un sistema de lagunas de estabilización, Boletín del centro de Investigaciones Biológicas. Vol.40, No3, 2006.pp.327-346
- Pérez, S., y Rojo C. (2000). Función depuradora de los humedales: una revisión bibliográfica Sobre el papel del sedimento Institut Cavanilles de Biodiversidad, Biología Evolutiva (Universidad de Valencia) Apdo.Oficial 2085, 46071 Valencia.
- Pulido, M. (2007) Los suelos de la cuenca de Cuitzeo. Departamento de suelos Chapingo México.
- Rainwater S.H. and Thatcher L.L., (1960). Methods for collection and analysis of water samples. U.S. Geological Survey, Water-Supply Paper 1454, Washington.
- Ramírez, A. 1999. Ecología aplicada: diseño y análisis estadístico. Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Bogotá, Colombia, 325 págs.
- Ramírez, C.H., Pabello L., Arredondo F.J.L. (2009). Evaluación de un humedal artificial de flujo vertical intermitente, para obtener agua de buena calidad para la acuicultura. Revista Mexicana de Ingeniería Química, Vol. 8, Núm. 1, pp. 93-99 Universidad Autónoma Metropolitana – Iztapalapa.

- Rivas, H. A., Mantilla M.G., Pozo R.F., Sánchez C.L.F., Sotelo R.N.D. y Muñoz P.K. (2001) Manejo sustentable y diseño hidráulico y biológico de humedales para control de la contaminación en lago de Pátzcuaro, México. 5 págs.
- Rivas, H.A., Ramírez G.A., Baldera J.C y García M.J.G. (2003). Diseño y diagnóstico de sistemas de tratamiento de aguas residuales mediante humedales (wetlands). Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Rodiles-Hernández R. (2010) Explican relación de humedales y clima extremo. Publicado en [Cambio Digital](#) el 08-02-2010 Escrito por Agencia ID. El Colegio de la Frontera Sur.
- Rodríguez, M. J. y Durán de C. (2006). Remoción de nitrógeno en un sistema de tratamiento de aguas residuales usando humedales artificiales de flujo vertical a escala de banco. Tec nol. Ciencias Ed. IMIQ. 211):25-33.
- Rojas, M. J. y Novelo A. (1995). Flora y vegetación acuáticas del lago de Cuitzeo, México. Act Bot. Mex. 25: 61-79.
- Romero, A.M., Colorín C.A., Sánchez S.E., Ortiz H.L., (2009). Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica. Rev. Int. Contam. Ambient. 25 (3) 157-167.
- Romero, R. J .A. (1999). Calidad del agua. 2° Edit. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. México. 273 págs.
- Romero, O.L., Ramírez V. F., Álvarez S. C., Miranda A. M. (2011) Uso de hidrófitas y un sistema anaerobio para el tratamiento de agua residual de rastro. Instituto Politécnico Nacional Distrito Federal, México. 12. págs.
- Roldán, G. (1992). Fundamentos de limnología neotropical. universidad de antioquia. medellín, colombia. 529págs.

- Ruiz, E., Martínez M., García C., Uriarte J. A., (2005) Transporte y degradación de nitratos en suelos del humedal de Salburua (país vasco) Departamento de Ingeniería Química y del Medio Ambiente, Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea.6 pág.
- Sánchez, P. J.M., García L.C., Antigüedad I., (2003). Eliminación de nitratos por desnitrificación en la zona no saturada del suelo en un humedal del cinturón peri-urbano de vitoria-Gasteiz. Vol. VI.
- Sánchez, R. R. (2011). Evaluación del humedal artificial de Hostería Cuichocha, utilizado para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Tesis de Licenciatura, escuela politécnica nacional.
- Sepúlveda, L. A., Geissen V., Ochoa G. S., Jarquín S. A., Hernández de la Cruz S., Capetillo E. y Zamora-Cornelio L.F. (2009). Influencia de tres tipos de vegetación ribereña en el control de la erosión fluvial en Pantanos de Centla, México. Revista de Biología Tropical 57(4):1153-1163
- Tejada, J. (2007). Depuración de aguas residuales agro-pecuarias mediante humedales artificiales, en el Caribe de Costa Rica. III Congreso Iberoamericano sobre Desarrollo y Ambiente
- Urquiza, M. (2005). Instalación de un humedal experimental para el tratamiento de las aguas residuales de la Comunidad de Cucuchucho, Mpio. de Tzintzuntzan, Michoacán. 1º Foro Académico de la DES de Ingenierías y Arquitectura de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
- Vázquez, C.A. y Pinilla G.A. (2007). Descripción del estado trófico de diez humedales del altiplano cundiboyacense. Revista de la Facultad de Ciencias .Vol. 11, N° 2, 61-75.
- Vera, A. A. y Flores C. E. (2010). Remoción de nutrientes y materia orgánica en un humedal construido en función del desarrollo de la

macrófitas *Typha dominguensis* Pers. *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia*, Vol.33, no.2, p.153-163. ISSN 0254-0770.

- Villaseñor, G. y López E. (1994). Avifauna y vegetación acuática del lago de Cuitzeo, Michoacán. *Acta Botánica Mexicana*, 31,1-17.
- www.ramsar.org
- <http://suma.michoacan.gob.mx/>
- WWW.epa.gov/vital/what.html
- www.imta.gob.mx