



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES SOBRE LOS RECURSOS NATURALES

**“PROPIEDADES SORTIVAS DEL HUMEDAL  
RAMSAR-PÁTZCUARO”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRA EN CIENCIAS EN LIMNOLOGÍA Y ACUACULTURA

PRESENTA:

BIOL. YASMÍN HERNÁNDEZ LINARES

Directora de Tesis:

M.C. MARTHA BEATRÍZ RENDÓN LÓPEZ

Morelia, Michoacán, México, Noviembre 2012.



## **DEDICATORIA**

**A mi esposo Raúl e hijo Mateo: Porque son el motor que mi vida necesita para superarme.**

**A mis padres José Alfonso y Manuela por sus consejos y apoyo para seguir siempre con lo que me gusta.**

**A mis suegros Adela Gaona y Arnulfo Pérez.**

## **AGRADECIMIENTOS**

**Al Instituto de Investigaciones sobre los Recursos Naturales, por el gran apoyo a lo largo de toda mi estadía desde mi servicio social, tesis de licenciatura y maestría.**

**Al COECYT por la beca que se me otorgo para la realización de esta investigación.**

**Al Dr. Fernando Bernal Brooks por su apoyo incondicional para la mejora de esta tesis.**

**Al Dr. Alberto Gómez-Tagle Rojas por sus enseñanzas y su apoyo en el transcurso de la tesis.**

**A la Biol. Susana García Villa por su amistad, y apoyo en mi vida personal y compañía en todos estos años de conocernos.**

**A los integrantes de la mesa revisora conformados por la Dra. Gloria Lariza Ayala Ramírez, Dr. Everardo Barba Macías, Dr. Alberto Gómez-Tagle Rojas y la M.C. Martha Beatriz Rendón López, por su apoyo en el seguimiento y realización de la tesis.**

## CONTENIDO

	Página
RESUMEN-----	7
I. INTRODUCCIÓN-----	8
II.ANTECEDENTES-----	13
2.1. Humedales en el mundo -----	13
2.2. Humedales mexicanos -----	19
2.3. Humedales michoacanos-----	24
III.OBJETIVOS-----	28
3.1. Objetivo general -----	28
3.2. Objetivos particulares -----	28
IV.PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN-----	29
V. HIPÓTESIS -----	30
VI.DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO-----	31
6.1. Localización geográfica-----	31
6.2.Fisiografía-----	32
6.3.Geología -----	33
6.4. Edafología-----	33
6.5.Clima-----	36
6.6.Hidrología superficial -----	37
6.7.Uso de suelo y vegetación -----	38
6.8.Vegetación acuática-----	40

<b>6.9.Ictiología</b> -----	<b>40</b>
<b>6.10. Asentamientos humanos</b> -----	<b>41</b>
<b>VII. MATERIALES Y MÉTODOS</b> -----	<b>43</b>
<b>7.1.Sitios de muestreo</b> -----	<b>43</b>
<b>7.2.Análisis fisicoquímico de agua superficial</b> -----	<b>45</b>
<b>7.3.Trabajo de laboratorio</b> -----	<b>46</b>
<b>7.4. Análisis fisicoquímico de sedimentos</b> -----	<b>48</b>
<b>7.5. Propiedades sortivas</b> -----	<b>50</b>
<b>7.6.Análisis estadístico</b> -----	<b>51</b>
<b>VIII.RESULTADOS</b> -----	<b>52</b>
<b>8.1.Composición fisicoquímica del agua</b> -----	<b>52</b>
<b>8.2.Composicion fisicoquimica de sedimentos</b> -----	<b>67</b>
<b>8.3.Capacidad sortiva del humedal</b> -----	<b>73</b>
<b>IX.DISCUSIÓN</b> -----	<b>82</b>
<b>X.CONCLUSIONES</b> -----	<b>89</b>
<b>XI.RECOMENDACIONES</b> -----	<b>91</b>
<b>XII.LITERATURA CITADA</b> -----	<b>93</b>
<b>XIII.ANEXOS</b> -----	<b>105</b>

## CONTENIDO DE TABLAS

	Página
<b>Tabla 1.</b> Coordenadas UTM de las estaciones del área de estudio -----	<b>44</b>
<b>Tabla 2.</b> Parámetros fisicoquímicos del humedal Sur Ramsar Pátzcuaro-----	<b>56</b>
<b>Tabla 3.</b> Dominancia de variables de agua en lluvia-----	<b>66</b>
<b>Tabla 4.</b> Dominancia de variables de agua en sequia-----	<b>66</b>
<b>Tabla 5.</b> Porcentaje anual de textura del sedimento en la frontera terrestre (FT), humedal (H) y frontera acuática (FA) en el humedal Ramsar-Patzcuaro.----	<b>71</b>
<b>Tabla 6.</b> Dominancia de variables de sedimento en lluvia y sequia -----	<b>72</b>
<b>Tabla 7.</b> Porcentaje de absorción en las diferentes fronteras del humedal----- -----	<b>74</b>
<b>Tabla 8.</b> Porcentaje de absorción en sequia del humedal Ramsar-Pátzcuaro----- -----	<b>79</b>
<b>Tabla 9.</b> Porcentaje de absorción en lluvia del humedal Ramsar-Pátzcuaro----- -----	<b>79</b>

## CONTENIDO DE FIGURAS

	Página
<b>Figura 1.</b> Localización geográfica del humedal Ramsar Pátzcuaro de Morelia Michoacán. Escala aproximada: 1:100 000-----	31
<b>Figura 2.</b> Fisiografía del área de influencia del humedal Ramsar-Pátzcuaro --	32
<b>Figura 3.</b> Geología del área de influencia del humedal Sur Ramsar-Pátzcuaro-- -----	35
<b>Figura 3.</b> Edafología del área de influencia del humedal Sur Ramsar-Pátzcuaro -----	35
<b>Figura 4.</b> Climograma del año que se realizo el estudio del humedal Ramsar-Pátzcuaro (CONAGUA, 2010).-----	36
<b>Figura 5.</b> Hidrología superficial del área de influencia del humedal Ramsar-Pátzcuaro.-----	39
<b>Figura 6.</b> Uso de suelo y vegetación de los alrededores del humedal Ramsar-Pátzcuaro-----	39
<b>Figura 7.</b> Asentamientos humanos de los alrededores del humedal Ramsar-Pátzcuaro-----	42
<b>Figura 8.</b> Polígono de la zona RAMSAR 1447 (línea amarilla) Humedal Sur del lago de Pátzcuaro, Michoacán, México-----	43
<b>Figura 9.</b> Triángulo de texturas de Folk y Ward-----	49
<b>Figura 11.</b> Distribución del potencial de hidrógeno en el humedal Ramsar-Pátzcuaro-----	52
<b>Figura 12.</b> Relación de la conductividad con los sólidos disueltos totales-----	53
<b>Figura 13.</b> Distribución del oxígeno disuelto en el humedal Ramsar-Pátzcuaro-- -----	54
<b>Figura 10.</b> Distribución de la dureza total en el humedal Ramsar-Pátzcuaro---	55
<b>Figura 15.</b> Distribución anual de los sólidos suspendidos totales en el humedal Ramsar-Pátzcuaro-----	57

<b>Figura 16.</b> Relacion de los sólidos suspendidos totales y la turbidez en la temporada de sequia y lluvia en el humedal Ramsar-Pátzcuaro-----	<b>59</b>
<b>Figura 17.</b> Distribución de los nitratos, nitritos y amonio en temporada de lluvia y sequia en el humedal Ramsar-Pátzcuaro-----	<b>61</b>
<b>Figura18.</b> Distribución de la demanda bioquímica de oxigeno por temporada y por zonas del humedal Ramsar-Pátzcuaro-----	<b>62</b>
<b>Figura 19.</b> Distribución de la demanda química de oxigeno por temporada y por zonas del humedal Ramsar-Pátzcuaro-----	<b>63</b>
<b>Figura 20.</b> Imagen del agrupamiento de los sitios de muestreo de acuerdo a las variables fisicoquímicas de agua en la temporada de lluvia, en el humedal Ramsar-Pátzcuaro-----	<b>65</b>
<b>Figura 21.</b> Imagen del agrupamiento de las estaciones de acuerdo a las variables fisicoquímicas de agua en la temporada de sequia, en el humedal Ramsar-Pátzcuaro-----	<b>65</b>
<b>Figura 22.</b> Porcentaje de humedad de sedimento por temporada y por zonas del humedal Ramsar-Pátzcuaro-----	<b>67</b>
<b>Figura 23.</b> Concentracion de la materia orgánica y fósforo total en sedimento en la temporada de lluvia y sequia en el humedal Ramsar-Pátzcuaro-----	<b>69</b>
<b>Figura 24.</b> Distribución del nitrógeno orgánico en sedimentos en la temporada de lluvia y sequia en el humedal Ramsar-Pátzcuaro-----	<b>69</b>
<b>Figura 25.</b> Agrupamiento de las estaciones de acuerdo a las variables fisicoquímicas en sedimento en la temporada de lluvia, en el humedal Ramsar-Pátzcuaro-----	<b>71</b>
<b>Figura 26.</b> Agrupamiento de las estaciones de acuerdo a las variables fisicoquímicas en sedimento en la temporada de sequia, en el humedal Ramsar-Pátzcuaro-----	<b>72</b>
<b>Figura 27.</b> Porcentaje de la capacidad sortiva en el humedal Ramsar-Pátzcuaro-----	<b>73</b>
<b>Figura 28.</b> Porcentaje de la eficiencia total del humedal Ramsar-Pátzcuaro----	<b>74</b>
<b>Figura 29.</b> Porcentaje de eficiencia por fronteras del humedal del fósforo total y ortofosfato-----	<b>75</b>

<b>Figura 30.</b> Porcentaje de eficiencia por fronteras del humedal de nitratos, nitritos y amonio-----	<b>76</b>
<b>Figura 31.</b> Porcentaje de la concentracion de clorofila entre fronteras-----	<b>76</b>
<b>Figura 32.</b> Porcentaje de eficiencia por fronteras del humedal de sólidos suspendidos totales (SST), sólidos disueltos totales (SDT) y sólidos sedimentables (SS) -----	<b>77</b>
<b>Figura 33.</b> Porcentaje de la capacidad sortiva de nitrógeno total (NT) y fósforo total (FT) por fronteras-----	<b>78</b>
<b>Figura 34.</b> Porcentaje de absorción en sequia y lluvia en el humedal Ramsar-Pátzcuaro-----	<b>79</b>
<b>Figura 35.</b> Esquema de sortividad en lluvia-----	<b>80</b>
<b>Figura 36.</b> Esquema de sortividad en sequia-----	<b>81</b>

## RESUMEN

La pérdida y degradación de los humedales ha ocasionado la disminución de los beneficios y funciones ligados a los servicios ambientales, que proveen. Una función fundamental de los humedales es mejorar la calidad de agua que ingresa y egresa a otros acuíferos como es el caso del humedal sur del Lago de Pátzcuaro declarado como sitio RAMSAR. Por lo anterior el presente trabajo está orientado a evaluar las propiedades sortivas del humedal y su capacidad como captador de agua para la zona sur del lago de Pátzcuaro, con lo que se determinaron más de 10 análisis fisicoquímicos de acuerdo a los métodos APHA 2005, para lo cual se consideraron 25 estaciones al inicio del humedal, en medio y en el lago. Los resultados indican que el promedio anual de la temperatura del agua es de 21.7 °C, el potencial de hidrógeno de 8.3, la alcalinidad total de 242.8mg/L, la dureza total de 277.7 mg/L. El promedio de la conductividad es de 1,428.8  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . El oxígeno disuelto del agua en el humedal es de 5.6 mg/L sin variaciones de éste gas a través del humedal. Los sólidos suspendidos totales con una concentración de 499.6 mg/L, mientras que los sólidos disueltos totales son de 908.8 mg/L. En cuanto a la clorofila *a* se reporta una concentración de 20.8 mg/m<sup>3</sup>, mientras que el fósforo total es de 468.1 $\mu\text{g}/\text{L}$  y ortofosfato de 168.7  $\mu\text{g}/\text{L}$ . El promedio de nitratos es de 24.34 mg/L y los nitritos de 0.08 mg/L, a diferencia del amonio de 0.01 mg/L. La demanda química de oxígeno es de 888.1 mg/L y la demanda bioquímica de oxígeno es de 171.6 mg/L. El humedal absorbe un 67 %de nitrógeno total y un 50 % de fósforo total. Además El humedal es capaz de depurar el agua, eliminando grandes cantidades de materia orgánica, sólidos, nitrógeno, fósforo y, en algunos casos, productos tóxicos. Los datos mostraron que el humedal funciona como un filtro natural y las entradas por otras vías están alterando las aguas del lago.

**Palabras Clave:** Humedal, propiedades sortivas, Pátzcuaro

## I. INTRODUCCIÓN

A partir de los años sesenta 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 uso sostenible racional de los humedales, a través de la acción nacional y mediante la cooperación internacional.

En dicha reunión se acordó la definición de humedales como: *“Ecosistemas tanto naturales como artificiales que se caracterizan por estar temporal o permanentemente inundados ya sea por aguas dulces, estuarinas o salinas estos pueden estar estancados o ser corrientes e incluyen las regiones ribereñas, costeras y marinas que no excedan los seis metros de profundidad con respecto al nivel medio de las mareas bajas”*.

Los humedales se describen como zonas de transición entre los ambientes estrictamente terrestres y aquellos de aguas 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).

La convención Ramsar reconoce cinco tipos de humedales principales:

1. Marinos (humedales costeros, inclusive lagunas costeras, costas rocas y arrecifes de coral).
2. Estuarinos (incluidos deltas, marismas de marea y manglares).
3. Lacustres (humedales asociados con lagos)
4. Ribereños (humedales adyacentes a ríos y arroyos).
5. Palustres (es decir pantanosos, marismas, pantanos y ciénagas).

Además, existen humedales artificiales, como estanques de cría de peces y camarones, estanques de granjas, tierras agrícolas de regadío, depresiones inundadas salinas, embalses, estanques de grava, piletas de aguas residuales y canales.

Las características particulares de los humedales varían de acuerdo al suelo, topografía, clima, biodiversidad, hidrografía, química del agua, sedimentos, vegetación y la actividad humana regional o local (Ayala-Carcedo, 2002), por lo tanto es posible identificar cuatro factores que dan sustento a un humedal:

a) el ambiente físico o geomorfología de la superficie determina la distribución, forma y tamaño de los humedales; b) la hidrología regional es el factor abiótico más importante y está relacionada con los factores climáticos que determinan el balance hídrico; c) el sustrato, predominantemente formado con un tipo de suelo hídrico y se encuentra totalmente saturado e incluso cubierto de agua y, d) la vegetación acuática 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 sistemas (Dodds, 2002).

Contreras (1993); Mitsch y Gosselink (2000) comentan que durante muchos años, los humedales fueron considerados lugares peligrosos y sin valor económico para el desarrollo del hombre. La imagen presente en la cinematografía mundial de una típica zona pantanosa evocaba situaciones de miedo, misterio, y de lugares llenos de insectos y de otros animales indeseables.

Fue tal vez ésta idea de que eran tierras inútiles lo que evocó el mal uso y abuso de los humedales, a tal grado de modificar sus regímenes hidrológicos y ciclos de nutrientes, así como de contaminarlos, azolvarlos o destruirlos.

Mitsch y Goselink (2000) en su estudio de humedales herbáceos de agua dulce mencionan la importancia de estos ecosistemas, se ha calculado que cubren una extensión de 7 a 9 millones de km<sup>2</sup>, lo cual equivale al 4-6 % de la superficie terrestre, en donde el 2 % son lagos, el 30 % turberas, el 26 % manglares, el 20 % pantanos y el 15 % llanuras de inundación.

En donde de la superficie total de humedales, el 60% está cubierta por comunidades con vegetación arbórea.

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 en la regulación hídrica y de los ciclos hidrogeoquímicos (Mitsch y Gosselink, 2002; Casas *et.al.* 2003).

Los humedales se encuentran conectados a acuíferos, en donde existe la circulación de agua a través de ellos, la función de estos es facilitar el ingreso de agua, debido a que durante las etapas húmedas contribuyen a infiltrar el agua superficial e incrementan los niveles del agua subterránea, esta conexión entre el humedal y las aguas superficiales y subterráneas es esencial para un funcionamiento eficiente del ciclo hidrológico (Dodds, 2002).

El agua de los humedales mantiene una fuerte interacción con los componentes bióticos y abióticos del ecosistema, es el vehículo por el cual nutrientes, sólidos suspendidos orgánicos e inorgánicos y bacterias son introducidos (Likens 1972) y transportados a otro ecosistema, como ocurre en los humedales ribereños o de litoral que a menudo actúan como sistemas de amortiguación entre la zona terrestre y acuática.

El régimen hídrico a menudo es muy alterable y las actividades de extracción de agua interfieren generalmente en su equilibrio y permanencia (Álvarez, 2005).

La pérdida y degradación de los humedales puede ocasionarla disminución de los servicios ambientales que ofrecen como la filtración del agua, trampas de sedimento, control de inundaciones y erosión, transformación de materia orgánica, además de la captura de carbono (Dodds, 2002). Uno de los problemas ambientales más graves del país se encuentra en la contaminación del agua, sea ésta directa o indirecta, como una consecuencia del efecto de residuos de actividades agrícolas o pecuarias (Vázquez, 1993) que se descarga en los humedales, lo que resulta en su deterioro o pérdida.

Los humedales han sido descritos como filtros ecológicos, como purificadores biológicos de agua proveniente de la cuenca o de efluentes, por lo que son propuestos como sistemas naturales de pre-tratamiento, con solamente una fracción del costo de construcción y operación de una planta de tratamiento convencional (García, 2003). Por lo tanto es importante destacar las propiedades de absorción y transformación de compuestos del componente vegetal de los humedales mediante el proceso y dinámica de los ciclos biogeoquímicos; regulando así la calidad del agua (Verhoeven *et al*, 2007). Esta capacidad de absorción o sortiva no se ha determinado, además de que se ha detectado un deterioro progresivo por la presión de las actividades antropogénicas. Uno de los aspectos que permite la existencia del humedal es la incorporación de flujo de agua, por lo que es importante conocer la cantidad y calidad del agua que ingresa y egresa del humedal.

Los humedales tienen la capacidad sortiva (o absorción) que se define como la remoción de contaminantes, esto es debido al flujo laminar característico y la resistencia proporcionada por las raíces y las plantas flotantes. Además esta capacidad da lugar a la retención a corto plazo o a la inmovilización a largo plazo de varias clases de contaminantes. La sortividad es un término ampliamente definido para la transferencia de los iones (moléculas con cargas positivas o negativas) a partir de la fase de la solución (agua) a la fase sólida (suelo). La sortividad describe realmente un grupo de procesos, que incluye reacciones de adsorción y de precipitación. La adsorción se refiere a la unión de iones a las partículas del suelo, por intercambio catiónico o absorción química.

A pesar de que la capacidad sortiva que tenga el humedal pueda significar mejorar la calidad y cantidad de agua que ingresa a sistemas lenticos (lagos) no se ha dado seguimiento al desarrollo de planes de manejo adecuados y con un enfoque de unidad productora de agua. Es decir, que puedan aprovecharse los servicios ambientales, ya que se ha identificado que estos humedales en interacción con los lagos son de suma importancia para mantener el nivel de la

columna de agua, lo que ayudara mejorar las condiciones del lago de Pátzcuaro.

Al igual que otros sistemas de humedal, en Pátzcuaro se presenta problemas de descargas de agua sin tratar de diferentes actividades y azolve, resultando en el deterioro de calidad del agua e impactando las comunidades biológicas.

Por lo anterior, es importante el conocimiento de la capacidad sortiva que ofrece el humedal como una posible alternativa de pre-tratamiento para mejorar la calidad de agua que ingresa a la zona sur del lago de Pátzcuaro, de tal manera que se permita mantener la zona de humedal para el mantenimiento de los procesos bioquímicos entre los sistemas terrestre-humedal-acuático. Así como contar con acciones que regulen el uso de agua en las actividades productivas y así el humedal aportarte agua con una mayor calidad y cantidad hacia el lago de Pátzcuaro. Por lo tanto, es de fundamental importancia saber el funcionamiento del humedal y los servicios ambientales que este provee , como es el suministro de agua de mejor calidad, y así aportar condiciones para mantener el nivel de agua del lago.

## II. ANTECEDENTES

### 2.1. Humedales en el mundo

Montoya *et. al.* (2010) establecieron que los humedales artificiales son una tecnología prometedora en reducir la contaminación por aguas residuales; investigaron 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 construidos de flujo subsuperficial horizontal, a escala piloto, sembrados con tres diferentes macrófitas: (achira) *Canna limbata*, (platanillo) *Heliconia psittacorum* y (plumerito) *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 DBO<sub>5</sub> 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 DBO<sub>5</sub> 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 construidos.

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.

En donde el mismo autor menciona que 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.

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 nitrógeno fue mayor en el material muerto en pie, seguido de las hojas, las inflorescencias y los tallos. El contenido total de nitrógeno 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 nitrógeno 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.

López *et al.* (2008) realizaron un estudio en el Embalse Paso de las Piedras Argentina, única fuente de abastecimiento de agua potable para los 500,000 habitantes de las ciudades de Bahía Blanca. En el cual se construyó un humedal artificial en donde se trasplantaron 350 ejemplares juveniles de *Senecio bonaeriensis* (margarita de campo o margarita de bañado).

El mismo autor menciona que debido a la fricción del agua con la masa vegetal, esta reduce su velocidad contribuyendo a la precipitación de los sólidos suspendidos, sedimentables y absorción de nutrientes. En donde la concentración promedio de nitrógeno por planta en el humedal se triplicó a la del ambiente natural, mientras que la de fósforo se duplicó, así que se llegó a la conclusión de que las concentraciones de fósforo y nitrógeno en el humedal artificial la consideran como un adecuado agente de fito-remediación para las aguas eutrofizadas del arroyo el Divisorio.

Palomino y Cabrera (2008) cuantificaron en Puerto Viejo, Perú; la captura de carbono almacenado en plantas como (grama salada) *Paspalum vaginatum* Swartz, (la Salicornia) *Salicornia fruticosa* Linneo, (la totora) *Schoenoplectus californicus*, y (junco) *Scirpus americanus*. En éste estudio la especie que más captó CO<sub>2</sub> es la totora con 73.7 t CO<sub>2</sub>/ha, esto puede deberse a que esta especie es cortada anualmente, por lo tanto se produce un nuevo almacenamiento de carbono, la segunda es el junco con 40.6 t CO<sub>2</sub>/ha, en la grama salada y en la Salicornia, la cantidad de captura de carbono es menor.

Márquez *et. al.* (2007) estudiaron la presencia del nitrógeno y fósforo total en el sedimento de la laguna de Los Patos, Venezuela, en donde se reporta una profundidad de 0.40 a 1.00 m, semejante a la de los humedales. Los resultados mostraron niveles altos de nitrógeno y fósforo total que alcanzaron de 1380.63 mg/kg y 950.63 mg/kg, respectivamente; en las inmediaciones de la planta de tratamiento de aguas servidas, situada en el extremo sur de la laguna. Además se determinó que el 48.73% del fósforo se encuentra en forma orgánica y en un 13.89% como fósforo absorbible reportaron también un 13.54% de fosfato de hierro, 7.35% de fósforo moderadamente lábil y por último 6.87% en su forma refractaria. Las relaciones nitrógeno/fósforo alcanzaron valores de 9.58, en conjunto con los altos porcentajes de fósforo orgánico, y revelan una fertilidad de tipo orgánico.

Núñez *et. al.* (2006) evaluaron la eficiencia de un humedal para el efluente 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 (espadaña) *Typha dominguensis* y una celda de control sin vegetación. El sistema fue de flujo superficial con alimentación continua y un caudal de entrada de 2,15 m<sup>3</sup>/d. Los porcentajes de remoción para el humedal construido fueron: turbidez 64.94, sólidos suspendidos totales 64.32, demanda química de oxígeno 52.3, y demanda bioquímica de oxígeno 57.5. No hubo remoción de fosforo total ni de amonio. Los porcentajes de remoción para el control fueron: turbidez 3.866, sólidos suspendidos totales 43.09, demanda química de oxígeno 22.75, demanda bioquímica de oxígeno 27.86, fosforo total 15.4y amonio 24.07. 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.

Lahora (2005) estudio la depuración de aguas residuales mediante humedales artificiales en Almería, España, donde los sólidos suspendidos son disminuyen en los primeros cinco metros con valores de 20mg/L. En éste estudio se observo que la DBO<sub>5</sub>, disminuye rápidamente por sedimentación y filtración de partículas en los espacios entre la grava y raíces, así como por los organismos que crecen en la superficie de la grava, raíces y rizomas de las plantas. Además observaron que la eliminación del nitrógeno se da mediante procesos anaerobios y la cosecha frecuente de la vegetación. Sin embargo, la eliminación del fosforo a través de los humedales fue poco efectivo, excepto si se usan grandes cantidades de grava rica en hierro y aluminio por la precipitación del fosforo unido con oxido de hierro donde en el suelo se produce el almacenamiento del fosforo a largo plazo.

Ruiz *et al.* (2005) estudiaron el transporte y degradación de los nitratos en el humedal de Salburua, España. Los resultados mostraron un alto contenido en materia orgánica, y ligero contenido en nitrógeno amoniacal y nitrógeno en forma de nitratos en el sedimento.

La relación carbono/nitrógeno fue alta con 8.67 en la parte inferior de la columna debido al bajo contenido en nitrógeno total. Mencionan que la textura arcillosa del suelo junto con el alto contenido de materia orgánica podría argumentar la capacidad de este suelo para sufrir reacciones de nitrificación-desnitrificación. Bajo condiciones de flujo alto, el amonio y el nitrato, las pérdidas estarían asociadas a reacciones de desnitrificación, dada la disminución del nitrógeno mineral del suelo y del nitrógeno orgánico. Dicha desnitrificación es especialmente importante en el tratamiento de amonio y Nitrato, con valores de 0.884 y 0.669 mg N/día\*kg suelo seco, respectivamente.

Zúñiga (2002) evaluó el proceso de depuración de aguas residuales municipales en seis humedales artificiales construidos en Chile, con grava y gravilla además del efecto de dos macrófitas (junco) *Scirpus* y (espadaña) *Typha latifolia*, sobre la remoción de materia orgánica y nutrientes en la corriente de entrada y salida. Obtuvo eficiencia de remoción de materia orgánica y amonio mayor al 50 % para el fósforo la máxima eficiencia de remoción fue de 30%. Los resultados del análisis de varianza indican que existen diferencias en la remoción en las diferentes estaciones del año. Se obtuvo que la remoción de materia orgánica en los sistemas con *Scirpus* creciendo en grava y gravilla fue superior al 55 %. La remoción de amonio se logró en los sistemas *Typha*/gravilla con un 48% y en *Scirpus*/grava con un 46 %. La remoción de fósforo en el sistema *Typha*/gravilla fue del 32%, y en el caso de *Scirpus* creciendo tanto en grava como en gravilla se reportó una remoción del 28 y 27 %, respectivamente. A partir de los resultados se concluyó que la mayor remoción de amonio se logró con *Scirpus* y grava. La remoción de amonio y fósforo se debe principalmente a la incorporación por parte de las macrófitas y en menor cantidad por microorganismos nitrificantes y evaporación.

Viñals *et al.* (2001) estudiaron el humedal Hondo de Elche en España demostrando que tanto las aguas de los embalses de El Hondo como las de las charcas son mesohalinas, siendo estas últimas más salinas (9 g/L frente a las 3-3,5 gr/L de El Hondo). Los nitratos que provienen de los canales de drenaje agrícola alcanzan concentraciones de 100mg/L en los embalses y <10 mg/L en las charcas, el ortofosfato presenta una mayor concentración en las aguas de entrada de los embalses (<30 mg/L) que en las charcas (<10mg/L) probablemente como consecuencia de su incorporación por parte del fitoplancton y la vegetación macrofita. Además las concentraciones de están influidas por el régimen alternante de inundación-desección y por las quemas de carrizo momentos en los que se liberan nutrientes. Este hecho da lugar, en el canal, a concentraciones elevadas de clorofila propias de aguas eutróficas (100mg/L) en los meses primaverales y estivales, y en algunos canales de desagüe con fuerte aportación de nutrientes y sedimentos se encontraron concentraciones de hasta 1,200mg/L (propios de aguas hipertróficas). También se observó un incremento de los valores desde el año 1992-93 a 1995, atribuible a una menor sequía y mayor renovación de aguas en el humedal.

Pérez *et al* (2000) estudiaron en España el uso de humedales como depuradores naturales de aguas residuales con respecto a la sedimentación como mecanismo de depuración de agua. 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. Los suelos orgánicos y minerales no mostraron diferencias significativas en cuanto a sus características. Reportaron 0.6 % en peso seco, en los suelos orgánicos se encontró aproximadamente el doble de Nitrógeno (17% en peso seco) que en suelos minerales (8% en peso seco). Sin embargo, la concentración de fosforo para ambos tipos fue de 0.6 % en peso seco. La acumulación de nutrientes (nitrógeno y fósforo) por la vía de la sedimentación es mayor en suelos minerales que en suelos de origen orgánico.

## 2.2. Humedales mexicanos

Romero-Ortiz *et. al.*(2011) evaluaron la eficiencia de remoción de amonio, ortofosfatos y nitritos por (lirio de agua) *Eichhornia crassipes*, (lenteja de agua) *Lemna gibba* y (milhojas acuáticas) *Myriophyllum aquaticum* en un rastro ubicado en la carretera Federal México –Puebla km 21, las plantas se alimentaron con diferentes lotes de tratamiento fisicoquímico (SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> de agua residual del rastro. Encontraron que el ortofosfato disminuye a través del tiempo hasta valores cercanos a 20 mg/L, a diferencia de los nitratos cuando se alimenta el reactor sin tratamiento fisicoquímico aumenta la concentración de NO<sub>3</sub> y disminuye cuando se alimenta el reactor con tratamiento fisicoquímico; esto está relacionado con la cantidad de materia orgánica. La captura de amonio del efluente del reactor 2, por las diferentes hidrófitas fue de 98% con *Lemna gibba* y *Eichhornia crassipes* y de 100% con *Myriophyllum aquaticum*. La remoción de ortofosfatos del efluente del reactor 2, solamente se dio en un 63% con *Myriophyllum aquaticum*.

Sepúlveda-Lozada *et.al.* (2009) cuantificaron las pérdidas de suelo por erosión fluvial (2006-2008) en los humedales de la Reserva de la Biósfera Pantanos de Centla, en dos cauces de ribera con cobertura de (palo de Campeche) *Haematoxylum campechianum*, (palo tinto) *Dalbergia brownei* y (pasto barrera) *Brachiaria mutica*. Relacionaron la textura, materia orgánica y potencial de Hidrógeno (pH) de los suelos con la pérdida de los mismos. La tendencia principal de las pérdidas de suelo por tipo de cobertura vegetal se dio en el orden *H. campechianum*>*B. mutica*>*D. brownei*. Los suelos con pH más bajo presentaron los contenidos más altos de materia orgánica, los sitios con bajo concentración de materia orgánica fueron altos en su cantidad de arena. Relacionaron el mayor impacto erosivo en sitios con *H. campechianum* con la textura arenosa y el grado de perturbación de los sitios. Reconocieron la importancia de los matorrales de *D. brownei* en la retención de suelos ribereños, sin embargo, menciona que 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 en morfología.

García *et.al.* (2009) determinaron la eficacia de los humedales de flujo superficial en la mejora de la calidad del agua de origen mixto (urbano e industrial) en Pátzcuaro y su efecto en la revalorización de dicho recurso para uso de irrigación posterior, estudiaron el comportamiento de tres lechos plantados con (carrizo) *Phragmites australis* (Cav.) Trin. Ex Steud. Observaron que este tipo de sistemas presenta una capacidad elevada para reducir las concentraciones de sólidos suspendidos totales (60%), nitratos, nitritos y nitrógeno (70%). Concluyeron que la causa principal de la eliminación de nitrógeno son los procesos de desnitrificación que se producen en el sedimento.

De la Lanza *et. al.* (2008) evaluaron los principales parámetros fisicoquímicos en la Laguna de Tres Palos con el objetivo de evaluar la calidad ambiental y estado trófico, en donde los máximos niveles de oxígeno se encontraron en junio con 19.9mg/l y el mínimo en octubre con 4.3mg/L , la concentración máxima de fósforo también se registro en junio con 29.4 $\mu$ M de fosfato, el contenido de fósforo total en sedimento fue alto oscilando entre 1,610 a 2,949  $\mu$ g g<sup>-1</sup> donde se concluyo que el sedimento es una fuente potencial de fosforo con tendencia a la eutrofización. Los niveles de amonio fueron altos en mayo con 41.4 $\mu$ M y al mínima en junio con 126.4 $\mu$ M , en mayo el contenido de nitrógeno total fue bajo con 21.4 $\mu$ M y en junio y octubre alcanzaron valores mayores a 100 $\mu$ M , la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) en mayo acilo entre 43.5mg/L y 102.2 mg/L , en junio de 43.6mg/L y 106 mg/L y en octubre de 57.2mg/L a 105mg/L , lo anterior se puede asociar con las descargas de agua residuales que provienen de asentamientos humanos en la periferia de la laguna, la demanda química de oxígeno (DQO) fue alta en mayo y junio con un intervalo entre 102 y 476mg/L, en donde se concluye que los valores de DQO fueron más altos que los de DBO lo que señala la presencia de materiales no biodegradables donde corresponden a aguas contaminadas. Los altos valores de DQO y DBO y la gran abundancia de algas confirman un estado hipertrófico de Tres Palos.

Berlanga *et.al.* (2007) proponen un esquema para la clasificación de los humedales de 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.

Ramos *et.al.* (2007) evaluaron la calidad del agua obtenida de humedales artificiales en Xochimilco, México y el efecto del agua tratada sobre las primeras etapas de crecimiento de sorgo (*Sorghum bicolor* cv. D65) y maíz (*Zea mays* cv. DK 2002). En éste estudio todos los parámetros disminuyeron. El potencial de Hidrógeno disminuyó de 8.33 a 7.29, así como la demanda química de oxígeno (DQO) de 416 a 120 mgO<sub>2</sub>/l, el nitrito de 0.234 a 0.040 mg/l, el amonio 1.451 a 0.0003 mg/L y el fosfato de 10.3 a 2.3 mg/L, excepto el nitrato que se incremento de 0.60 a 0.82 mg/l y la conductividad eléctrica de 34.4 a 66.4 µS/cm y la concentración de sales.

De Anda y Maniak (2007), Estimaron las tasas de sedimentación en el Lago de Chapala mediante técnicas isotópicas para la acumulación del fósforo (P) y fosfatos (PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>). Concluyeron que el lago actúa como una fuente de P gracias al aporte interno procedente de los sedimentos. Mencionan que existe menos P-total que sale del lago en comparación a las entradas, lo cual indica que actúa como una fuente de fósforo. La tasa de acumulación mensual de P-total del sistema es de 34,510.38ton, y hasta antes de 1983, el lago tenía la capacidad de transformar más P-total del que recibía de fuentes externas. Actualmente se refleja una tasa de acumulación mensual de PO<sub>4</sub><sup>-3</sup> en la columna de agua y en los sedimentos de 23,334.11ton. Por lo tanto, se deduce que la relación PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>/P-total es de 67.6% lo que significa que del P-total presente en el lago, dos terceras partes se encuentran en forma de PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>, el cual tiene mayor biodisponibilidad para la cadena trófica.

Rodríguez-Monroy y Durán-de- Bazúa (2006) estudio la eliminación de nitrógeno total, en un sistema de humedal artificial en México, sembró en dos reactores carrizo (*Phragmites australis*), y en otros dos tule (*Typha latifolia*) y un último sin vegetación, los resultados mostraron que el nitrógeno total presenta eficiencias de remoción entre 85.1al 93.1%, lo que le permitió concluir que en los bio-reactores con macrófitas se lleva a cabo la asimilación, nitrificación y desnitrificación.

Barba (2006) elaboró un sistema de información geográfica, en donde clasifica a los humedales de Tabasco por categorías: Los resultados mostraron que los humedales con mayor extensión en dicho estado fueron los de tipo palustre que con 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 Biósfera 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.

Arcos *et al.* (2005) estudiaron la remoción de la materia orgánica mediante la utilización de humedales artificiales en Texcoco en México, en donde se basaron en el manejo de las aguas residuales mediante humedales, mencionan que es alta la eliminación de la materia orgánica mediante la técnica de Demanda Química de Oxígeno (DQO), esta se reduce en las primeras fases del tratamiento de 1,600 mg/L a 250 mg/L, los valores del potencial de Hidrógeno (pH) son de 8, donde observaron que en las primeras etapas del tratamiento existe gran cantidad de contaminantes y el oxígeno se reduce debido a los procesos bioquímicos que realizan los microorganismos, sin embargo; existe un aumento significativo en el humedal de 5 mg/L de oxígeno lo anterior permite una mayor remoción de materia orgánica mediante los procesos de descomposición. Los autores surgieron que el agua que emite el humedal puede ser utilizada para actividades de riego, pero deberá considerarse este uso bajo la Norma Oficial Mexicana para la utilización de estas aguas para el riego de hortalizas.

Ramírez *et. al.* (2001) estudiaron un sistema de tratamiento de agua residual doméstica de lechos de macrófitas con un pre-tratamiento anaerobio en Santa Matilde en el estado de Hidalgo, para evaluar la eficiencia de remoción de materia orgánica y patógena. Los resultados demuestran que el potencial de Hidrogeno osciló entre 7.2 y 7.6, el oxígeno disuelto entre 0.68 y 0.93mg/L. Los valores promedio de remoción fueron: para la demanda bioquímica de oxígeno de 50%, sólidos suspendidos de 70% y nitrógeno amoniacal de 13%. En el estudio los autores concluyeron que los humedales son una alternativa viable para el tratamiento de las aguas residuales en comparación con sistemas mecanizados, considerando sus menores costos de operación y mantenimiento, además de que funcionan como un ecosistema que funciona para mejorar la calidad de agua.

### **2.3. Humedales michoacanos**

Lindig y Escutia (2009) estudiaron los humedales de la Mintzita en la ciudad de Morelia, en donde se identificó como vegetación abundante principalmente los tulares (espadaña) (*Typha dominguensis*), aunque se pueden encontrar otras especies dominantes formando una zonación determinada por factores abióticos relacionados con el régimen hídrico y con las concentraciones de nutrientes. En la zona destacan especies indicadoras de niveles de conservación altos para el humedal como *Carex* spp. Sin embargo, el humedal recibe descargas antrópicas de nutrientes, en particular de nitrógeno el cual favorece a *Typha dominguensis* una especie nativa que puede actuar como una especie invasora. Se detectaron gradientes entre la concentración de nitrógeno y la riqueza de especies nativas (a mayor concentración, menor riqueza de especies).

Ayala (2009) en su estudio del humedal RAMSAR-Pátzcuaro para su rehabilitación menciona que los humedales son importantes porque 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.

Ayala *et al.* (2008) evaluaron el humedal sur del lago de Pátzcuaro, donde mencionan que los resultados sugieren la presencia de aguas de infiltración, los procesos de hidrodinámica y oxigenación natural influyen en la distribución, concentración de fósforo total y nitrógeno inorgánico en el agua. Los nutrientes son retenidos en un 70% en el interior del ecosistema de humedal, sugiriendo que el humedal funciona como un filtro natural en la zona litoral además de inducir un balance hidrológico positivo, así mismo mencionan que es necesario un control de este ambiente en beneficio de la existencia del lago y diseñar modelos que fortalezcan la coexistencia del humedal con el sistema lacustre. Concluyeron que el humedal es importante porque amortigua las alteraciones que inducen las zonas de cultivo y poblaciones humanas, por lo que es necesario crear acciones como la determinación de la capacidad de carga de nutrientes, materia orgánica y sólidos para diseñar modelos de hidrodinámica, oxigenación y mejoramiento de las características del agua que fortalezcan la coexistencia del humedal con el sistema lacustre mientras que el incremento en el nivel del agua del lago puede garantizar la presencia de suelos saturados en el humedal.

Medina (2006) estudio el humedal localizado en el litoral sur del Lago de Pátzcuaro en donde se determinó la calidad de agua y la dinámica de fósforo y nitrógeno. Los datos 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. El análisis de calidad de agua sugiere, que la conductividad presenta un patrón decreciente al pasar el flujo por el humedal. Ésta disminuyó en un 25% desde la cabeza del humedal hasta la salida del humedal, es decir que existe una disminución del 27.30% de sólidos disueltos. Los sólido sedimentables son un factor que de alguna manera afectan la turbiedad de la aguas, además se observó durante el análisis que la mayoría de estos es fitoplancton y perifiton que se encuentra asociado a la vegetación clásica de los humedales.

En donde además menciona que las concentraciones de fósforo indican que el humedal interviene en la retención de este nutriente, esto significa que se retiene el 67.50% de fósforo en forma de fosfato total mejorando la calidad de agua. De manera similar sucedió con el fósforo en forma de ortofosfato. Los datos anteriores mostraron que el humedal funciona como un filtro natural y las entradas por otras vías están alterando las aguas del lago.

Rivas y Pozo (2005) estudiaron los humedales artificiales en Cucuchucho y Santa Fe de la Laguna, en Pátzcuaro Michoacán, mencionan que estos humedales artificiales están diseñados para remover sólidos suspendidos totales, materia orgánica ( $BDO_5$ ), nitrógeno total y fosfatos, así como el 100% de parásitos presentes en el agua residual, los análisis de calidad de agua se encuentran dentro de los límites establecidos por NOM-001-ECOL-1996, donde es eliminado el 93% de la  $DBO_5$ , el 81% de nitrógeno total, 71% de fósforo total y 94% de sólidos suspendidos totales.

Rojas (2002) menciona que existe una elevada contaminación del lago de Pátzcuaro debido al azolvamiento provocado por la deforestación y las prácticas agrícolas inadecuadas; los cultivos se riegan con aguas negras (habiendo tres plantas de tratamiento de aguas residuales y una nueva que no trata los fosfatos y nitratos que incluyen los agroquímicos. Añadió que se tiene una acumulación de la basura ya que no se recolecta el 33% de los desechos sólidos y los rellenos sanitarios resultan insuficientes, lo mismo ocurre con la regulación de los residuos peligrosos.

Israde y Garduño (2002) mencionan que una de las principales causas de deterioro de la calidad de agua del lago de Pátzcuaro es el uso de agroquímicos, otras de las causas está asociada a los procesos de concentración urbana y al inadecuado tratamiento de sus desechos líquidos y sólidos como los domésticos y los de actividades productivas, entre los líquidos destacan los aceites provenientes de los talleres de lavado y engrasado, los residuos peligrosos provienen de la industria alfarera principalmente de Santa Fe de la Laguna por el vertido de residuos de plomo.

Chacón (2002) menciona que en la parte sur del lago de Pátzcuaro se registraron profundidades máximas del lago de 10.25 m en la zona norte y mínimas en la zona sur de 0.15 m. Así mismo la zona sur del lago se encuentra cubierta por un gradiente de vegetación sumergida, en donde además existe la cobertura de la vegetación emergente. Los principales aportes de agua al lago son debidos a la precipitación estacional, la infiltración y los escurrimientos de la cuenca no tiene ninguna descarga hacia fuera, la principal pérdida de agua del lago es por evaporación y evapotranspiración. Además de que también existen aportes de sedimentos con azolve, producto de la deforestación y la destrucción de suelos; a él llegan también basura, aguas negras, fertilizantes, que al no tener otra salida se van acumulando y afectando las condiciones del agua.

Rivas *et al.* (2001) estudiaron los humedales como una forma de remover el fósforo, nitrógeno y coliformes fecales, de las descargas de aguas residuales de las localidades de Tzintzúntzan, Erongarícuaro, Santa Fe de la Laguna y Buenavista (municipio de Pátzcuaro) y del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Quiroga. El diagnóstico mostró un 83 % de disponibilidad de las comunidades para utilizar los humedales como alternativa de tratamiento de aguas residuales. Los resultados de coliformes se presentaron dentro del rango esperado, el nitrógeno y el fósforo (entre 4 y 15 mg/L) requieren mayores áreas de tratamiento. Concluyeron que los humedales son una alternativa viable para el tratamiento de las aguas residuales en comparación con sistemas mecanizados, considerando sus menores costos de operación y mantenimiento, por requerir mano de obra menos especializada para su operación, y por permitir obtener subproductos para su comercialización como la extracción de (espadaña) *Typha* y otras especies de ornato.

### **III. OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo General**

- ✓ Cuantificar las propiedades sortivas del humedal RAMSAR Sur del lago de Pátzcuaro.

#### **3.2 Objetivos Particulares**

- ✓ Analizar la composición fisicoquímica del agua de ingreso y egreso del humedal.
- ✓ Estimar la composición fisicoquímica de los sedimentos del humedal.
- ✓ Evaluar la capacidad de absorción del humedal.

#### IV. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

- ④ ¿Cuáles son las propiedades sortivas del humedal de Pátzcuaro de acuerdo a sus variables fisicoquímicas?
- ④ ¿Qué nutrientes retiene el humedal, cuáles elementos deja pasar y en qué porcentaje hacia el lago de Pátzcuaro?

## **V.HIPÓTESIS**

Si el humedal de Pátzcuaro funciona en la absorción de sales, sólidos y nutrientes entonces en la frontera acuática existe menor concentración de estos y presenta una tasa depurativa eficiente reflejándose en una mejor calidad de agua transportada hacia el lago de Pátzcuaro.

## VI. DESCRIPCIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

### 6.1. Localización Geográfica

El humedal con registro RAMSAR número1447 tiene una extensión de 707 ha, se encuentra situado a 53 km al Oeste de la Ciudad de Morelia, capital del estado de Michoacán; en la parte Sur del lago de Pátzcuaro entre las coordenadas **UTM (Longitud Este) X=246175, 204562 y (Latitud Norte) Y=2171501, 2145020** a una altitud de 2,036 msnm (INEGI 2008).



**Figura 11.**Localización geográfica del humedal Ramsar Pátzcuaro de Morelia Michoacán. Escala aproximada: 1:100 000.

## 6.2. Fisiografía

El humedal se encuentra rodeado por una serie de antiguos volcanes como el Estribo con una altitud de 2,406 msnm, las Estacas con 2,912 msnm, el Bosque 2,935 msnm, y Tariaquri 2,635 msnm (Figura 2). La pendiente es abrupta en una corta distancia hacia el humedal y una planicie con lomas de material volcánico (Garduño e Israde, 2002), además de una superficie agrícola. La presencia del material volcánico y la pendiente favorecen una mayor infiltración, lo cual se refleja con la presencia de manantiales (INEGI 2008).

Siguiendo un perfil altitudinal en dirección Sur, el humedal está precedido por el volcán La Taza con 2,339 msnm, una unidad geológica dominada como “malpaís” en donde se produce el ingreso de agua vía subterránea, y un extenso valle de terrenos agrícolas (Garduño e Israde, 2002).

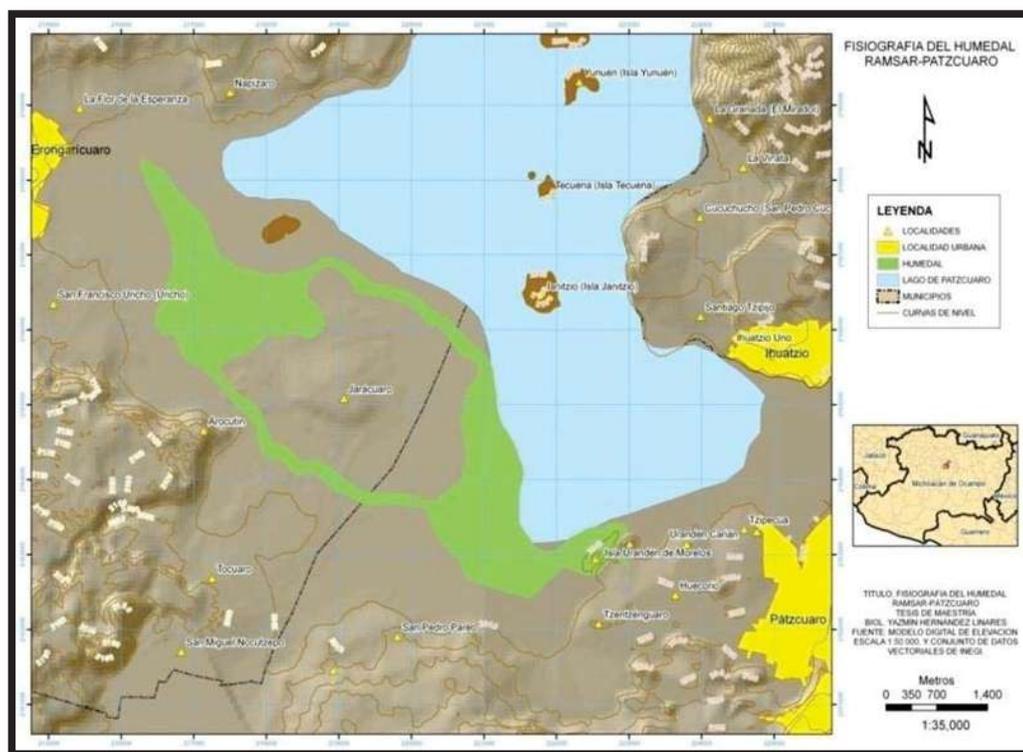


Figura 12. Fisiografía del área de influencia del humedal Ramsar-Pátzcuaro.

### **6.3. Geología**

Aunque el Altiplano Mexicano presenta una larga historia de inestabilidad, se considera que el origen del lago de Pátzcuaro es geológicamente reciente. Durante el Terciario y al inicio del Pleistoceno, el ancestral río Lerma probablemente corrió hacia el Oeste desde la región Central de México hacia el Océano Pacífico (De Buen, 1943; Álvarez, 1972). Un subsecuente levantamiento y actividad volcánica durante la última fase del Pleistoceno resultó en una serie de grandes lagos que ocuparon el sistema de drenaje del antiguo río Lerma. La mayoría de estos lagos fueron eventualmente drenados por el actual río Lerma pero algunas cuencas permanecieron cerradas (Figura 3) (Maldonado-Koerdell, 1964; Barbour, 1973).

Los lagos de Cuitzeo, Pátzcuaro y Zirahuén fueron formados como un resultado de compartimentos de flujos de lava en uno de los tributarios del antiguo río Lerma (De Buen, 1943a; Álvarez, 1972). La naturaleza geológica del lago de Pátzcuaro como la mayoría de su cuenca de drenaje consiste de rocas volcánicas de la era Cenozoica y de sedimentos lacustres de origen fluvial. Las rocas volcánicas recientes son en su mayoría basaltos. Las rocas de la era Terciaria son principalmente andesitas que contienen olivina, albita, biotita, augita e hiperstenos.

En los alrededores del humedal la geología es de roca basáltica, brecha-volcánica, aluvial, y basalto de toba básica (Villarello, 1909; Saporito, 1975; INEGI, 1985) (figura 3).

### **6.4. Edafología**

Los suelos cercanos al humedal datan de los periodos cenozoico, cuaternario, terciario y mioceno, corresponden principalmente a los del tipo volcánico representados en su mayoría por andosoles y luvisoles.

Los andosoles son suelos originados a partir de cenizas volcánicas, de color pardo con un alto capacidad de retención de fósforo y muy susceptibles a la erosión (World Reference Base 2006) con andosoles y luvisoles.

Los tipos de suelo que predominan en la zona según la carta 1: 250 000 serie I son acrisol, cambisol, feosem, litosol y luvisol, mientras que en el humedal predominan el andosol y el gleysol (INEGI 2004) (Figura 4).

*Gleysol:* Son suelos pantanosos, que se encuentran en zonas donde se acumula y estanca el agua la mayor parte del año, dentro de los 50 cm. Se caracterizan por presentar, en la parte donde se saturan con agua, colores grises, azulosos o verdosos, que muchas veces al secarse y exponerse al aire se manchan de rojo (INEGI 2004).

*Durisol:* suelos con acumulación aluvial o coluvial se sílice y que en México presentan una capa de endurecida conocida regionalmente como tepetate. Son muy susceptibles a la erosión hídrica. Algunas veces están afectados por sales y normalmente impiden el paso de las raíces después del medio metro de profundidad. El uso más frecuente de estos suelos son los pastizales inducidos y la agricultura temporal (INEGI 2004) (Figura 4).

*Leptosol:* incluyen de los antiguos litosoles y otros suelos con menos de 25cm de espesor o con más de 80% de su volumen ocupado por piedras o grava. Son muy susceptibles a la erosión, se localizan generalmente en las zonas montañosas. El uso principal de este suelo es para agostadero (INEGI 2004) (Figura 4).

*Luvisol:* Suelos con acumulación de arcilla que se encuentran en zonas templadas o tropicales lluviosas La vegetación generalmente de bosque o selva y se caracterizan por tener un enriquecimiento de arcilla en el subsuelo. Son frecuentemente rojos o amarillentos, aun que también presentan tonos pardos, que no llegan a ser oscuros (INEGI 2004).

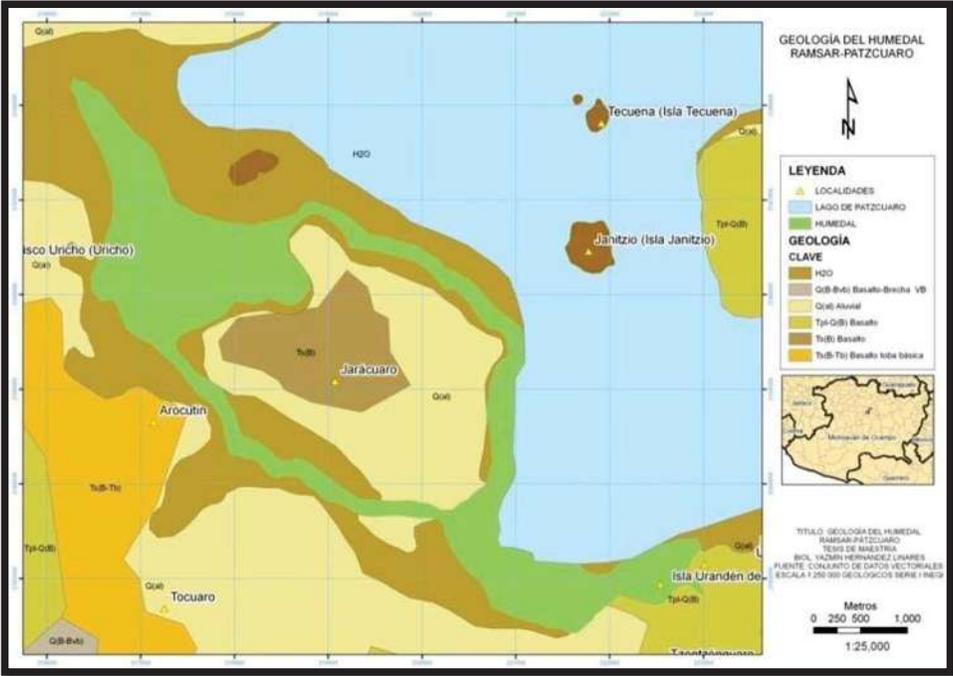


Figura 3 .Geología del área de influencia del humedal Sur Ramsar-Pátzcuaro.

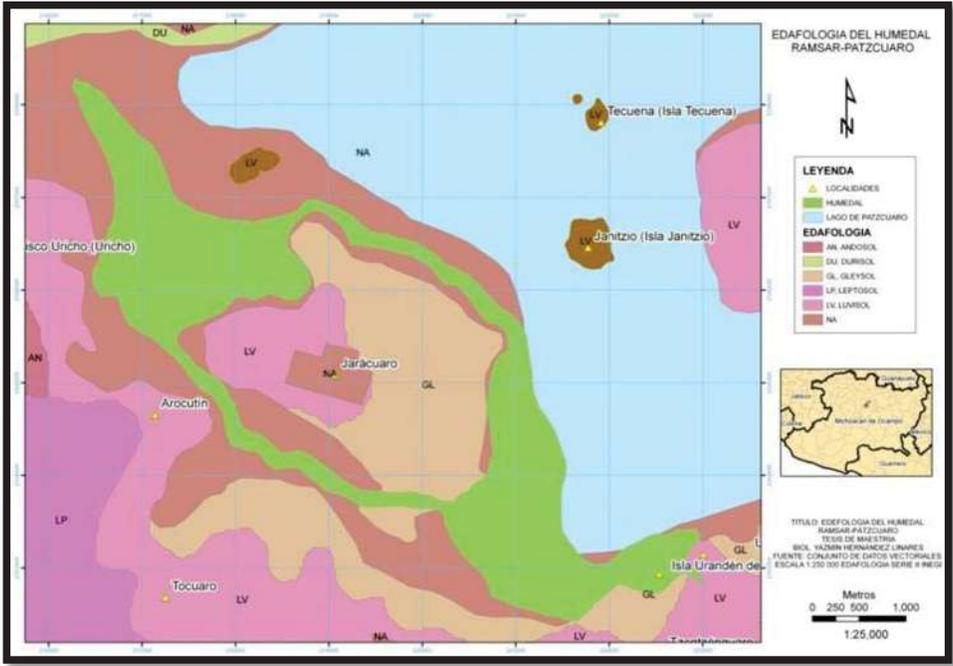


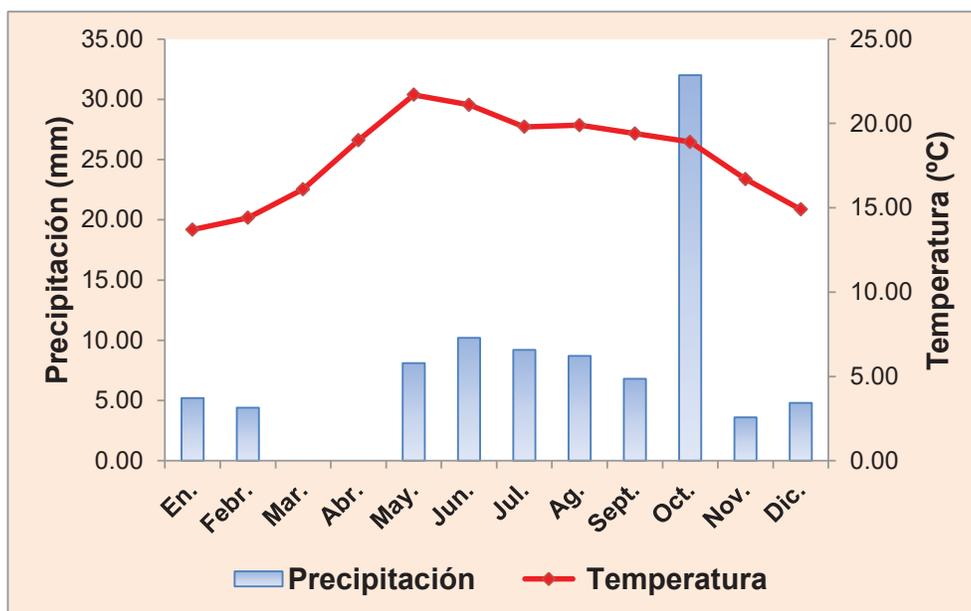
Figura 13. Edafología del área de influencia del humedal Sur Ramsar-Pátzcuaro.

### 6.5. Clima

El clima de la región es templado subhúmedo con lluvias en verano, cuyo porcentaje de precipitación invernal es menor de 5%. Pertenece al tipo de clima más húmedo de los templados subhúmedos, clasificado como C (w2)(w) bi'g(INEGI 2008). La temperatura máxima se presenta antes del solsticio de verano (Barrera-Bassols, 1986).

El área se caracteriza por presentar temperaturas medias de 16 °C, máximas de 37 °C y mínimas de 5 °C; una precipitación anual de 900 a 1,400 milímetros, la mayor parte de la cual ocurre durante el periodo que va de fines de mayo a octubre y que alterna con una estación seca, de noviembre a principios de mayo (Toledo y Barrera-Bassols, 1984).

La temperatura máxima que se presentó en el 2010 fue en el mes de mayo con 21.7°C y la mínima en el mes de enero con 13.7°C, la precipitación máxima en el mes de octubre con 32 mm y la mínima en los meses de marzo y abril con 0.0mm (Figura 5).



**Figura 14.** Climograma del año que se realizó el estudio del humedal Ramsar-Pátzcuaro (CONAGUA, 2010).  
(Nota: de Marzo y abril no existen registros).

### **6.6. Hidrología superficial**

El humedal Ramsar Sur del Lago de Pátzcuaro se encuentra ubicado en la región hidrológica No. 12 (RH 12), dentro de la cuenca L. de Pátzcuaro-Cuitzeo y la subcuenca L. de Pátzcuaro (RH12 G a) (INEGI 2008). El lago de Pátzcuaro, es un sistema endorréico, es decir, que no tiene salida hacia el mar, con un patrón de drenaje que se identifica como radial centrípeto debido a que la mayoría de las corrientes superficiales convergen eventualmente en el vaso lacustre. La cuenca presenta un drenaje de tipo dendrítico aunque en los conos volcánicos se identifica como radial centrípeto y la mayor parte de sus escurrimientos son temporales (Medina 2006).

La pérdida de las condiciones de humedad y en consecuencia del ingreso de agua hacia el humedal disminuyó 8.17 unidades en los últimos 45 años. Lo anterior es el resultado de un aumento en la temperatura media anual y una disminución paulatina en la precipitación. A esta circunstancia es necesario agregar la evaporación anual que se registra en la zona de estudio con un promedio de 1,495.5 mm .El ingreso de agua en el humedal es principalmente por precipitación, cuyo promedio anual es de 918.8 mm. La variación en la cantidad de precipitación anual derivada de los periodos de años secos y periodos de años húmedos repercute en la oscilación de nivel tanto en el lago como en el humedal. Una segunda contribución de agua al humedal sur de Pátzcuaro es la presencia de manantiales que afloran en diversos sitios, estos están ubicados en la zona de Tzetzénguaró, Uranden, Isla de Uranden de Morelos y Reserva de Uranden (García 2009) (Figura 6).

### **6.7. Uso de suelo y vegetación**

El uso primordialmente es forestal, en menor proporción agrícola y ganadero. Los principales cultivos por orden de importancia son el maíz, trigo, frijol, lenteja y tomate. Se cría ganado bovino, porcino, ovino, asnal, caballar, caprino y mular. En la industria las principales ramas son la fabricación de alimentos y muebles coloniales de madera (Medina 2006).

La vegetación de la cuenca es de varios tipos: bosque de coníferas (oyameles y pinos), de encinos, vegetación secundaria, pastizales y aéreas de cultivo. Los bosques de oyamel se sitúan entre los 2,900 y 3,000 msnm están compuestos por *Abies religiosa* en aéreas reducidas (INEGI 1985).

Los bosques de pinos se encuentran entre los 2,200 y 3,000 msnm, están formados por *Pinus michoacana*, *Pinus pseudostrobus*, *Pinus leiophylla*, *Pinus montezumae* y *Pinus lausoni*, frecuentemente acompañados de encinas *Quercus rugosa*, *Quercus crassipes*, *Quercus castanea*, *Arbustus xalapensis*, *Clethra mexicana*. Los bosques de encino, se encuentran también entre los 2,200 y 3,000 msnm, con frecuencia asociados con los bosques de pinos. Están representados por: *Quercus candicans*, *Quercus castanea*, *Quercus crassipes*, *Quercus laureina*, *Quercus obtusata*, *Quercus rugosa* y *Quercus gentyi*, acompañados por *Arbustus xalapensis*, *Clethra mexicana*, *Ganya laurifolia*, *Pinus pseudostrobus* y plantas arbustivas (Zamudio, 1992) (Figura 7).

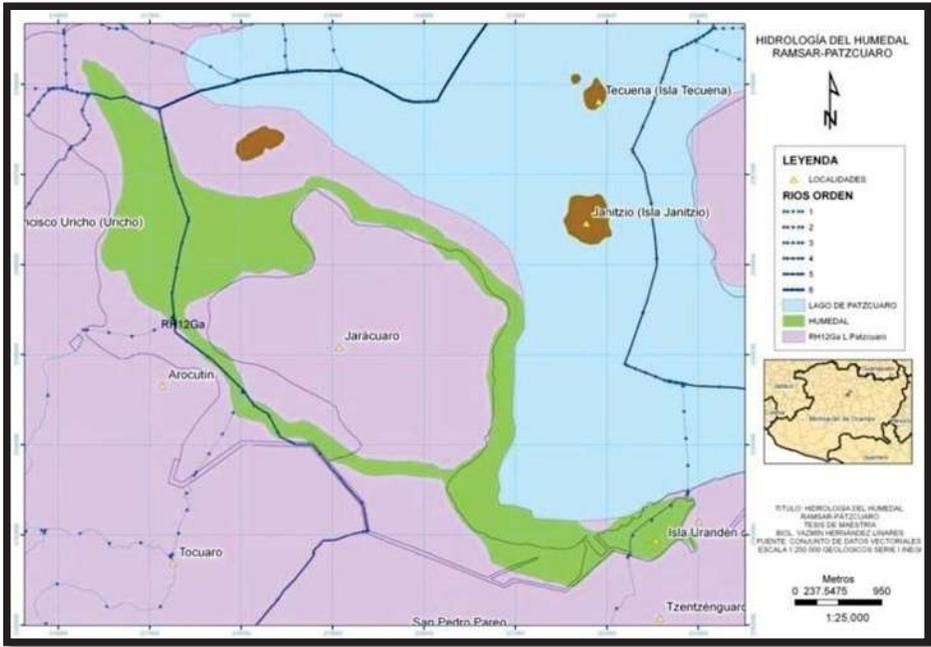


Figura 15. Hidrología superficial del área de influencia del humedal Ramsar-Pátzcuaro.

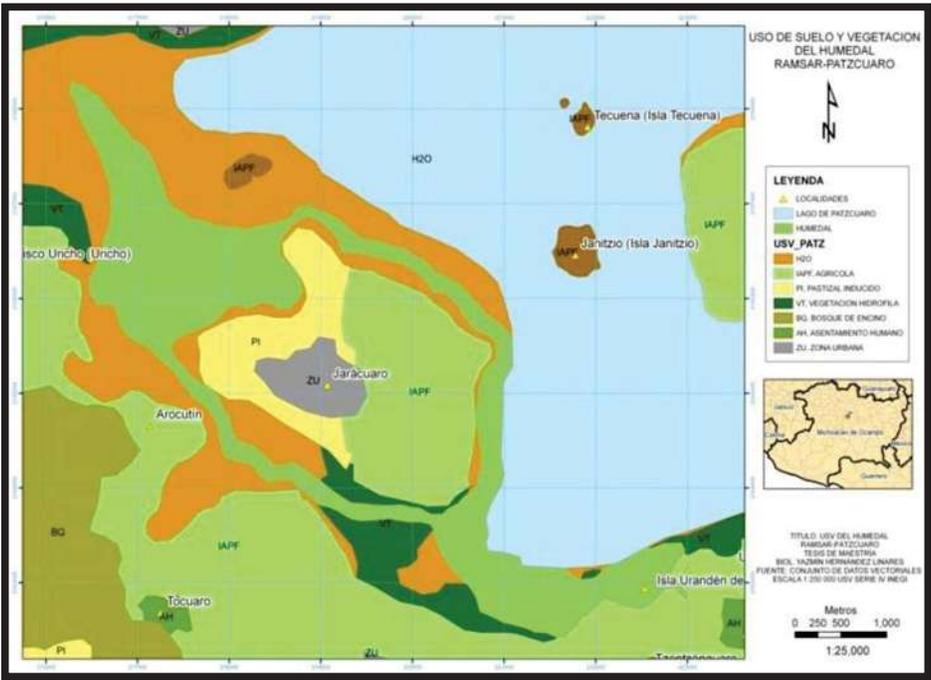


Figura 16. Uso de suelo y vegetación de los alrededores del área de influencia del humedal Ramsar-Pátzcuaro.

### 6.8. Vegetación Acuática

En el humedal sur de Pátzcuaro se desarrolla una comunidad de hidrófitas enraizadas emergentes como: *Sagitaria latifolia*, *Scirpus californicus*, *Scirpus validus*, *Typha dominguensis* y *Typha latifolia* (Zamudio, 1992).

Conforme aumenta la profundidad se encuentran hidrófitas flotadoras como *Eichhornia crassipes* además de hidrófitas enraizadas de hojas flotantes como *Nymphaea mexicana* y *Spirodela polyrrhiza* y en niveles más profundos se encuentran hidrófitas enraizadas sumergidas como *Potamogeton illionensis*, *Potamogeton pectinatus*, *Ceratophyllum demersum*, *Najas guadalupensis*, *Ranunculus dichotomus*, *Utricularia vulgaris*. En la región de Pátzcuaro utilizan tradicionalmente la *Typha dominguensis* y *Typha latifolia* para fabricar artesanías como petates y cestos (Zamudio, 1992).

### 6.9. Ictiología

En el lago existen 4 especies de peces endémicas del sistema hidrológico Lerma Chapala, y una endémica de Pátzcuaro *Chistoma pátzcuaro*, un anfibio endémico y en peligro de extinción *Ambistoma dumerilli*, incluido en la Norma Oficial Mexicana (NOM-0592001). Las variedades endémicas incluyen al copépodo planctónico (crustáceo) *Diaptomus albuquerquensis* v. *patzcuarensis*, los moluscos *Physella osculans* v. *patzcuarensis* y; y el acocil (crustáceo) *Cambarellus montezumae* v. *patzcuarensis*. Estas especies y variedades se han desarrollado debido a la edad del lago y a su estabilidad relativa (Chacón, Ayala, Rendón, Rosas, y Ruiz, en Ayala 2007).

### **6.10. Asentamientos Humanos**

Se reconoce que la presencia del hombre en la región lacustre de Pátzcuaro data por lo menos del siglo XII. En la actualidad se estima que el 17 % del total de la población, que rodea la cuenca del lago de Pátzcuaro es purépecha. Para el año de 1986 se registraron 28 poblaciones ribereñas y 8 islas con asentamientos humanos. La economía antigua se basaba en el cultivo del maíz, frijol, calabaza, chía y chile (chacón *et. al.* 1991).

A partir del proceso de industrialización del país, esta región sufrió una explotación irracional de sus recursos naturales, llevando consigo procesos de contaminación del agua del lago y generando poco a poco la eutroficación del mismo debido a la falta de medidas adecuadas como es el vertimiento de aguas negras al lago (chacón *et. al.* 1991).

La cuenca del lago de Pátzcuaro abarca seis municipios, los cuales son Pátzcuaro, Quiroga, Tzintzúntzan, Erongarícuaro, Tingambato, Huiramba, y Nahuatzén, los tres últimos ocupan una porción muy pequeña de la cuenca. De los cuales solo Pátzcuaro y Erongarícuaro se encuentran cercanos al área del humedal (chacón *et. al.* 1991).

La distribución en éstos municipios es la siguiente: 47 poblados pertenecen al municipio de Pátzcuaro, 16 al municipio de Erongarícuaro, 14 al municipio de Quiroga, 32 al municipio de Tzintzúntzan, 2 de Nahuatzén, 1 de Tingambato y 2 de Huiramba (INEGI 2008). En donde además los más cercanos al humedal de Pátzcuaro son San Francisco Uricho, Arocutín, Jarácuaro, Tocuaro, San Miguel Nocutzepo, San Pedro Pareo y Tzentzenguaro. (Figura 8).

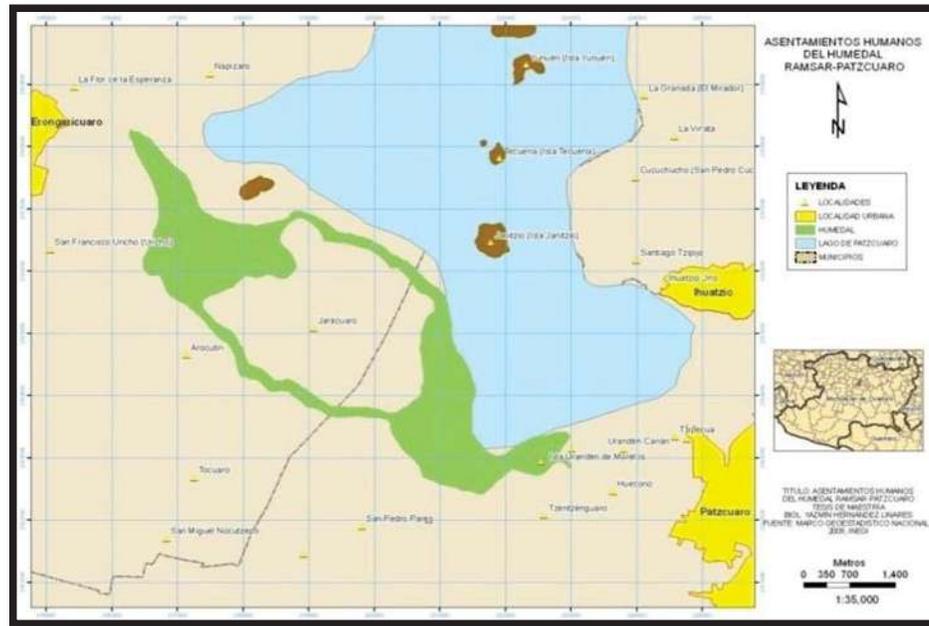
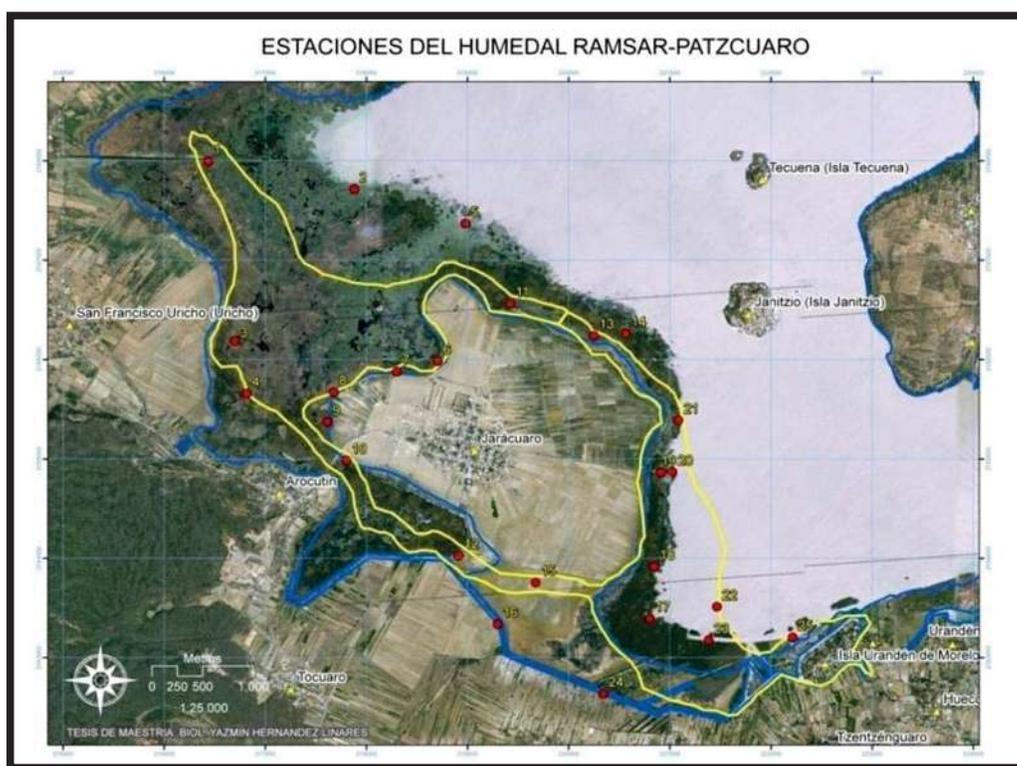


Figura 17. Asentamientos humanos de los alrededores del área de influencia del humedal Ramsar-Pátzcuaro.

## VII. MATERIALES Y MÉTODOS

### 7.1. Sitios de Muestreo

Tomando en consideración el polígono del sitio RAMSAR-Pátzcuaro y las características del humedal, se establecieron sitios de muestreo en toda el área, con el apoyo de mapas se ubicaron sitios de baja profundidad, zonas de transición entre el sistema acuático y terrestre, y la composición de la vegetación semi-acuática y acuática. En base a lo anterior, se establecieron 25 estaciones de muestreo para el análisis físico-químico de agua superficial y sedimentos, en donde el humedal se subdividió en tres partes llamadas fronteras del humedal, la primera llamada frontera terrestre por estar más cercana a tierra firme, la segunda es el humedal por estar en la zona media y finalmente la frontera acuática las cuales son estaciones más cercanas a la zona litoral del lago de Pátzcuaro (Figura 9) (Tabla 1).



**Figura 18.** Polígono de la zona RAMSAR 1447 (línea amarilla) Humedal Sur del lago de Pátzcuaro, Michoacán, México.

**Tabla 1.**Coordenadas UTM de las estaciones del área de estudio.

ESTACIONES	X	Y	FRONTERA
1	216435	2167994	Humedal
2	217880	2167717	Acuática
3	216699	2166187	Terrestre
4	216819	2165657	Terrestre
5	218979	2167370	Humedal
6	218709	2165984	Humedal
7	218302	2165878	Humedal
8	217678	2165672	Humedal
9	217614	2165373	Terrestre
10	217802	2164985	Terrestre
11	219422	2166563	Humedal
12	218914	2164026	Terrestre
13	220249	2166240	Humedal
14	220564	2166260	Acuática
15	219674	2163755	Terrestre
16	219298	2163337	Terrestre
17	220803	2163394	Acuática
18	220847	2163916	Acuática
19	220911	2164864	Acuática
20	221026	2164868	Acuática
21	221085	2165389	Acuática
22	221466	2163511	Acuática
23	221384	2163175	Acuática
24	220344	2162635	Terrestre
25	222215	2163203	Acuática

## **7.2. Análisis fisicoquímico de agua superficial**

Se colectaron muestras de agua en la superficie del humedal, tanto en la frontera terrestre donde se encuentra inundado y/o saturado de agua, en el humedal e inmediatamente en la salida del humedal hacia las aguas abiertas del lago de Pátzcuaro. Las muestras fueron transportadas al laboratorio en frío, en contenedores previamente tratados con Ácido clorhídrico al 10%.

De manera simultánea se registraron en campo las siguientes variables:

- Profundidad (m): Se midió con una Ecosonda Digital HawkEye (previamente calibrado).
- Temperatura del agua (°C): Con un Conductivímetro modelo PC 18.
- Potencial de Hidrógeno (pH): Con un Conductivímetro modelo PC 18 (previamente calibrado).
- Conductividad eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ): Se midió con un Conductivímetro modelo PC 18.
- Oxígeno disuelto (mg/L): Con un Multiparamétrico (Yellow Spring Instruments) previamente calibrado con Winkler modificado al ázida de sodio (APHA, 1992).

### **7.3. Trabajo de laboratorio**

Las muestras colectadas y transportadas al laboratorio de Limnología del Instituto de Investigaciones sobre los Recursos Naturales (INIRENA) fueron preparadas para los análisis correspondientes.

Se determinó la alcalinidad fenolftaleínica y total mediante la técnica titrimétrica usando 100 mL de muestra con ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) 0.02 N como solución titulante y como indicadores fenolftaleína y verde de bromocresol. La estimación de los carbonatos, bicarbonatos, hidróxidos y bióxido de carbono fueron obtenidos con cálculos indirectos dependiendo de la tabla de relaciones de alcalinidad (APHA, 1992).

La dureza total se logro con la técnica volumétrica con EDTA y Ericromo negro T tomando muestras de 25 mL diluidas a 50 mL con agua destilada, se agregó una solución amortiguadora elevando el pH a un valor de 10.0 ó 10.1, además se agregó 0.1 g del indicador Ericromo negro T y sal Disódica de EtilenDiamino Tetra Acético (EDTA).

El análisis de la dureza por calcio se realizó con la técnica titrimétrica, (APHA, 1985) y la dureza de magnesio se obtuvo de manera indirecta, sustrayendo de la concentración de dureza total aquella debida al Calcio (Ca) expresadas en mili equivalentes y multiplicados por equivalente del peso de magnesio (Rainwater y Thatcher, 1960).

La concentración de sólidos suspendidos totales se estimó mediante la técnica gravimétrica (Strickland y Parsons, 1972), mientras que los sólidos disueltos totales se determinaron con un TDS conductronic PC 16. Los sólidos sedimentables se calcularon mediante la técnica volumétrica del cono de sedimentación tipo Imhoff (APHA, 1992) y la turbidez con un turbidímetro tipo Hach previamente calibrado.

Para calcular la concentración de fósforo total, ortofosfatos, nitritos, nitratos, amonio y clorofila-a, se realizaron análisis colorimétricos empleando un espectrofotómetro marca “Perkin Elmer” modelo Lambda 10UV/Vis.

La concentración de fósforo total se estimó mediante 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 se estimó mediante la técnica del ácido ascórbico sin una previa incubación, en la misma longitud de onda (APHA, 1992). En los dos casos se utilizaron curvas de calibración para fosforo total  $r^2 = (0.99)$  y ortofosfato  $r^2 = (0.99)$  (APHA, 1992).

Para determinar la concentración de nitritos( $\text{NO}_2$ ) y nitratos( $\text{NO}_3$ ) se utilizó la técnica colorimétrica, en donde se tomaron lecturas a una longitud de onda de 543 nm, utilizando una curva de calibración, expresando con una  $r^2 = (0.94)$  para  $\text{NO}_3$  y  $(0.98)$  para  $\text{NO}_2$ . El amonio se determinó con la técnica de Nesler a 425 nm con una  $r^2 = (0.99)$  (APHA, 1992).

La concentración de pigmentos fotosintéticos (clorofila-a) se determinó mediante un método de extracción con acetona acidificada al 90% (Lind, 1985).

La materia orgánica se estimó indirectamente con la determinación de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) con la técnica de incubación  $\text{DBO}_5$  y Demanda Química de Oxígeno (DQO) con la técnica de digestión con un ácido sulfúrico concentrado (Eaton *et al.* 1995).

#### **7.4. Análisis fisicoquímico de sedimentos**

En el caso de los sedimento, las muestras se extrajeron mediante el uso de una draga de muestreo tipo Ekman de 2.0 kg de capacidad. Las muestras colectadas se almacenaron en botes de plástico y se transportaron al laboratorio para estimar humedad, materia orgánica, fósforo y nitrógeno total, así como la textura de los mismos.

La humedad se determinó por medio del método gravimétrico, en el que se toma una muestra de 5 g y pasa a ignición utilizando la estufa a temperatura de 105°C durante 24 horas, los resultados se expresaron en porcentaje (Romero, 1999).

La determinación del contenido en materia orgánica en sedimentos mediante método gravimétrico: Se tomo una muestra de 2g de sedimento, se estimo la materia orgánica, utilizando una mufla a 580°C durante 30 minutos (Beltrán, 1964) y posteriormente pesando en una balanza analítica marca Ohaus.

El análisis de fósforo total se realizó con la técnica establecida por Beltrán (1964), mediante digestiones con acido sulfúrico al 0.002 N, y posteriormente se determinó con la técnica colorimétrica de acido ascórbico a una longitud de onda 880 nm con el espectrofotómetro lambda con una curva de calibración con una  $r^2= (0.99)$ .

El nitrógeno orgánico se evaluó con la técnica de Kjeldahl con la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 (Eaton *et al.* 1995).

La textura es la cantidad relativa de arena, limo y arcilla (expresada en porcentaje). Estas fracciones se determinan de acuerdo al tamaño de partícula, si es de 2.00 a 0.05mm de diámetro corresponde a arenas, entre 0.05 a 0.002mm de diámetro se clasifican como limos, y un tamaño menor a 0.002mm de diámetro corresponde a arcillas.

El análisis de granulométrico se realizó usando el método del hidrómetro. La clasificación textural se expresa con nombres de las clases que se encuentran en el triángulo de texturas de Folk y Ward (1957) (Figura 10).

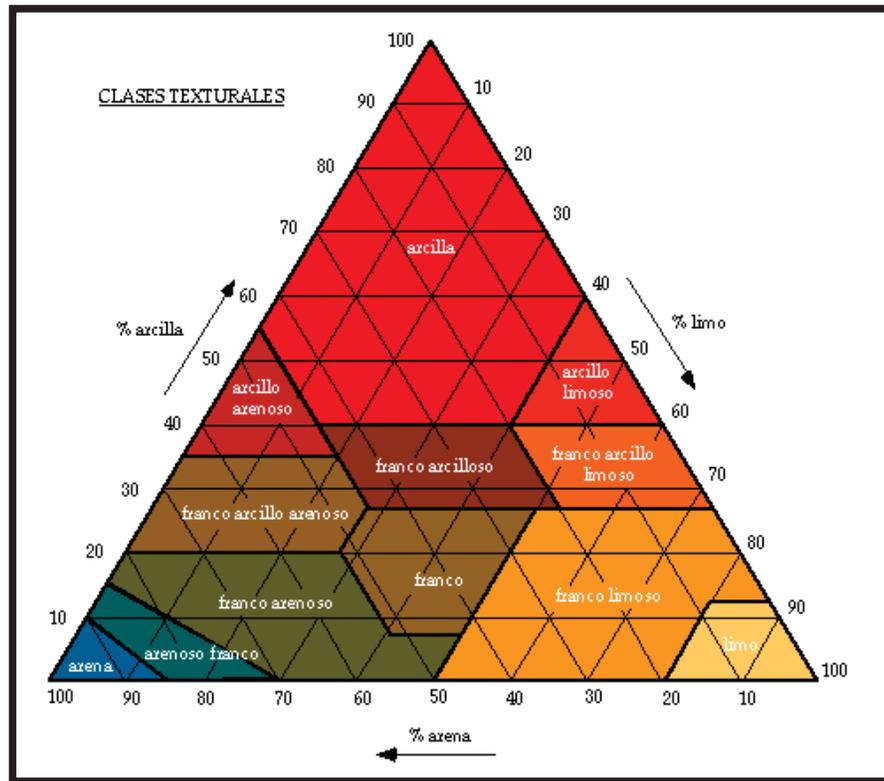


Figura 19. Triángulo de texturas de Folk y Ward.

### 7.5. Propiedades sortivas

Con los resultados de nutrientes y sólidos, y mediante las formulas de (Fleischer y Stibe, 1991) se obtuvieron los porcentajes de la eficiencia de retención del humedal, así como también la relación nitrógeno-fósforo de acuerdo a Wetzel (2001). La retención; es decir la concentración de elemento o compuesto que se queda en el humedal ya sea para su sedimentación o transformación, fue determinada para los periodos de sequia y lluvia durante un ciclo anual, se calculó mediante la concentración de egreso menos la concentración de ingreso para cada variable (Formula 1). La capacidad de retención o sortiva se reportara en porcentaje (%) y se calculo dividiendo la retención entre la concentración de ingreso por 100 (Formula 2).

Formula 1: Retención

$$R = C_{\text{ingreso}} - C_{\text{egreso}}$$

R= retención (diferencia en mg/L)

$C_{\text{ingreso}}$  = Concentración de ingreso (mg/L)

$C_{\text{egreso}}$  = Concentración de egreso (mg/L)

Formula 2: Capacidad sortiva (retención)

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

CS (%)= Porcentaje de la capacidad sortiva

R= retención (diferencia en mg/L)

$C_{\text{ingreso}}$  = Concentración de ingreso (mg/L)

### **7.6. Análisis estadístico**

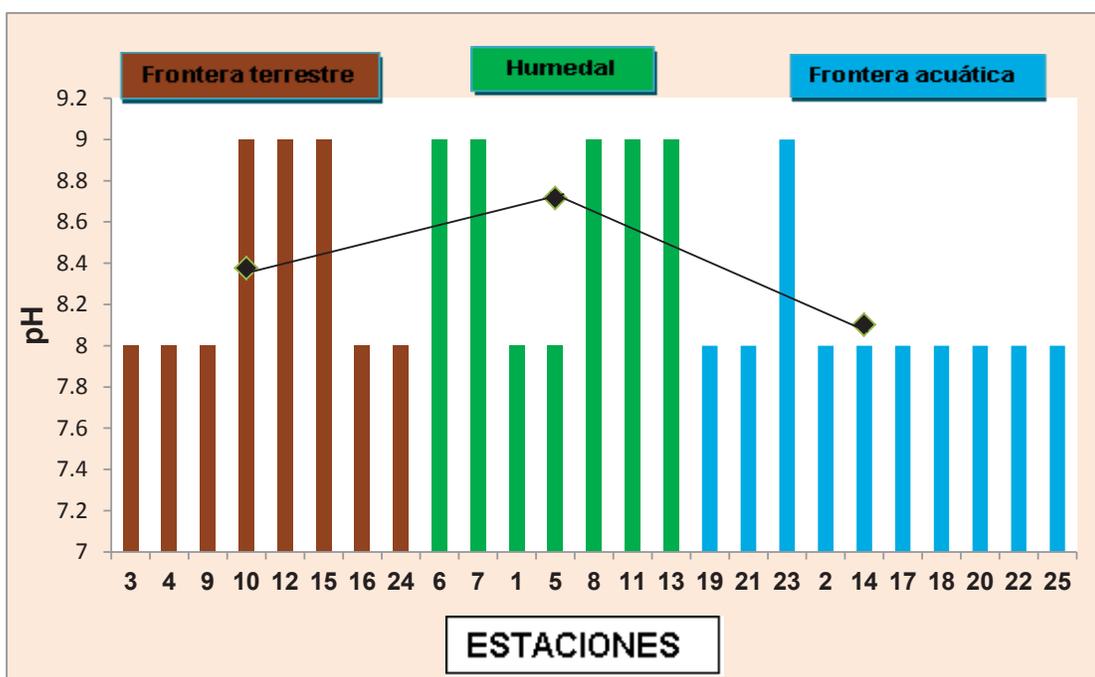
Se realizó un análisis de estadística básica para cada variable, que incluyó el cálculo de mínimos, medias, máximas y desviación estándar; además se realizaron análisis Clúster utilizando el programa Primer 5 (Clarke & Warwick 1994 a), se utilizó la prueba de Shapiro Wilk utilizando el programa R 2.13.1, para la diferenciación entre fronteras del humedal, además de un análisis factorial para la determinación de las variables que más influyeron en el ecosistema utilizando el programa Statistica 10.

## VIII. RESULTADOS

### 8.1. Composición fisicoquímica del agua

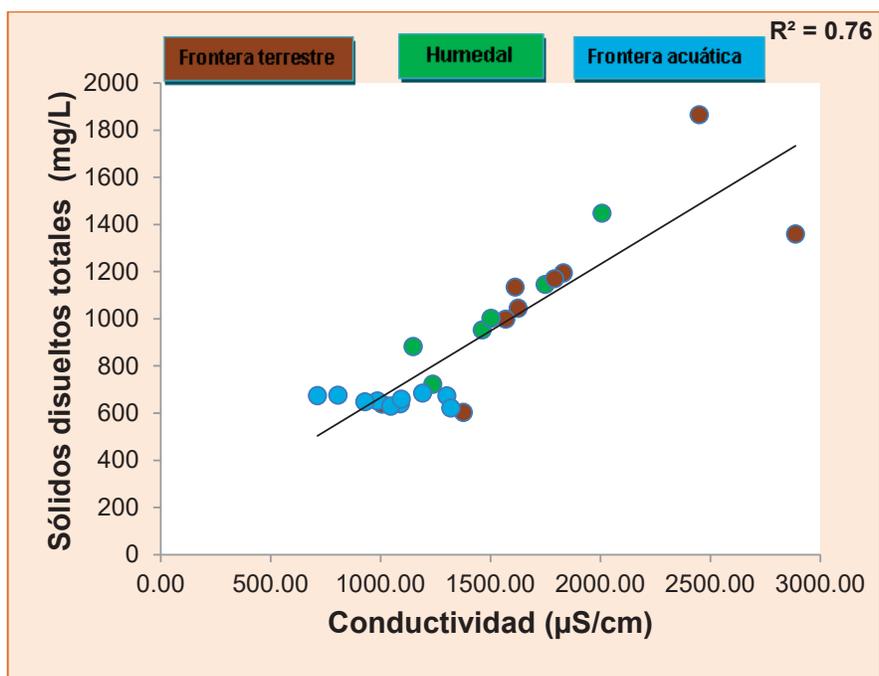
Los resultados de los análisis en el humedal Sur Ramsar-Pátzcuaro mostraron una temperatura con un promedio anual de 21.7°C. La temperatura disminuye de sequia a lluvia hasta existir una diferencia de 7.9°C entre estas dos temporadas (Tabla 2).

El potencial de hidrógeno registrado en el humedales ligeramente alcalino con un promedio anual de 8.3. La frontera terrestre registro el mismo valor promedio, sin embargo, en las estaciones 10,12 y 15 el pH fue de 9.0, el humedal presentó promedio de 8.7 un mínimo de 8 en las estaciones 1 y 5. En la frontera acuática el promedio fue de 8, aumentando a 9 solo en la estación 23 (Figura 11 y Tabla 2).



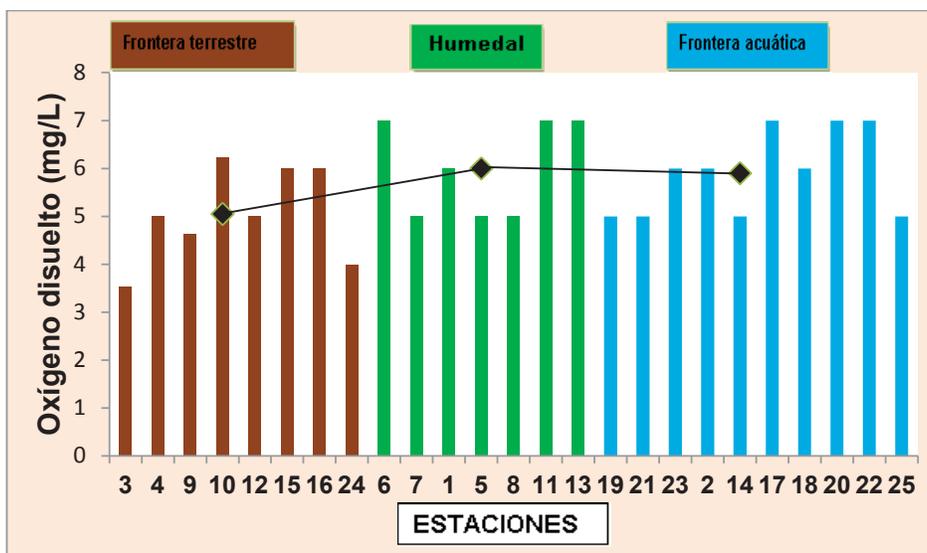
**Figura 11.** Distribución del potencial de hidrógeno en el humedal Ramsar-Pátzcuaro.

La conductividad presento un promedio anual de 1,428.8 $\mu$ S/cm, con un valor en lluvias de 730.1  $\mu$ S/cm, mismo que se incrementa en la temporada de sequia hasta 1,525.8  $\mu$ S/cm (Tabla 2).El valor máximo de conductividad fue de 2,887  $\mu$ S/cm en la frontera terrestre (estación 3) que coincide con la época de sequia, mientras que el valor mínimo fue de 672  $\mu$ S/cm en la frontera acuática (estación 2) y ocurre durante la época de lluvia. Mientras que el análisis entre la conductividad y sólidos disueltos totales (SDT) muestran una relación de 0.76 ( $r^2$ ) que indica una correlación directa es decir a mayor conductividad mayor concentración de SDT, por lo tanto las estaciones de la frontera terrestre registran valores altos de conductividad (1,794  $\mu$ S/cm) y SDT(1,104 mg/L), de la frontera terrestre a las estaciones del humedal la conductividad se reduce en un 13.27% equivalente a 1,556  $\mu$ S/cm, de las estaciones del humedal hacia la frontera acuática se registra otra reducción del 32.71% equivalente a 1,047  $\mu$ S/cm. Excepto las estaciones terrestres como la 16 y 24 que se asocian con la frontera acuática, sus valores reportados fueron de 1,376  $\mu$ S/cm y 1,006  $\mu$ S/cm respectivamente. Mientras que los SDT en la frontera terrestre son de 1,104 mg/L, los cuales disminuyen un 5.3 % en el humedal equivalentes a 1,046 mg/L, a diferencia de la frontera acuática donde existe una mayor disminución de SDT de un 37 % equivalentes a 656 mg/L (Figura 12).



**Figura 12.** Relación de la conductividad con los sólidos disueltos totales.

El oxígeno disuelto en el humedal Sur de Pátzcuaro registró una concentración promedio anual de 5.6 mg/L, en la temporada de lluvia registra concentraciones de 3.6mg/L y en sequia de 5.7mg/L (Tabla 2), especialmente se registro una máxima concentración en el humedal y frontera acuática con un promedio de 6 mg/L, y una concentración en la frontera terrestre con un promedio de 5mg/L (Figura 13).



**Figura 13.** Distribución del oxígeno disuelto en el humedal Ramsar-Pátzcuaro.

En este sistema se registró un promedio anual de 242.8mg/L para alcalinidad total, con un valor de 232.4mg/L en temporada de lluvia, en comparación al promedio anual aumenta un 4.2%, durante sequia el promedio fue de 219.1mg/L en donde disminuye un 9.7% en comparación con el promedio anual.

El valor máximo se registró en el humedal (276mg/L), en donde la máxima concentración se encontró en la estación 6 con 382mg/L y la mínima en la estación 13 con 123mg/L. La frontera terrestre presento un promedio de 262mg/L, con un máximo de 464mg/L en la estación 9 y un mínimo de 193mg/L en la estación 24. En la frontera acuática se presento un promedio de 204mg/L, con una concentración máxima de 272mg/L en la estación 14 y una mínima de 120mg/L en la estación 18.

En todo el ecosistema dominan los bicarbonatos (206.6mg/L) seguido de los carbonatos (30.4mg/L) y después se encuentran los hidróxidos (1.5mg/L). Durante la época de sequia, en comparación con la época de lluvias, se registró que existe una disminución de bicarbonatos (182.8mg/L), al igual que de los carbonatos (29mg/L) y un aumento en los hidróxidos a (2.4 mg/L) (Tabla 2). En lo que respecta al promedio anual de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es de 16.4mg/L, mismo que disminuye en la temporada de lluvia hasta 2.3mg/L y aumenta a 19.4mg/L en la temporada de sequia (Tabla 2).

La dureza total tiene un promedio anual de 277.7mg/L, con un máximo de 638 mg/L en la frontera terrestre (estación 3) y un mínimo de 156mg/L en la frontera acuática (estación 18). Durante la temporada de lluvia disminuye a 157.1mg/L y aumenta en la temporada de sequia a 291.8mg/L. La mayor concentración se reporta en la frontera terrestre con un promedio de 392mg/L, seguido con 268mg/L en el humedal y finalmente en la frontera acuática se registró una dureza de 184mg/L que es el valor más bajo en el ecosistema (Figura 14).

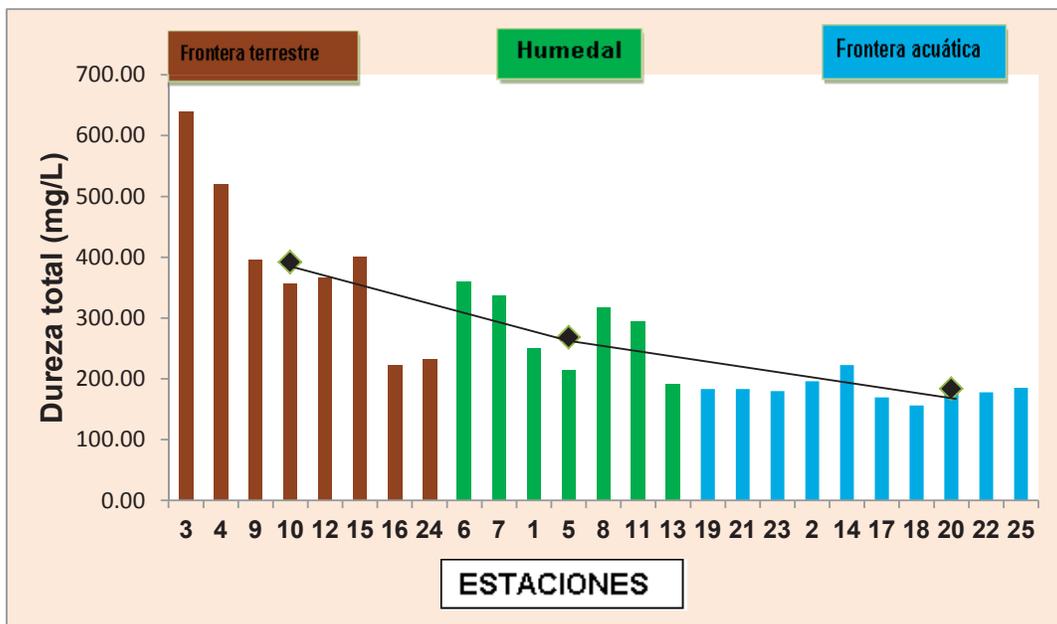


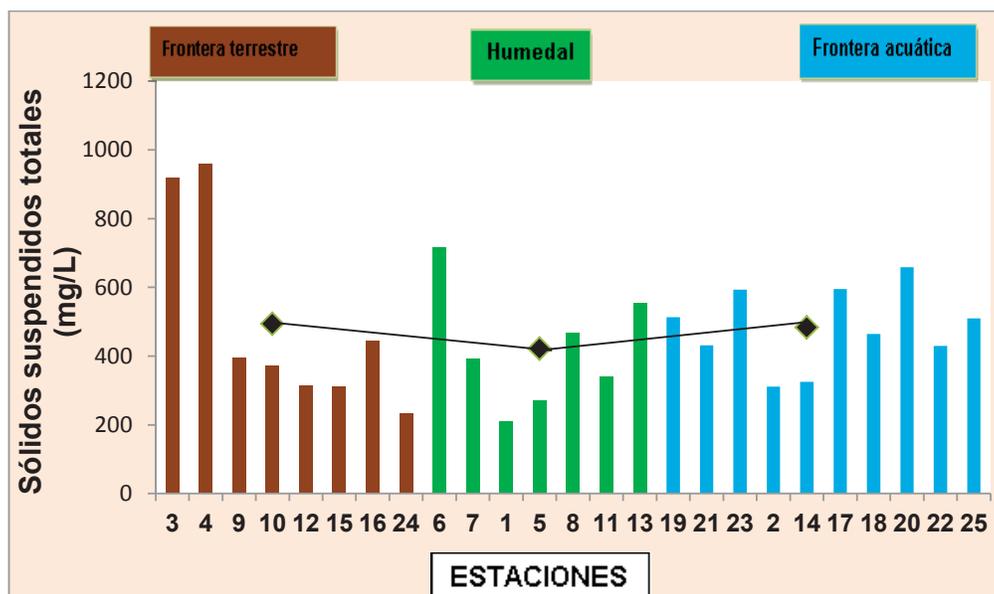
Figura 20. Distribución de la dureza total en el humedal Ramsar-Pátzcuaro.

**Tabla 2.** Parámetros fisicoquímicos del humedal Sur Ramsar Pátzcuaro.

VARIABLE	PROMEDIO LLUVIA	PROMEDIO SEQUIA	PROMEDIO ANUAL
Temperatura (°C)	14.4 ± 9.8	22.3 ±2.2	21.7 ±2.38
Potencial de Hidrogeno	8.8 ± 4.1	8.3 ±0.6	8.3 ±0.48
Conductividad (µS/cm)	730.1 ± 556.6	1525.8±564.5	1428.8±504.16
Oxígeno (mg/L)	3.6±2.8	5.7 ±1.4	5.6 ±1.01
Alcalinidad total (mg/L)	232.4 ±186.0	219.1 ±103.9	242.8 ±97.44
Carbonatos (mg/L)	30.3 ±44.1	29.0 ±17.9	30.4 ±20.46
Bicarbonatos (mg/L)	204.0 ±167.3	182.8 ±107.2	206.6 ±100.99
Hidróxidos (mg/L)	1.5±5.4	2.4 ±2.0	2.3 ±2.01
Bióxido de Carbono (mg/L)	2.3±4.1	19.4 ±22.2	16.4 ±17.82
Dureza total (mg/L)	157.1±109.6	291.8 ±139.2	277.7 ±120.98
Dureza de calcio (mg/L)	12.2±12.8	17.7 ±13.0	18.0 ±12.75
Dureza de magnesio (mg/L)	30.8±24.0	60.2 ±30.2	56.5 ±25.24
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	221.9±260.3	551.8 ±264.9	499.6 ±233.81
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	484.0±349.8	974.8 ±393.8	908.8 ±325.82
Sólidos sedimentables (mL/L)	0.4±0.8	0.7 ±1.7	0.7 ±1.30
Turbidez (NTU)	73.1 ± 67.6	114.1 ±66.1	106.7 ±58.23
Fósforo total (µg/L)	300.4±300.9	461.5 ±437.7	468.1 ±361.77
Ortofosfato (µg/L)	169.6±209.2	145.2 ±237.1	168.7 ±214.31
Nitratos (mg/L)	15.0±13.2	24.9 ±15.1	24.3 ±13.84
Nitritos (mg/L)	0.04±0.04	0.09 ±0.08	0.1 ±0.06
Amonio (mg/L)	0.03±0.03	0.02 ±0.02	0.01 ±0.06
Clorofila a(mg/m <sup>3</sup> )	10.7±11.9	21.9 ±8.7	20.8 ±7.56
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	156.1±122.1	163.3 ±31.7	171.6 ±34.16
DQO (mg/L)	420.8±471.3	903.5 ± 67.6	888.1 ±72.47

La dureza de calcio presento un promedio anual de 18.01mg/L, disminuyendo en la temporada de lluvia a 12 mg/L y aumentando a 18 mg/L en sequia. La Dureza de magnesio registró un promedio anual de 56.5mg/L, mismo que disminuye en la temporada de lluvia a 30.8mg/L y aumenta en sequia a 60.2mg/L.

Los sólidos suspendidos totales mostraron un promedio anual de 499.6mg/L, con un promedio estacional en lluvia de 221.9mg/L, que aumenta en la temporada de sequia a 551.8mg/L, con un valor máximo en la frontera terrestre de 959mg/L (estación 4) y un mínimo en el humedal de 211mg/L (estación 1) (Figura 15).



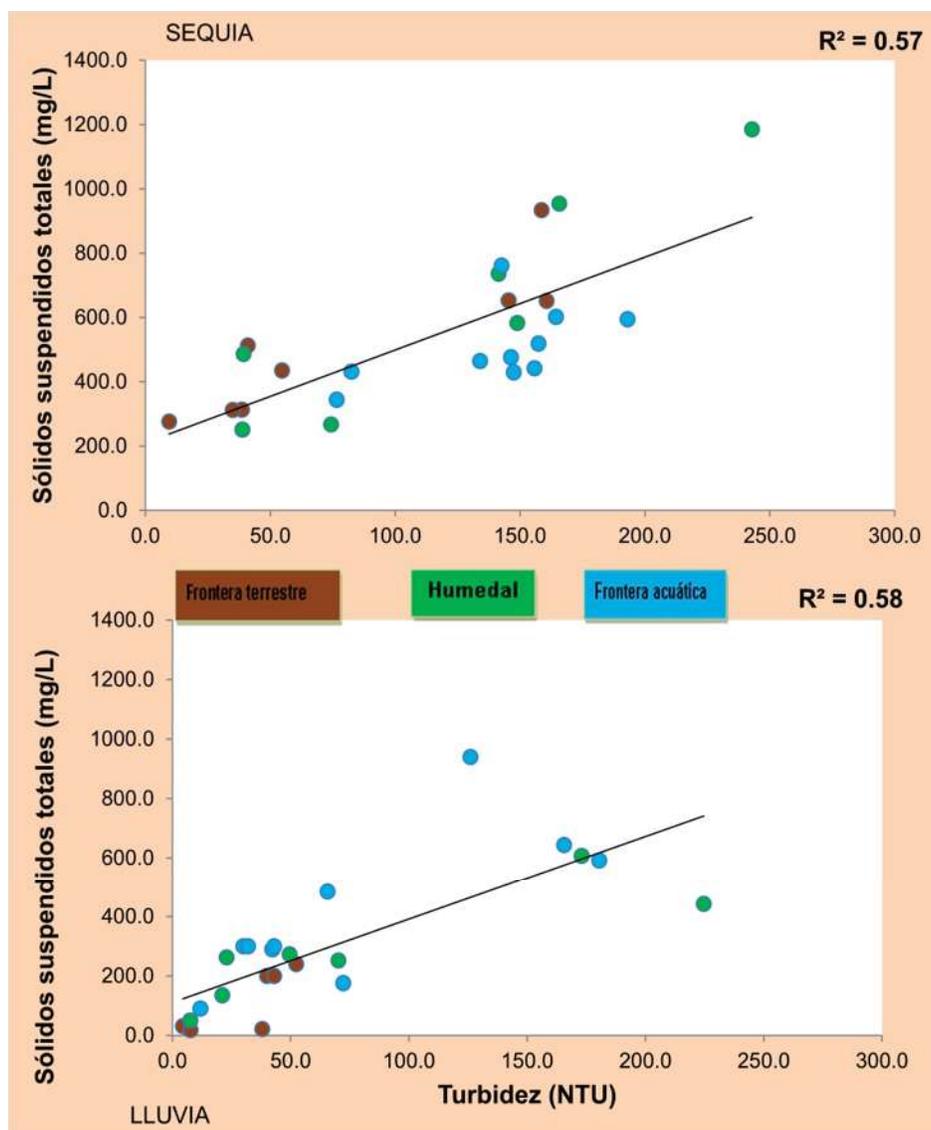
**Figura 15.** Distribución anual de los sólidos suspendidos totales en el humedal Ramsar-Pátzcuaro.

El promedio anual de la concentración de sólidos disueltos totales (SDT) fue de 908.8mg/L, con un niveles promedio de 484mg/L en la temporada de lluvia de mismo que se incrementa en la temporada de sequia a 974.8mg/L. Mientras que el promedio anual de los sólidos sedimentables fue de 0.7mL/L, el promedio en la temporada de lluvia fue de 0.4mL/L, y en la temporada de sequia a 0.7mL/L.

La turbidez presentó un intervalo de 73.1 NTU en lluvia, hasta 114.1 en sequia, cuyo promedio anual fue de 106.7 NTU. El análisis de correlación entre ésta variable y los sólidos suspendidos totales en la temporada de lluvia indican una asociación de  $R^2=0.58$  lo que indica que al incrementar la concentración de SST también aumenta la turbidez.

El humedal presento una turbidez de 34 NTU, la frontera terrestre de 33 NTU, y las estaciones de la frontera acuática mostraron 77 NTU. Sin embargo, los sólidos suspendidos totales (SST), presentaron una concentración de 402 mg/L en las estaciones de la frontera acuática, seguidos del humedal con 289mg/L y finalmente las estaciones de la frontera terrestre presentaron una concentración de SST de 202mg/l. A excepción de la estación que se encuentra en la frontera acuática (estación 20), este presenta una concentración de 940mg/L de SST y una baja turbidez de 126 NTU. Por lo contrario, la estación que se encuentra en el humedal (estación 8), presenta una concentración de SST de 442mg/L y una turbidez de 225 NTU (Figura 16).

El análisis de correlación en la temporada de sequia se tiene una relación del 57 % entre estas dos variables en donde se tiene una mínima concentración de turbidez de 52 NTU en el humedal, seguida de las estaciones de la frontera terrestre con 63mg/L y finalmente las estaciones de la frontera acuática con 140 NTU, con respecto a los SST, estos presentaron menor concentración en el humedal con 465mg/L, seguidos de la frontera acuática con 506mg/L y finalmente la frontera terrestre con 511mg/L . Las estaciones 6 y 13, a pesar de que se encuentran en el humedal tienen mayor concentración de sólidos, por estar más cercanas a la frontera terrestre. En este mismo sentido las estaciones tres, cuatro y dieciséis tienen un promedio de 150mg/L mayor que el resto de su grupo (frontera terrestre) debido a que las dos primeras se encuentran en terrenos agrícolas y la estación dieciséis se ubica en un canal (Figura 16).

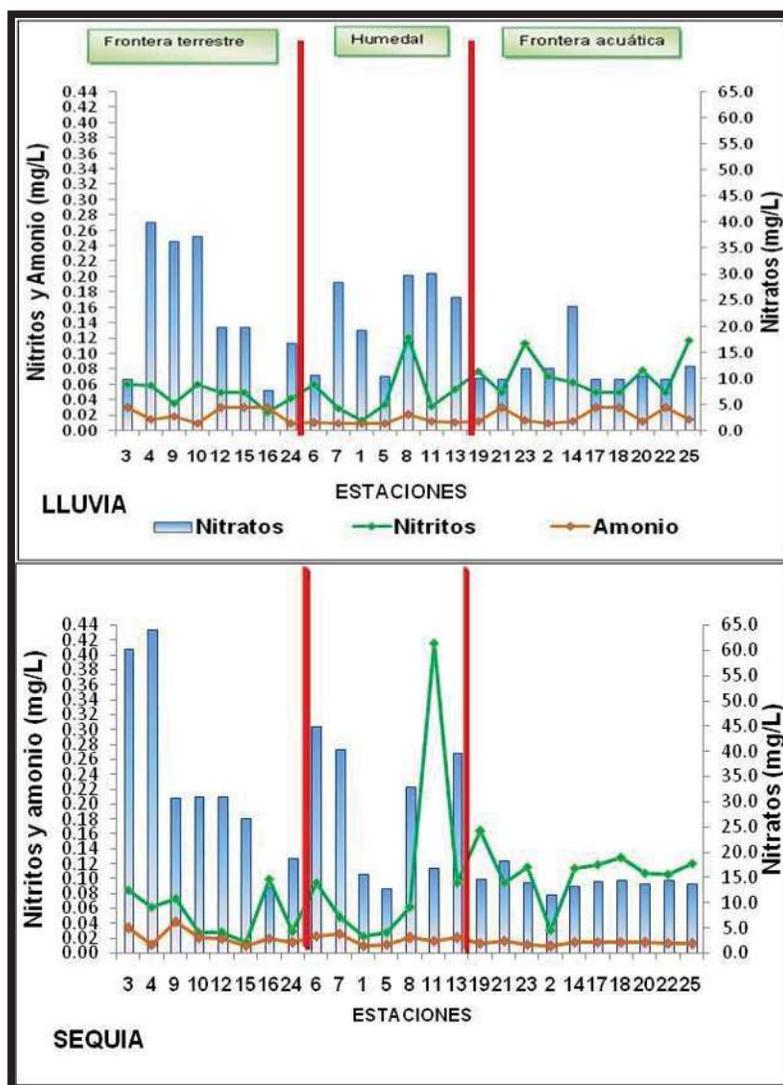


**Figura 16.**Relacion de los sólidos suspendidos totales y la turbidez en la temporada de sequia y lluvia en el humedal Ramsar-Pátzcuaro.

En el ecosistema se obtuvo un promedio anual de fósforo total de 468.1µg/L, el cual disminuye en la temporada de lluvia a 300.4µg/L y aumenta en sequia a 461.5 µg/L (tabla 3). Los niveles máximos se registraron en la frontera terrestre (814µg/L), seguidos de 305µg/L en la frontera acuática con un mínimo en el humedal con 277µg/L. El ortofosfato presentó un promedio anual de 168.7 µg/L, aumenta ligeramente a 169.6µg/L en lluvia y disminuye a 145.2 µg/L en sequia (Tabla 3).

El promedio de los nitratos en la temporada de lluvia fue de 15mg/L, con un valor máximo de 40.1mg/L en la frontera terrestre (estación 4) y un mínimo de 7.9mg/L en la misma frontera (estación 16). Conforme a los nitritos, estos presentaron un promedio de 0.04mg/L, con un valor máximo de 0.12mg/L en el humedal (estación 8) y un mínimo de 0.01mg/L en el humedal (estación 1). El promedio del amonio en la misma temporada fue de 0.03mg/L con un valor máximo de 0.03mg/L en la frontera terrestre (estaciones 3, 12, 15 y 16) y frontera acuática (estaciones 21, 17, 18 y 22), en donde se obtuvo un mínimo de 0.01mg/L en las tres fronteras del humedal (Figura 17).

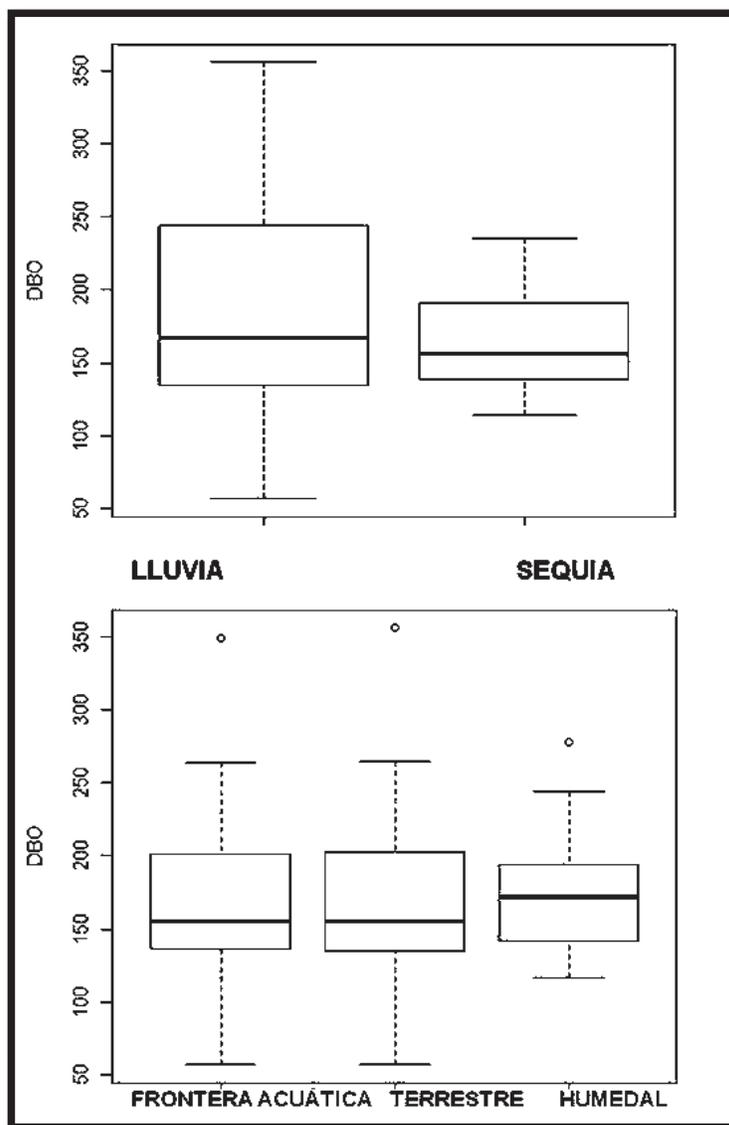
En la temporada de sequía la concentración promedio de nitratos fue de 24.9mg/L, con un máximo en la frontera terrestre de 64mg/L (estación 4) y de 12.5mg/L en la frontera acuática (estación 2). Los nitritos en temporada de sequía presentaron un promedio de 0.09mg/L, el máximo se encontró en el humedal (estación 11) con 0.42mg/L y el mínimo (0.01 mg/L) en la frontera terrestre (estación 15). El promedio del amonio en la misma temporada fue de 0.02mg/L, con un máximo de 0.04mg/L en la frontera terrestre (estación 9) y un mínimo de 0.01mg/L presentándose en las tres fronteras del humedal (Figura 17).



**Figura 17.** Distribución de los nitratos, nitritos y amonio en temporada de lluvia y sequia en el humedal Ramsar-Pátzcuaro.

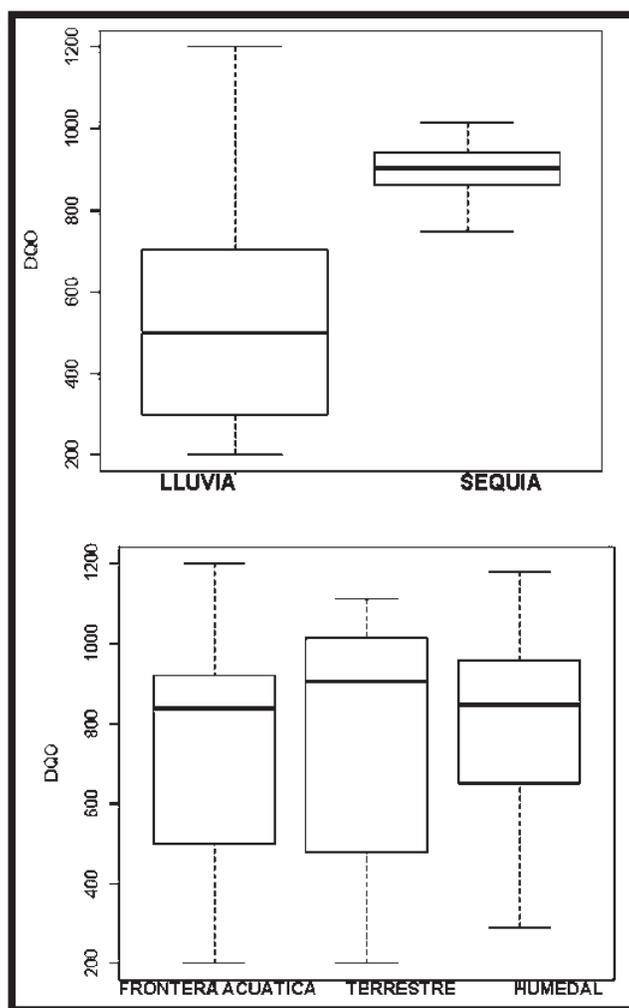
Las medias estadísticas de los contenidos de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) no presentaron diferencias significativas entre las dos épocas del año (P probabilidad) P=0.1774. En lluvia la media fue de 160mg/L, con una variación entre los sitios de muestreo de un máximo de 360mg/L y un mínimo de 60 mg/L. En la temporada de sequía la media fue de 150mg/L, en donde existe variación entre los sitios de muestreo, con un máximo de 225mg/L y un mínimo de 110 mg/L.

No hubo diferencias entre la frontera terrestre y frontera acuática pues el promedio fue de 150mg/L, con un máximo de 260mg/L y un mínimo de 60mg/L, el promedio del humedal fue de 160mg/L, con un máximo de 240mg/L y un mínimo de 110mg/L, en donde hubo variación entre los sitios de muestreo, además de que no existieron diferencias significativas entre las tres fronteras del humedal con una  $P=0.9691$  (Figura 18).



**Figura 18.** Distribución de la demanda bioquímica de oxígeno por temporada y por zonas del humedal Ramsar-Pátzcuaro.

En la temporada de lluvia la media estadística de la demanda química de oxígeno (DQO) fue de 500mg/L, con un máximo de 1,200mg/L y un mínimo de 200mg/L además de que hubo variación entre los sitios de muestreo (figura 19). En la temporada de sequía la media estadística fue de 900mg/L, con un máximo de 1,000mg/L y un mínimo de 700mg/L, en donde no hubo diferencias entre los sitios de muestreo en comparación con la temporada de lluvia, además de que hubo diferencias significativas entre las dos temporadas del año con una  $P=4.5588e^{-05}$ . En las fronteras del humedal no hubo diferencias significativas con una  $P=0.8829$  en donde la media en la frontera acuática (FA) y en el humedal fue de 810mg/L. En la frontera terrestre (FT) la media fue de 900mg/L. Donde hubo variación entre los sitios de muestreo fue solamente en la frontera terrestre y acuática (Figura 19).

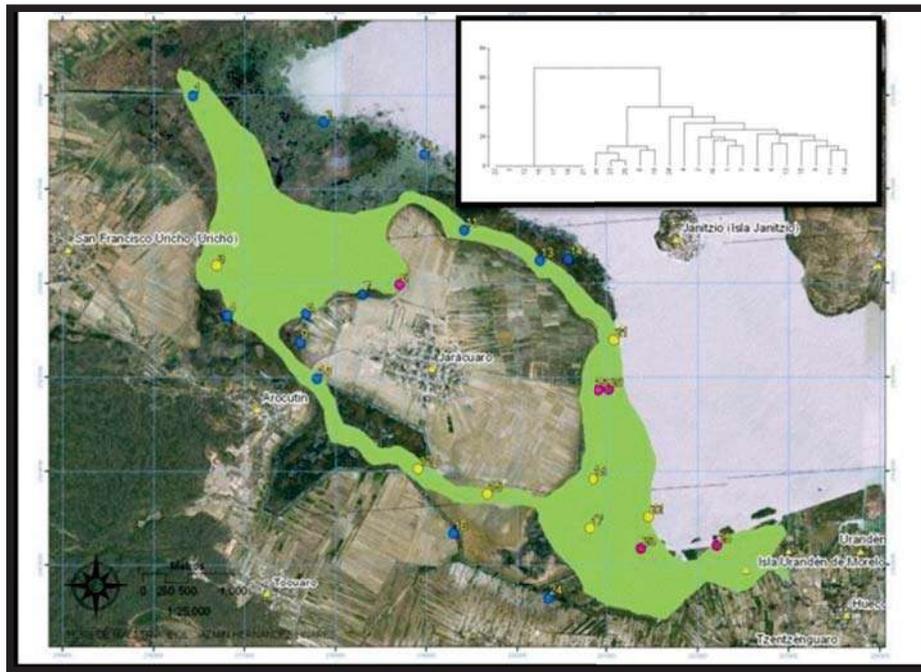


**Figura 19.** Distribución de la demanda química de oxígeno por temporada y por zonas del humedal Ramsar-Pátzcuaro.

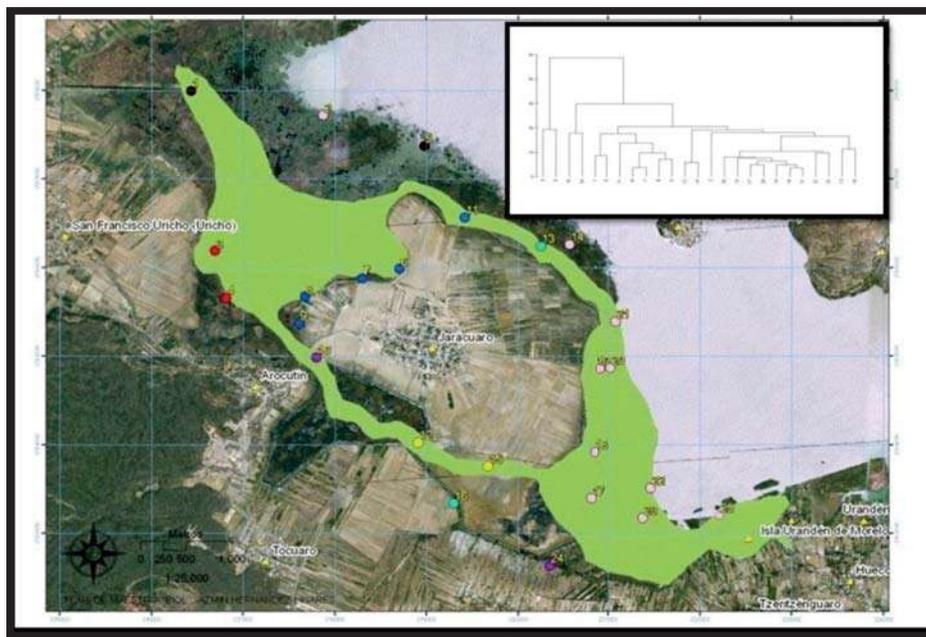
El análisis multivariado aplicado (Análisis Clúster) generó tres grupos de estaciones con tendencias similares con las variables fisicoquímicas en agua en la temporada de lluvia, el primer grupo está conformado por estaciones de la frontera terrestre y acuática, (dominando la frontera acuática), el segundo grupo por estaciones de la frontera acuática y humedal (dominando la frontera acuática) y el tercer grupo lo conforman estaciones de las tres fronteras (dominando la frontera terrestre) (Figura 20).

En la temporada de sequía se crearon siete grupos, el primero está conformado por estaciones de la frontera terrestre, el segundo con estaciones de la frontera terrestre, tercer grupo por estaciones del humedal, cuarto grupo por estaciones de la frontera terrestre y humedal (dominando el humedal), quinto grupo por estaciones de la frontera terrestre, sexto grupo por estaciones de la frontera acuática y el último grupo por frontera terrestre y humedal (Figura 21).

El análisis factorial mostró las variables que más influyeron en el humedal en las dos temporadas del año, siendo en la temporada de lluvia la clorofila, los sólidos suspendidos totales (SST), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), turbidez, sólidos sedimentables (SS), dureza de magnesio, nitritos y bicarbonatos (Tabla 3). A diferencia de la temporada de sequía las variables fueron dureza total, sólidos disueltos totales (SDT), DBO, alcalinidad total, conductividad, SS y bicarbonatos, en donde el factor 1 tiene un porcentaje total de varianza del 54% en lluvia y un 56% en sequía (Tabla 4).



**Figura 20.** Imagen del agrupamiento de las estaciones de muestreo de acuerdo a las variables fisicoquímicas de agua en la temporada de lluvia, en el humedal Ramsar-Pátzcuaro.



**Figura 21.** Imagen del agrupamiento de las estaciones de acuerdo a las variables fisicoquímicas de agua en la temporada de sequia, en el humedal Ramsar-Pátzcuaro.

**Tabla 3.** Dominancia de variables de agua en lluvia.

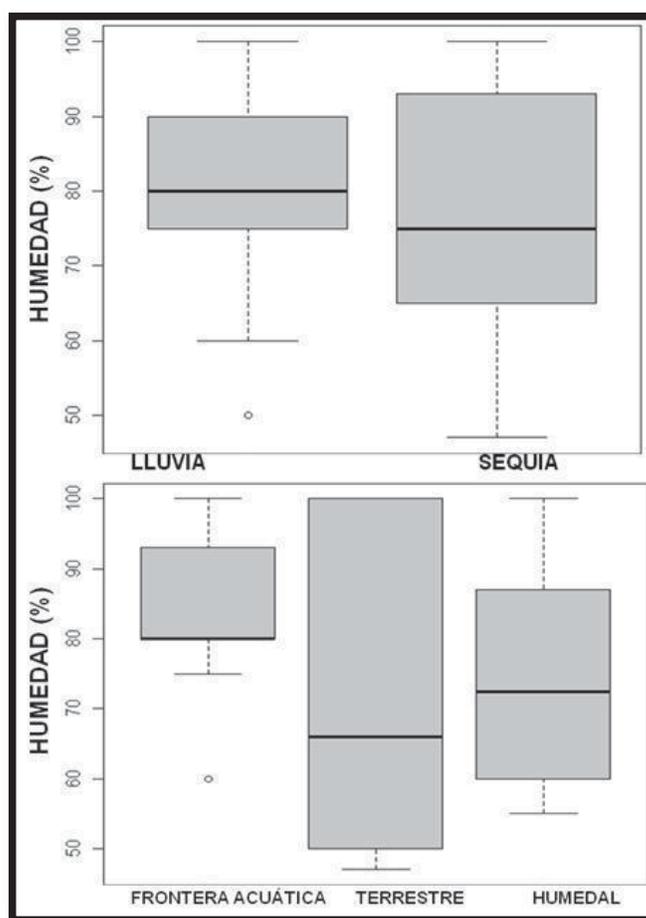
LLUVIA	FACTOR 1
Clorofila	0,971238
SST	0,941784
DBO	0,890296
Turbidez	0,870229
SS	0,872582
Dureza de magnesio	-0,724004
Nitritos	0,713672
Bicarbonatos	0,703642

**Tabla 4.** Dominancia de variables de agua en sequia.

SEQUIA	FACTOR 1
Dureza total	0,944971
SDT	0,770498
DBO	0,753470
Alcalinidad total	0,742667
Conductividad	0,721759
SS	0,714980
Bicarbonatos	0,706381

## 8.2. Composición fisicoquímica de sedimentos

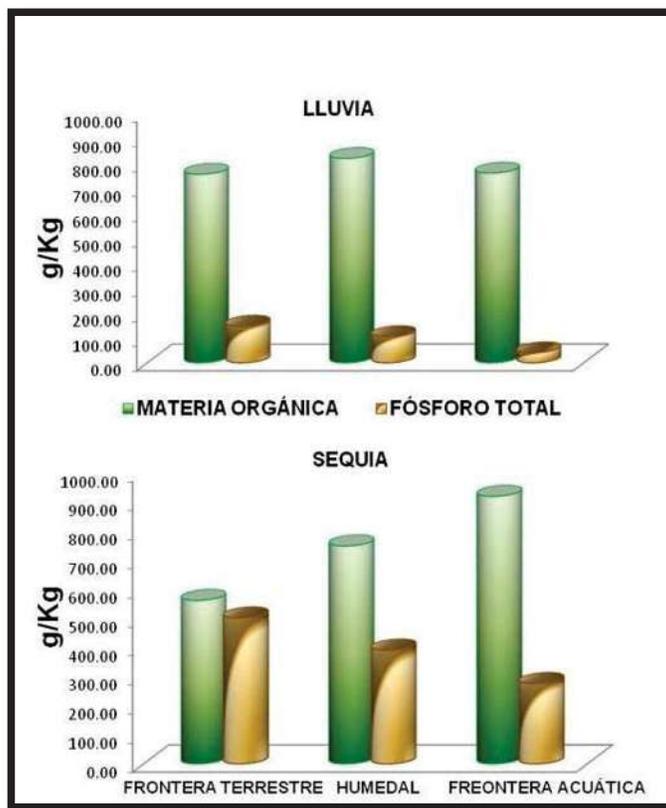
De acuerdo a la prueba de Shapiro Wilk los datos de humedad en sedimento muestran tendencia de variación entre lluvia y sequia, en donde en la temporada de lluvia se obtuvo una media de 80%, en donde existe variación entre los sitios de muestreo. En esta temporada se obtuvo como máximo un 100% de humedad y un mínimo de 60, mientras que en la temporada de sequía la media fue de 75% Probabilidad (P)  $P= 0.6556 > 0.05$ . La humedad en las tres fronteras del humedal (frontera terrestre, humedal y frontera acuática) presentaron un máximo de 100% y un mínimo de menos de 50% de humedad en la frontera terrestre  $P= 0.5512 > 0.05$  (Figura 22).



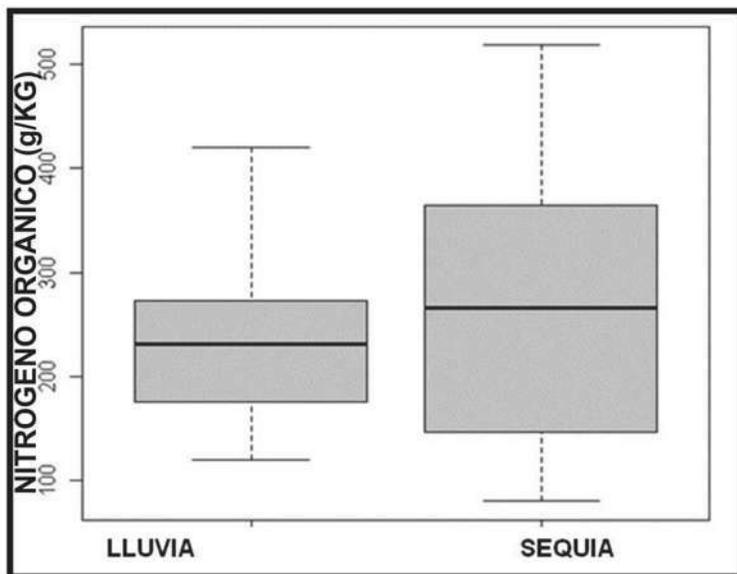
**Figura 22.** Porcentaje de humedad de sedimento por temporada y por zonas del humedal Ramsar-Pátzcuaro.

Se tiene un promedio de 778g/Kg de materia orgánica en todo el ecosistema, en donde el mayor contenido de la materia orgánica en la temporada de lluvia se presentó en el humedal con 821g/kg, seguido de la frontera acuática con 763g/Kg y finalmente un mínimo en la frontera terrestre con 758g/Kg. La máxima concentración de fósforo total se encontró en la frontera terrestre con 147g/Kg, seguida del humedal con 105 g/Kg y la mínima en la frontera acuática con 40g/Kg. En la temporada de sequía la máxima concentración de la materia orgánica se encontró en la frontera acuática con 920 g/Kg, seguida del humedal con 750 g/Kg y finalmente la mínima concentración se encontró en la frontera terrestre con 563 g/Kg. Con respecto al fósforo total en esta misma temporada se tiene que la máxima concentración de este se encontró en la frontera terrestre con 502 g/Kg, seguido del humedal con 392 g/Kg y una mínima concentración en la frontera acuática con 277 g/Kg (Figura 23).

El nitrógeno orgánico no presentó diferencias significativas entre las dos épocas del año. En la temporada de lluvia la media estadística fue de 220g/Kg, en donde hubo variación entre los sitios de muestreo, con un máximo de 410g/kg y un mínimo de 110g/kg. En la temporada de sequía la media estadística fue de 280g/Kg, cuya variación entre los sitios de muestreo tuvo como mínima 100g/kg y un máximo de más de 500g/kg  $P=0.6412>0.05$  (Figura 24).



**Figura 23.** Concentracion de la materia orgánica y fósforo total en sedimento en la temporada de lluvia y sequia en el humedal Ramsar-Pátzcuaro.



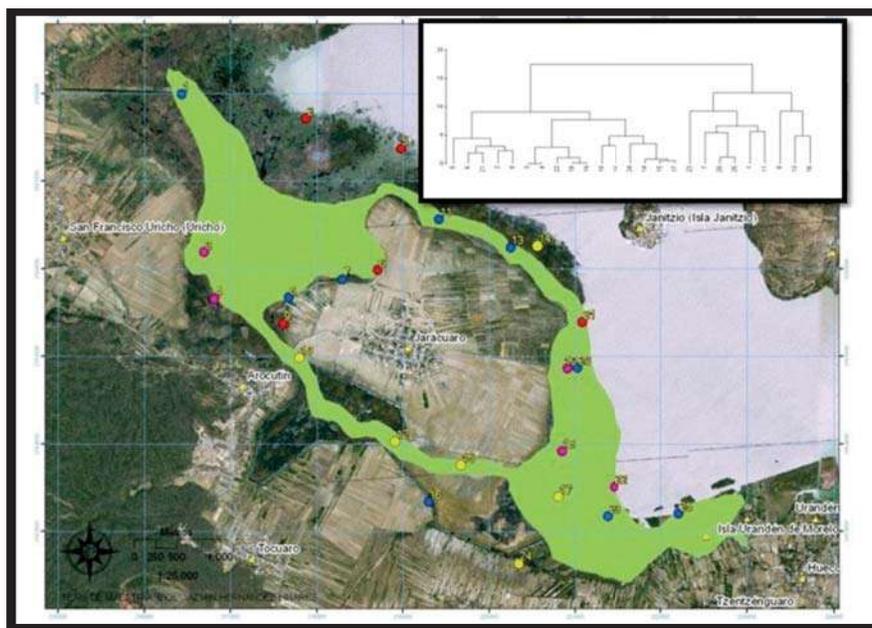
**Figura 24.** Distribución del nitrógeno orgánico en sedimentos en la temporada de lluvia y sequia en el humedal Ramsar-Pátzcuaro.

Derivado del análisis multivariado de Clúster en sedimentos se crearon cuatro grupos de sitios de muestreo en la temporada de lluvia de acuerdo , el primero está conformado por las tres fronteras del humedal, dominado por las estaciones del humedal y la frontera acuática; el segundo grupo lo conforman la frontera acuática y terrestre dominado por la frontera acuática; el tercer grupo se integra por las frontera terrestre y acuática, dominando la frontera terrestre; finalmente el cuarto grupo está conformado por las tres fronteras, dominando el estaciones del humedal (Figura 25). En la temporada de sequía se crearon tres grupos, el primero conformado por las tres fronteras, dominando la frontera acuática; el segundo dominado por la frontera terrestre, y el tercer grupo incluye la frontera acuática y el humedal, dominando la frontera acuática (Figura 26).

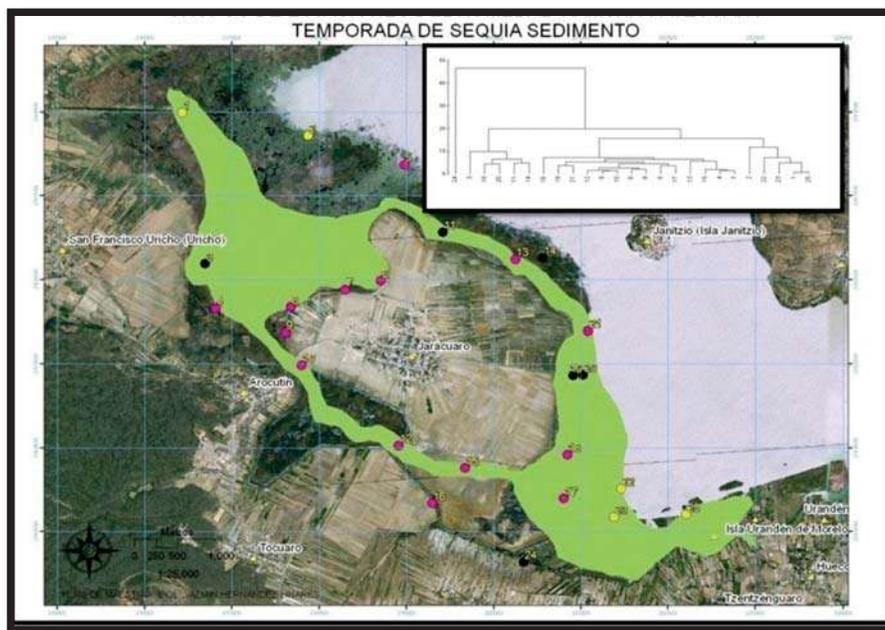
Los resultados del análisis granulométrico integran a los sedimentos en 5 grupos de acuerdo a su textura. El grupo I incluye la clase textural franco-areno-arcilloso presente en la frontera terrestre en un 38 %, en el humedal en un 33% y en la frontera acuática en un 55%. Grupo II franco-arenosa en la frontera terrestre con un 31%, en el humedal en un 25% y en la frontera acuática en un 16%. Grupo III franco-arcillosa en la frontera terrestre en un 21%, el humedal en un 10% y en la frontera acuática en un 20%. Grupo IV Areno-francosa en la frontera terrestre con un 10%, en el humedal en un 15 % y en la frontera acuática en un 8%. Finalmente el grupo V franca este en la frontera terrestre no presento valor, en el humedal se encontró en un 18% y en la frontera acuática en un 2% (Tabla 5).

**Tabla 5.** Porcentaje anual de textura del sedimento en la frontera terrestre (FT), humedal (H) y frontera acuática (FA) en el humedal Ramsar-Pátzcuaro.

CLASE TEXTURAL	TEXTURA	FT	H	FA
<b>Franco-areno-arcilloso</b>	Moderadamente fina	38	33	55
<b>Franco-arenosa</b>	Moderadamente gruesa	31	25	16
<b>Franco-arcillosa</b>	Moderadamente fina	21	10	20
<b>Areno-francosa</b>	Gruesa	10	15	8
<b>Franca</b>	Media	0	18	2



**Figura 25.** Agrupamiento de las estaciones de acuerdo a las variables fisicoquímicas en sedimento en la temporada de lluvia, en el humedal Ramsar-Pátzcuaro.



**Figura 26.** Agrupamiento de las estaciones de acuerdo a las variables fisicoquímicas en sedimento en la temporada de sequia, en el humedal Ramsar-Pátzcuaro.

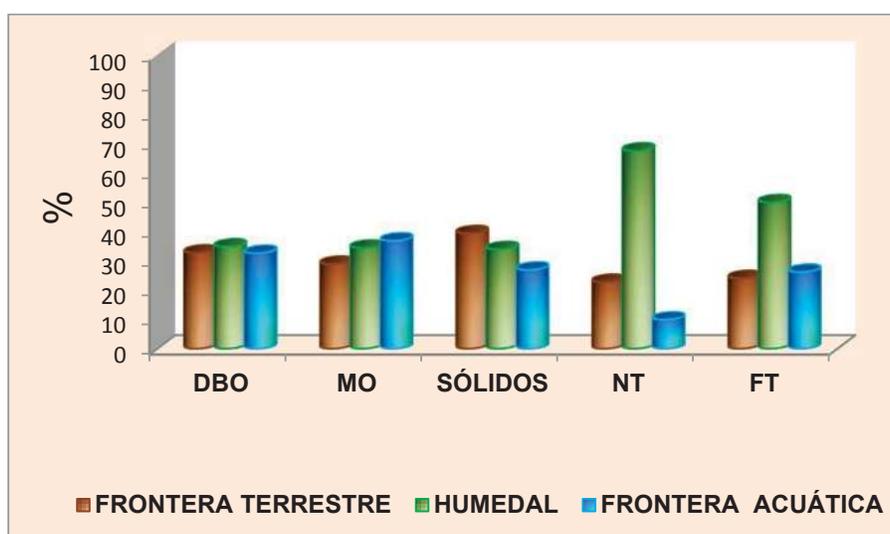
El análisis factorial mostro las variables en sedimento que más influyeron en el humedal en las dos temporadas del año, siendo en la temporada de lluvia la materia orgánica y la humedad (Tabla 7). A diferencia de la temporada de sequia solo fue el fósforo total, donde el factor 1 tiene un porcentaje total de varianza del 52% en lluvia y un 50% en sequia (Tabla 6).

**Tabla 6.** Dominancia de variables de sedimento en lluvia y sequia.

<b>LLUVIA</b>	<b>FACTOR 1</b>
Materia orgánica	-0,897449
Humedad	-0,826069
<b>SEQUIA</b>	<b>FACTOR 1</b>
Fósforo total	0,712643

### 8.3. Capacidad sortiva del humedal

Se obtuvo una máxima capacidad sortiva anual (CS) para la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) en la frontera del humedal de 35% , con un promedio de 183mg/L, materia orgánica (MO) la máxima CS se encontró en la frontera acuática con 37% con un promedio de 842g/Kg, sólidos una máxima en la frontera terrestre con un 39% CS con un promedio de 1,652 mg/L , nitrógeno total (NT) una máxima CS en el humedal con un 67% teniendo un promedio de 150mg/L ,y la máxima CS de fósforo total (FT) se reporto al igual en el humedal con un 50% en donde el promedio fue de 203mg/L. En donde la máxima retención fue de NT con un 58% y FT con un 50 % (Figura 27).



**Figura 27.** Porcentaje de la capacidad sortiva en el humedal Ramsar-Pátzcuaro.

Con respecto a la eficiencia total del ecosistema se tiene que en la frontera terrestre llegan anualmente 1.26 mL/L de sólidos sedimentables (SS) se retiene al año 1.12 mL/L que equivale a una eficiencia máxima de 89%, de ortofosfato llegan 332  $\mu\text{g/L}$ , donde el humedal retiene anualmente 262  $\mu\text{g/L}$ , 788  $\mu\text{g/L}$  de fósforo total en donde el humedal de Pátzcuaro retiene 484  $\mu\text{g/L}$  reflejado en un 61%, nitratos 30mg/L reteniendo 16mg/L equivalente a un 54%, sólidos disueltos totales (SDT) llegan 1,023 mg/L reteniendo 361mg/L equivalentes a un 35%. El humedal también retiene amonio, clorofila, sólidos suspendidos totales (SST) pero en un porcentaje menor de 30% (Figura 28 y tabla 7).

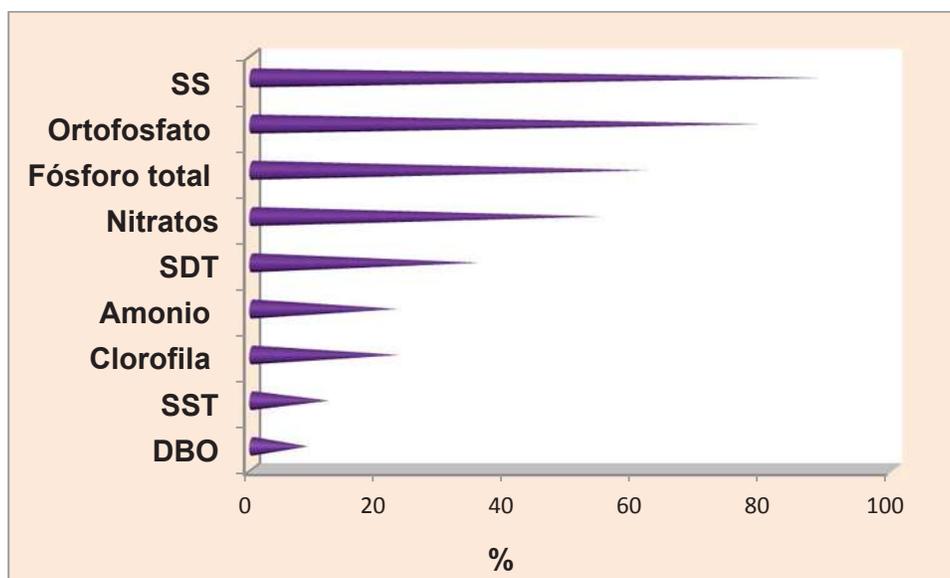


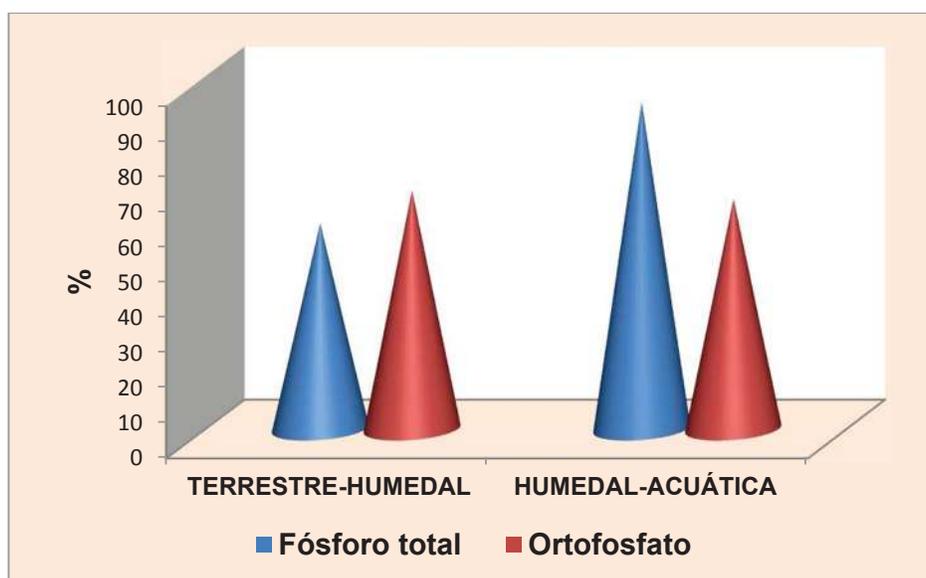
Figura 28. Porcentaje de la eficiencia total del humedal Ramsar-Pátzcuaro.

Tabla 7. Porcentaje de absorción en las diferentes fronteras del humedal.

VARIABLES	TIERRA HUMEDAL	HUMEDAL	HUMEDAL AGUA	RETIENE	% EFICIENCIA TOTAL
Fósforo total (µg/L)	788	327	304	484	61
Ortofosfato (µg/L)	332	107	70	262	79
Nitratos (mg/L)	30	27	14	16	54
Amonio (mg/L)	0.02	0.02	0.01	0.01	23
Clorofila (mg/m <sup>3</sup> )	23	21	18	5	23
SST (mg/L)	495	548	436	59	12
SDT (mg/L)	1023	990	663	361	35
SS (mL/L)	1.26	0.65	0.15	1.12	89

Con respecto a la eficiencia por fronteras se tiene que en la frontera terrestre-humedal retiene 226 µg/L de ortofosfato equivalentes a un 68%, fósforo total retiene 461µg/L equivalentes a un 58%, sólidos sedimentables 0.62 equivalentes a un 49%. Al igual que en la retención total del humedal también existe retención de clorofila, nitratos y sólidos disueltos totales pero menores del 20%.

La frontera del humedal-acuática retiene 23 $\mu$ g/L fósforo total equivalente a un 93%, de clorofila 88%, nitritos un 87%, de sólidos suspendidos totales retiene un 111 mg/L equivalentes a un 80%, amonio retiene 0.01 mg/L equivalentes a un 73%, sólidos disueltos totales retiene un 327mg/L que equivale a un 67%, ortofosfato resulta un 37 $\mu$ g/L que corresponde a un 65%, nitratos resultan 13mg/L equivalentes a 52% y finalmente los sólidos sedimentables la retención es menor del 25% (Figura 29-32).



**Figura 29.** Porcentaje de eficiencia por fronteras del humedal del fósforo total y ortofosfato.

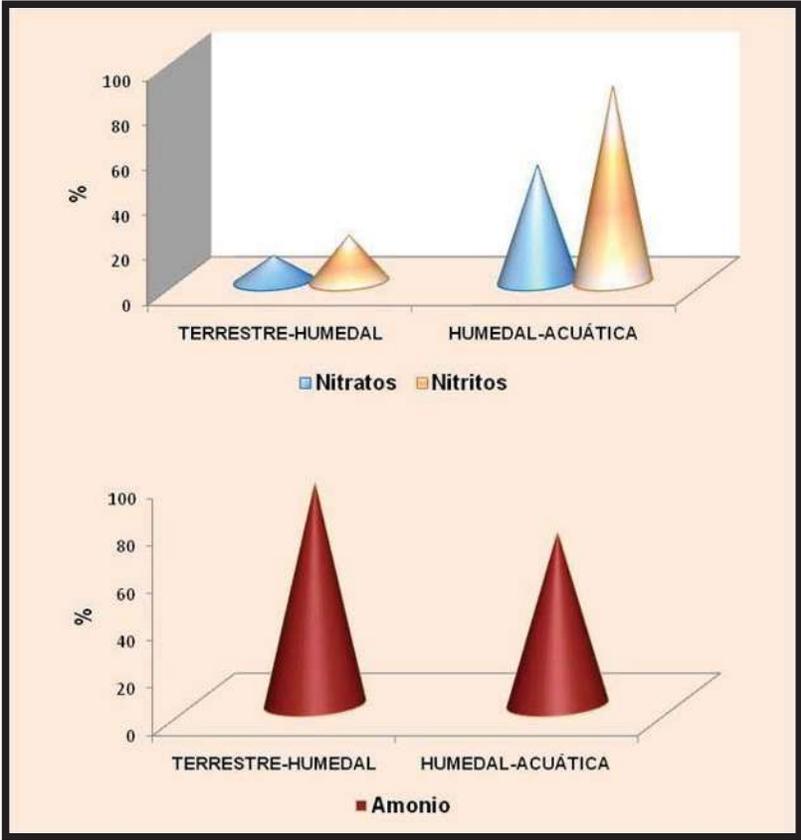


Figura 30. Porcentaje de eficiencia por fronteras del humedal de nitratos, nitritos y amonio.

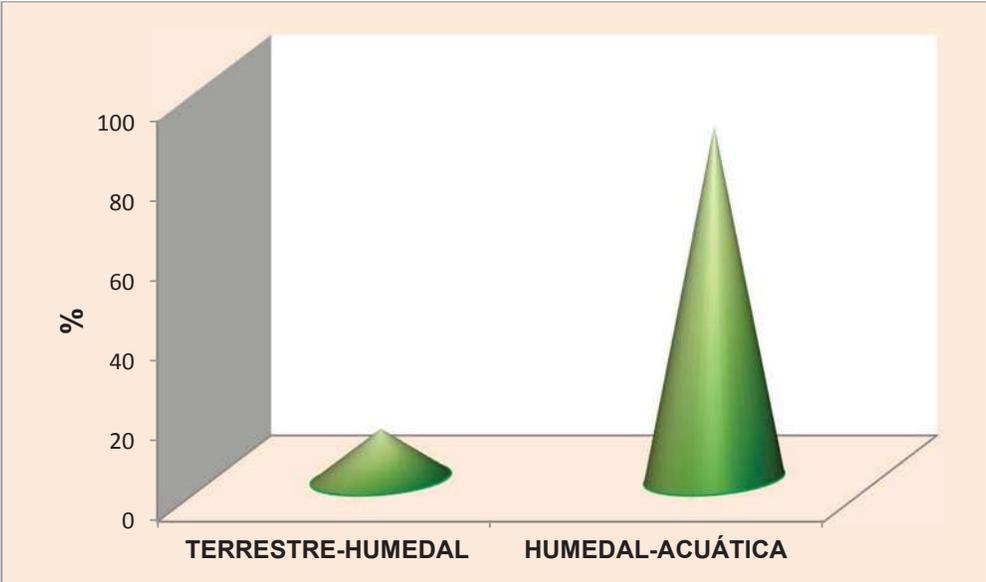
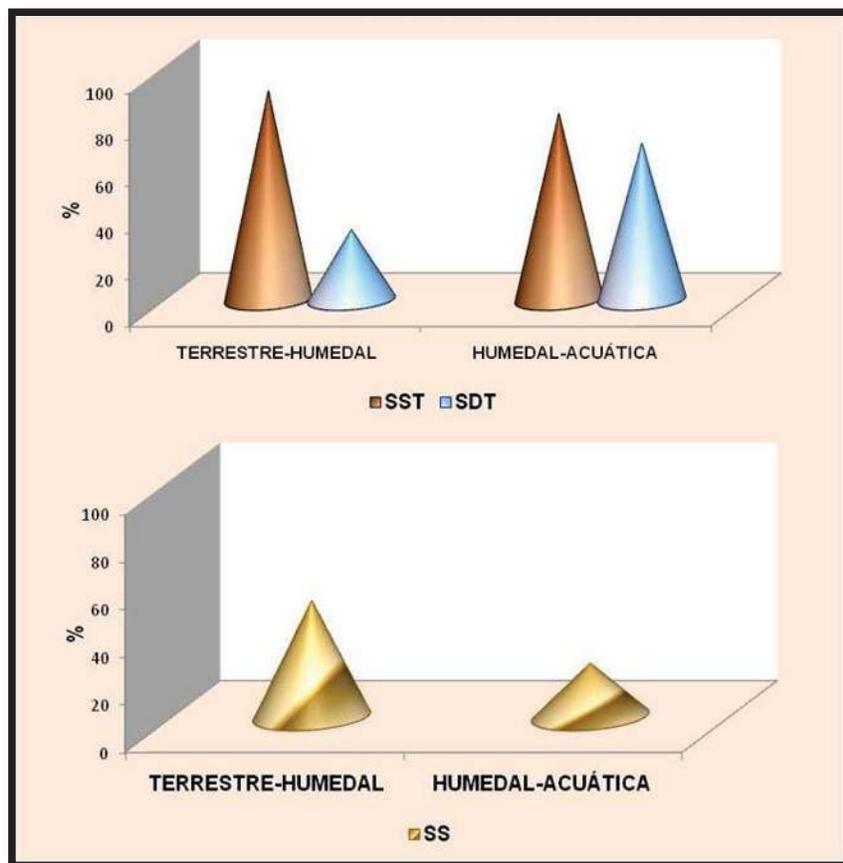
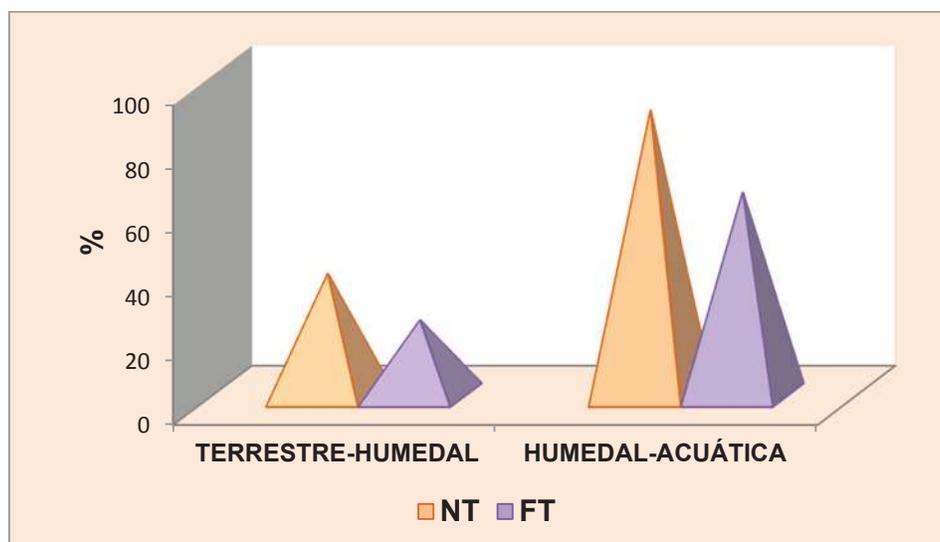


Figura 31. Porcentaje de la concentración de clorofila entre fronteras.



**Figura 32.** Porcentaje de eficiencia por fronteras del humedal de sólidos suspendidos totales (SST), sólidos disueltos totales (SDT) y sólidos sedimentables (SS).

De acuerdo a la eficiencia en sedimento la frontera terrestre- humedal retiene 158 g/kg de nitrógeno total que equivale a un 38%, de fósforo total retiene 77 g/kg equivalente a un 24%, en la frontera humedal acuática retiene 27 g/kg de nitrógeno total que equivale a un 89%, de fósforo total retiene 90 g/kg equivalentes a 64% (Figura 33).



**Figura 33.** Porcentaje de la capacidad sortiva de nitrógeno total (NT) y fósforo total (FT) por fronteras.

Los resultados de las concentraciones de las variables fisicoquímicas que entran y salen del humedal, hubo mayor porcentaje de absorción en la temporada de sequia en ortofosfato en donde se retuvo 344 $\mu$ g/L, nitratos retuvo 22mg/L, nitrógeno en sedimento 320g/Kg y dureza total se retuvo 231mg/L, también existió absorción en la conductividad, fósforo total en sedimento y sólidos disueltos totales (SDT) pero en un porcentaje menor al 50% (Tabla 8).

En la temporada de lluvia también se presentó mayor absorción en el ortofosfato en donde se retuvo 396 $\mu$ g/L, fósforo total en sedimento se retuvo 107 $\mu$ g/L, nitratos 17mg/L, la absorción de SDT, conductividad, dureza total y nitrógeno total en sedimento fue menor al 50% (Tabla 9).

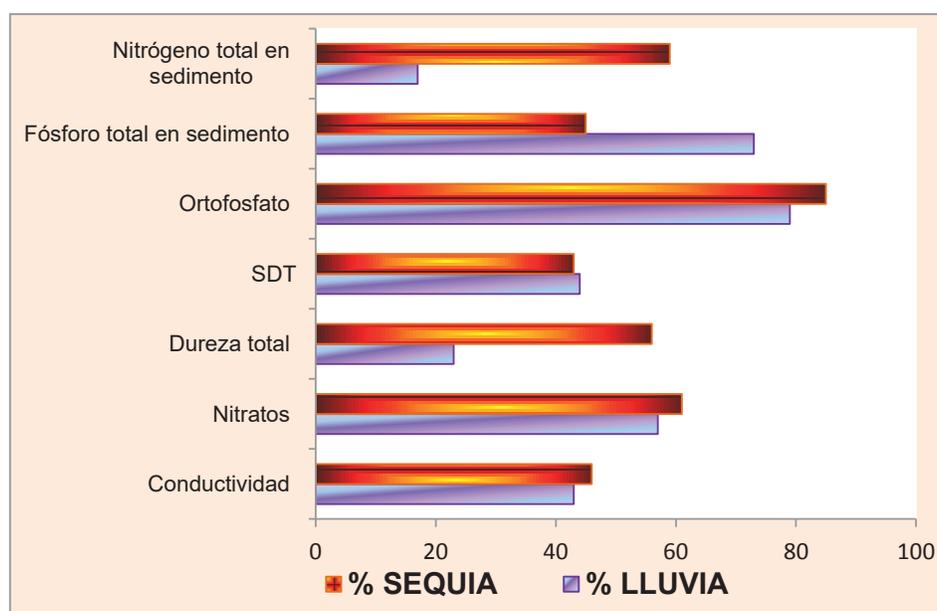
Donde se obtuvo mayor porcentaje de absorción fue en nitrógeno total en sedimento en la temporada de sequia con una diferencia de 42% con la temporada de lluvia, seguido del fósforo total en sedimento en lluvia con una diferencia de 28% con la temporada de sequia, dureza total en la temporada de sequia con una diferencia de 33% con la temporada de lluvia, existió una menor absorción en el ortofosfato con una diferencia de 6% de sequia a lluvia. Finalmente en conductividad, nitratos y SDT hubo una diferencia menor del 5% entre cada temporada (Figura 34).

**Tabla 8.** Porcentaje de absorción en sequia del humedal Ramsar-Pátzcuaro.

VARIABLE SEQUIA	ENTRA	SALE	%
<b>Ortofosfato (µg/L)</b>	405	61	<b>85</b>
<b>Nitratos (mg/L)</b>	36	14	<b>61</b>
<b>Nitrógeno total en sedimento (g/Kg)</b>	546	226	<b>59</b>
<b>Dureza total (mg/L)</b>	415	184	<b>56</b>
Conductividad (µS/cm)	1,998	1,802	46
Fósforo total en sedimento (g/Kg)	502	277	45
Sólidos disueltos totales (mg/L)	1,187	674	43

**Tabla 9.** Porcentaje de absorción en lluvia del humedal Ramsar-Pátzcuaro

VARIABLE LLUVIA	ENTRA	SALE	%
<b>Ortofosfato (µg/L)</b>	499	103	<b>79</b>
<b>Fósforo total en sedimento (g/Kg)</b>	147	40	<b>73</b>
<b>Nitratos (mg/L)</b>	30	13	<b>57</b>
Sólidos disueltos totales (mg/L)	822	461	44
Conductividad (µS/cm)	1,320	757	43
Dureza total (mg/L)	214	165	23
Nitrógeno total en sedimento (g/Kg)	280	233	17



**Figura 34.** Porcentaje de absorción en sequia y lluvia en el humedal Ramsar-Pátzcuaro.

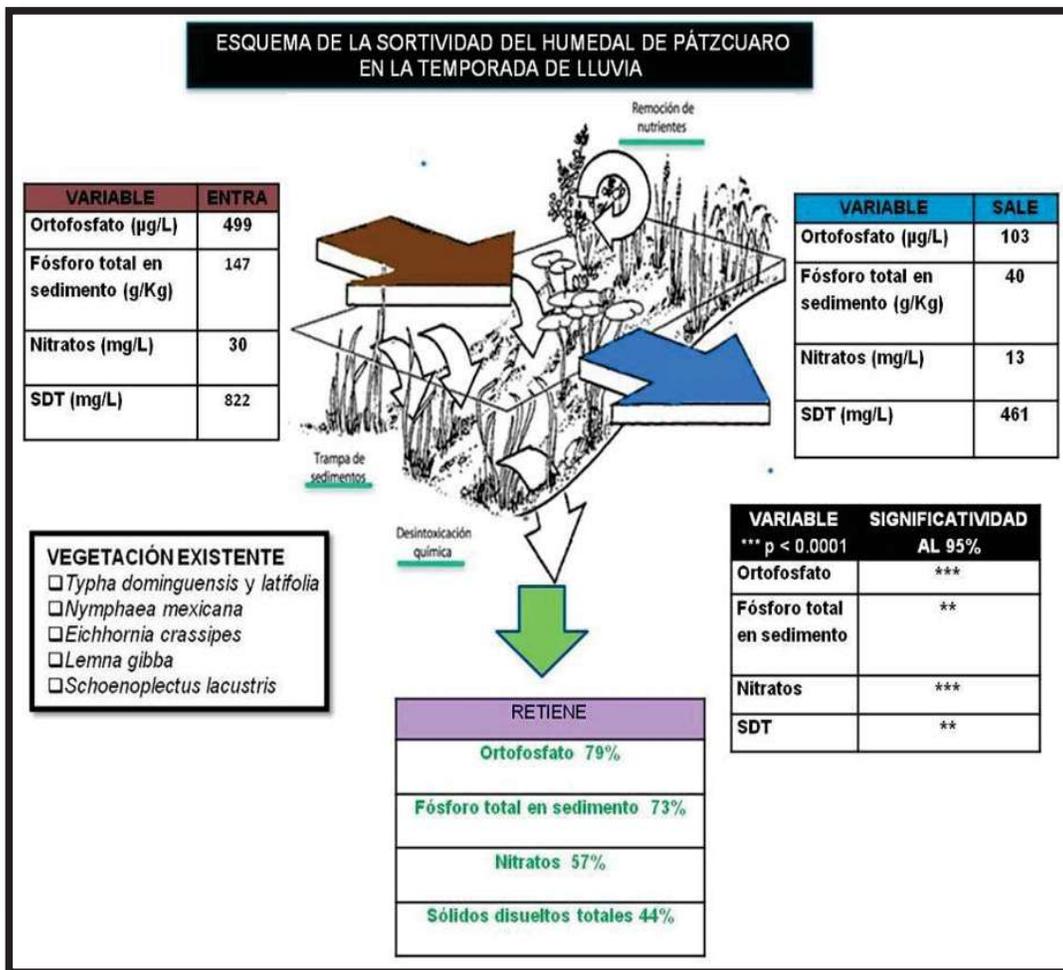


Figura 35. Esquema de sortividad en lluvia.

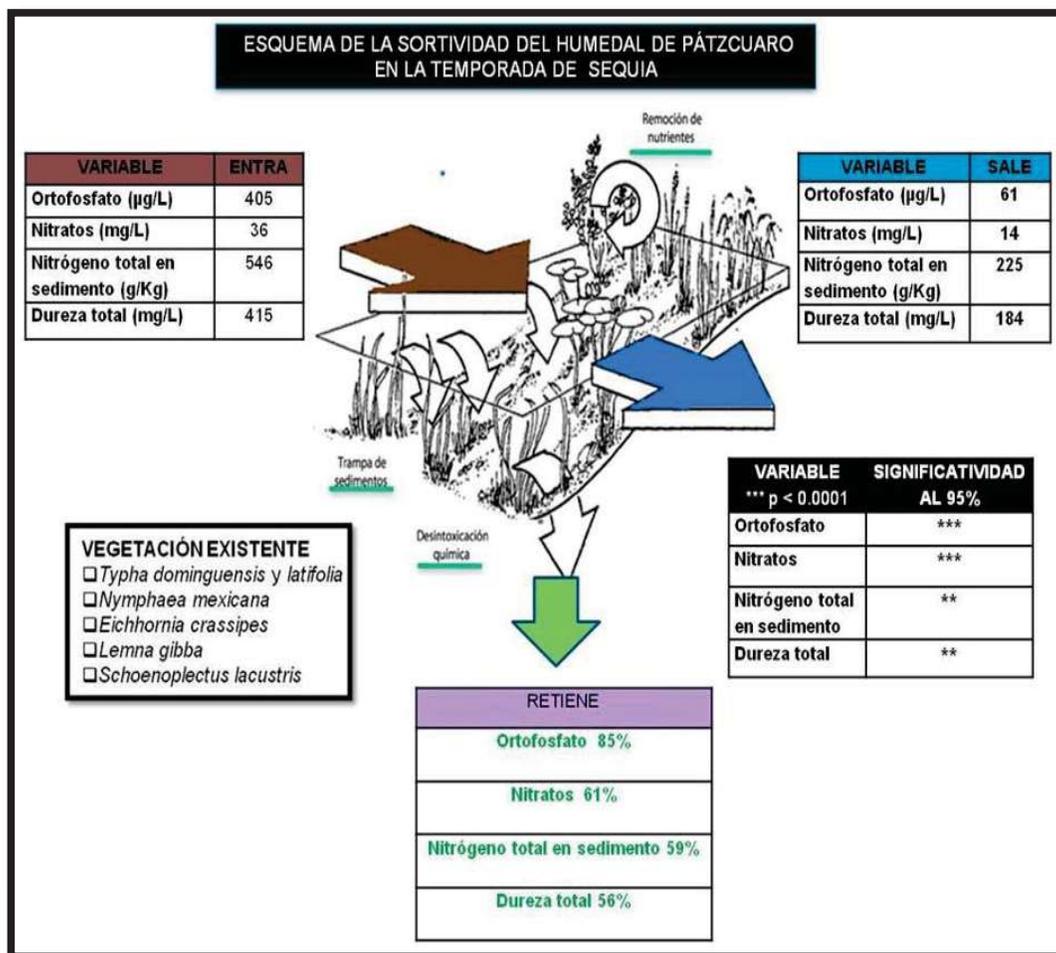


Figura 36. Esquema de sortividad en sequia.

## IX. DISCUSIÓN

El humedal de Pátzcuaro presenta una temperatura constante ya que estos ecosistemas se caracterizan por estabilizar la temperatura del lugar donde se encuentran. El Índice de Calidad de Agua muestra que los valores de temperatura de 30.0 °C y 24.4 °C, como los límites hasta los cuales la temperatura se asocia con una condición buena para el ecosistema (rangos donde entra la temperatura del humedal).

El potencial de Hidrógeno del humedal es alcalino en donde existe producción de dióxido de carbono y poco oxígeno, el pH del humedal es semejante a uno de Valencia, estudiado por Rodrigo *et al.* (2001) (pH 8). El pH aumenta ligeramente en el humedal vegetado, probablemente como consecuencia de la mayor actividad heterótrofa en dicha parte esto confirman estudios previos de Álvarez y Bécares (2005). De acuerdo a la alcalinidad total el humedal es considerado con alta capacidad de amortiguación, en donde existe una disolución de bicarbonato de calcio haciendo que esta variable aumente, ayudando a que el ecosistema tenga una gran capacidad de amortiguación a sustancias con características ácidas que ingresen en él. La alcalinidad disminuye en la frontera acuática por contar con más volumen en esta área, por lo tanto la concentración de bicarbonatos y carbonatos reduce.

El humedal presenta una alta conductividad debido a la resuspensión de los sedimentos por la acción del viento, partículas que llegan de arrastre y a la elevada productividad y carga de materia orgánica. Esto semejante a las lagunas del centro en Argentina en donde estas presentan conductividades de hasta 2,000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en donde además se registró la existencia de *Typha dominguensis* (Perotti *et al.* 2005). En donde además en el humedal de Pátzcuaro se ejerce un proceso de transformación por presentar poco volumen de agua en donde ésta tiene mayor contacto con la atmósfera donde existe intercambio de reacciones, conforme el humedal adquiere mayor volumen de agua se aleja de esta relación. Existe una disminución en las estaciones del humedal hacia la frontera acuática, lo que demuestra que el humedal funciona como un filtro donde quedan retenidas las partículas.

Estos ecosistemas tienen el oxígeno como limitante, debido a que las plantas no son capaces de suministrar el oxígeno a la velocidad requerida por las cargas orgánicas y tienden a que la nitrificación ocurra a muy bajos niveles (5mg/L) (Hernández-Ruiz *et. al.* 2012). Igualmente esta restricción también probablemente se deba principalmente al aumento de la demanda de este gas por parte de los microorganismos heterótrofos, al igual por los procesos de oxidación de la materia orgánica y procesos de nitrificación. Aún con lo anterior es posible que los procesos de descomposición de la materia orgánica y la oxidación se encuentren en equilibrio. Los datos anteriores se asemejan con los humedales del altiplano (Vázquez *et. al.* 2006) en donde menciona el autor que en estos ecosistemas prevalece la baja concentración de oxígeno, así como también una menor penetración de la luz solar, debido a las descargas de materia orgánica, provocando la desoxigenación de sus aguas.

Los sólidos cuando son resuspendidos incrementan la cantidad de materia orgánica que se resuspende y diluye en el agua. Al aumentar la disolución de materia orgánica se consume más oxígeno disuelto del agua y por lo tanto se resta capacidad de carga para las poblaciones de organismos que requieren del oxígeno como gas de intercambio. Lo anterior es crítico para especies como charales y pez blanco que son poco tolerantes a la disminución de este gas.

El fósforo total en este ecosistema podría ser clasificado según los rangos propuestos por varios autores como hipertrófico (esto semejante a los resultados obtenidos por Schenon *et al.* (2007) y Medina (2006). La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE, 1982), califica como hipertróficas las aguas de los humedales cuya concentración se encuentra por encima de 100µg/L rango semejante a la laguna de Carravalseca en España. En el humedal de Pátzcuaro los niveles máximos se encontraron en la frontera terrestre, esto probablemente al predominio de áreas agrícolas cercanas a esta frontera y al incorporación de aguas sin tratar de uso doméstico, en donde existe el arrastre del fósforo ligado a las partículas erosionadas de los suelos en donde es la principal fuente de contaminación.

Este efecto se incrementa con ciertas prácticas como el arado en el suelo a profundidades altas.

El humedal presenta concentraciones de nitratos superiores a 5mg/L, esto pueden indicar contaminación orgánica o efectos de fertilizantes según Brugnoli, 1999. Lo anterior también es debido a las poblaciones aledañas al humedal, en donde las causas de contaminación son por actividad antropogénica como la agricultura, ganadería, y el urbanismo, en donde estas actividades aportan nutrientes a los ecosistema acuáticos especialmente fósforo a través de los fertilizantes utilizados , así como por los residuos producidos por actividades como son los puestos de comida y el desecho que producen. De acuerdo a los ortofosfatos se le considera al humedal eutrófico (Henao 1987). Lo anterior concuerda con Viñals *et al.* en el (2001), en donde menciona que las concentraciones de nitratos y ortofosfatos están influidas por el régimen alternante de inundación-desección y por las quemas de carrizo momentos en los que se liberan nutrientes. Este hecho da lugar a concentraciones de clorofila elevadas propias de aguas eutróficas

De acuerdo a los resultados de calidad de agua y a los resultados estadísticos de la demanda química de oxígeno (DQO) y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) en el humedal de Pátzcuaro demuestran que llegan escorrentías de agua con contenidos inorgánicos, sin embargo la DBO<sub>5</sub> está por debajo de las concentraciones de DQO, en donde la remoción de esta variable se lleva a cabo por la absorción de compuestos orgánicos en solución y por oxidación bacterial, proceso por el cual los microorganismos utilizan el oxígeno que se encuentra en el cuerpo de agua cuando hay una descarga con un alto contenido de materia orgánica como sucede en el humedal de Pátzcuaro ,se da un cambio en la concentración del oxígeno disuelto en el agua y al mismo tiempo ocurre un aumento de de la DBO<sub>5</sub>. Además por lo general el agua lleva una cantidad de materia suspendida que impide el paso de la luz solar en el punto de la descarga impidiendo así la fotosíntesis de las plantas. La materia orgánica apunta Martin Mateo (1992) puede ser descompuesta microbiológicamente siempre y cuando exista oxígeno disuelto en cantidad

suficiente ; de lo contrario, la digestión aerobia se dificulta o resulta imposible por lo que las aguas se estancan en su proceso depurativo o no se regeneran adecuadamente.

El humedal presenta un sistema de amortiguamiento entre el medio la frontera terrestre y frontera acuática. De acuerdo con los resultados obtenidos en el presente estudio se distingue claramente una disminución sustancial entre las altas concentraciones de sólidos, nutrientes, materia orgánica, fósforo total y nitrógeno total en sedimento que ingresan del medio terrestre y aquellas que se generan dentro del humedal por eutroficación. La presencia de vegetación acuática así como la interface agua-sedimento induce la sedimentación de sólidos, acelera la descomposición orgánica y liberación de nutrientes que a su vez son absorbidos por las propias plantas para producir tejido vegetal. La relación de N/P aumenta durante la sequia, esta variación depende en gran parte del incremento en la concentración de fósforo que procede del lavado de los suelos y áreas agrícolas de la cuenca durante la estación de lluvias y de la descomposición de la materia orgánica.

Los sedimentos del humedal contienen mayor del 70% de humedad y de acuerdo con los criterios sugeridos por Alegría y Zamora (1985) se les clasifica como sedimentos húmedos a muy húmedos. En donde los suelos que mantienen la capa orgánica tienen una mayor capacidad de retención de humedad debido a que contienen poros de diversos tamaños, derivados de los residuos de plantas en diferentes estados de descomposición (Westlake *et al.* 1998) de ahí que su retención de agua es altamente significativa. Además son ecosistemas que se caracterizan por su rápida recuperación y alta densidad de vegetación, así lo afirma también Carcelén (2010) en su estudio realizado en la provincia de Carchí en la ciudad El Ángel, en donde además también encontró valores altos de materia orgánica, y nitrógeno total en sedimento, lo anterior ayuda a mantener este porcentaje de humedad .

En cuanto al nitrógeno orgánico en sedimento se observa que, existe mayor contenido de nitrógeno en la temporada de sequia, esto concuerda con los valores obtenidos por Medina (2006) en donde se observó un aumento de nitrógeno de la temporada de lluvia a sequia de unos 60g/Kg, lo anterior permite suponer que los resultados de nitrógeno total en el suelo se deben a los cambios en la profundidad del agua y duración de los períodos de inundación, que influyen en el proceso de mineralización y desnitrificación, en donde los procesos de absorción y transformación producen fuertes flujos de nitrógeno en los sedimentos del humedal. Esto debido a los escurrimientos de las localidades aledañas y de los cultivos cercanos a la frontera terrestre.

De acuerdo a la textura existe una distribución de las partículas en las diferentes fronteras del humedal, ya que este presenta su hidrodinámica hacia la zona norte, es decir la frontera acuática en donde se presento mayor porcentaje de arenas ya que estas son arrastradas y depositadas en la zona lacustre, lo que concuerda con los resultados obtenidos por Ayala *et. al.* (2008). En el humedal predominan tanto arenas como arcillas, las cuales son retenidas por lo que en la frontera acuática se encontró la textura franca, la cual presenta en su estructura mayor proporción de limos ya que son partículas con menor tamaño que las arenas y por consiguiente tienden a flocular en la frontera acuática.

La frontera humedal-acuática presento una máxima retención de nitrógeno total en agua, en donde comparado con el humedal estudiado por García (2008) el humedal de Pátzcuaro sobrepasa el porcentaje de absorción por un 11% comparado con el humedal estudiado por García, la absorción de fósforo total también es mayor por un 6% en donde se puede decir que esta retención se encuentra en el rango del promedio de humedales estudiados. Sin embargo su capacidad de absorción es más baja si se compara con el nitrógeno, pues el contenido de fósforo en los tejidos es mucho menor Paredes y Kuschik (2001).

Conforme a los sólidos comparado con el mismo autor el humedal de Pátzcuaro presenta valores menores de absorción, en donde los mecanismos de remoción ocurren por vías de sedimentación y filtración, gracias a la alta densidad de vegetación, en donde las plantas juegan un papel importante en los procesos de la remoción de materia orgánica y transformación de la biomasa como es el caso de la clorofila, en donde en el humedal quedan retenidos todos estos compuestos transformándolos o reteniéndolos. Además los procesos de nitrificación se llevan principalmente en esta frontera, por prevalecer la textura arcillosa y un alto contenido de materia orgánica, lo anterior podría argumentar la capacidad de este suelo para sufrir reacciones de nitrificación-desnitrificación, lo que demuestra que el humedal es un ecosistema que si funciona para la retención de sólidos, fosfatos y nitrógeno total. Por lo tanto se considera que el humedal funciona como un depurador de nutrientes, mejorando la calidad de agua que se aporta al lago de Pátzcuaro en la zona sur.

La disminución de los sólidos suspendidos totales en el humedal sucede mediante la filtración y sedimentación a través del conjunto que forma el sustrato del humedal con las raíces y rizomas de la vegetación que se encuentran en el humedal como *Typha dominguensis* y *Schoenoplectus lacustris*. La materia orgánica es absorbida en mayor porcentaje en la frontera acuática por los microorganismos que viven adheridos al sistema radicular de *Eichhornia crassipes*, que es la especie que predomina en esta frontera.

En el humedal se reporto una mínima concentración de amonio ya que este es eliminado por las plantas en donde el nitrógeno se incorpora a la biomasa. Se encontró una mínima concentración de nitratos en la frontera acuática ya que por contar con especies como *Typha dominguensis* y *Schoenoplectus lacustris*. Los procesos de nitrificación se producen sobretodo en la superficie de las raíces y la absorción aumenta cuando existe mayor volumen como en la frontera acuática. Los autores (Gersberga *et al.*, 1986; Seoáñez-Calvo, 1999; EPA, 2000, Helgen y Gernes 2001; Wissinger *et al.*, 2001; Scheffer, 2001; Cronk y Fenessy 2001) consideran a estas especies como filtros biológicos que

regulan las concentraciones de nutrientes y sólidos suspendidos totales en la columna de agua.

La especie *Typha dominguensis* es la responsable de la absorción de nitrógeno y fósforo en agua en donde estos son retenidos e incorporados al tejido vegetal. Existió mayor porcentaje de absorción de nitrógeno, ortofosfato y fósforo total en sedimento en sequia ya que el potencial depurador de los humedales varía estacionalmente. Ello puede ser explicado por simples variaciones meteorológicas, como por cambios producidos en la fisiología de las plantas. Soto *et al.* (1999) reportan que en sequia aumenta la actividad de la planta, por lo tanto aumenta la capacidad de remoción de fósforo, ortofosfato y nitrógeno. Se encontró en la frontera acuática menor concentración de fósforo total en agua ya que en esa parte del humedal existe mayor acumulación de especies de *Eichhornia crassipes*, como lo menciona Celis *et al.* (2005) esta especie obtiene del agua principalmente los nutrientes como son el fósforo y el nitrógeno principalmente.

Además de que se observó mayor absorción de materia orgánica y nitrógeno total en comparación con el fósforo total en la frontera humedal-acuática por presentar mayor acumulación de *Typha dominguensis* y *Eichhornia crassipes* en donde Martínez (2010) afirma que existe una relación en el crecimiento de esta especie y la remoción de nitrógeno y materia orgánica. En esa misma frontera existió una mayor absorción de nitrógeno total en sedimento ya que como lo menciona Rodríguez (2001) *Eichhornia crassipes* es una de las plantas que más nutrientes remueve como el nitrógeno total en donde la planta utiliza estos macronutrientes para procesar la proteína que forma su estructura corporal. Comparando el porcentaje de absorción de nitrógeno y fósforo total del humedal de Pátzcuaro con el experimento de Martínez (2010), el humedal de Pátzcuaro sobrepasa el porcentaje de absorción de nitrógeno total por un 13% y en fósforo total por un 42%.

## X. CONCLUSIONES

- ④ Se acepta la hipótesis postulada en el presente trabajo, en donde se puede considerar que el humedal si funciona en la disminución de conductividad eléctrica, dureza total, ortofosfato, nitratos, nitrógeno total y fósforo total en sedimento en donde existe una reducción de estas variables al pasar por el humedal.
- ④ Existe mayor porcentaje de absorción de ortofosfato del 85% y nitrato de 61% en la temporada de sequia ya que en esta temporada aumenta la actividad biológica de las plantas que predominan en el humedal.
- ④ Se encontró que las especies *Typha dominguensis* y *Eichhornia crassipes* retienen principalmente la materia orgánica y nitrógeno tanto en agua como en sedimento en la frontera humedal-acuática.
- ④ Las especies *Typha dominguensis* y *Schoenoplectus lacustris* participan en la absorción principalmente de sólidos suspendidos totales y amonio mediante la sedimentación y filtración por medio de las raíces de la planta.
- ④ Existió una mayor absorción de nitrógeno total en sedimento en la frontera humedal-acuática mediante las especies *Typha dominguensis* y *Eichhornia crassipes* en donde las planta utilizan estos macronutrientes para procesar la proteína que forma su estructura corporal.
- ④ El potencial de Hidrógeno del humedal de Pátzcuaro es alcalino, lo que sugiere una alcalinidad alta, esto es debido a la presencia de carbonatos y bicarbonatos en el sistema, en donde además la temperatura es constante en temporada de sequia y de lluvias siendo de 21.7 °C.
- ④ Presenta bajas concentraciones de oxígeno con 5.6mg/L en las dos temporadas, lo cual no varía mucho este gas.

- ④ La dureza del agua se clasifica como un agua moderadamente dura de acuerdo a la clasificación descrita por Sawyer y MacCarty (1967) y respecto a la alcalinidad total se considera con alta capacidad de amortiguación.
- ④ La concentración de amonio y nitritos es baja lo que sugiere que los procesos de nitrificación son eficientes, mientras que la alta concentración de nitrato es debido a las restricciones en el proceso de desnitrificación dando como resultado aumento de este nutriente.
- ④ La concentración de fósforo total es alta en lo que se refiere a la ocurrencia del ortofosfato sugiriendo una alta disponibilidad de este nutriente para la productividad primaria.
- ④ De acuerdo a los resultados la Demanda Bioquímica de Oxígeno demuestra que es un agua medianamente contaminada de acuerdo a Romero (1999) y respecto a la Demanda Química de Oxígeno indica que llegan escorrentías de agua sin tratamiento de uso rural como agrícola.
- ④ De acuerdo a los criterios de evaluación de ortofosfato por Henao 1987 en humedales se le considera al humedal de Pátzcuaro como eutrófico.
- ④ Conforme a los sólidos existen mayores concentraciones de sólidos en la frontera terrestre, debido a las prácticas agrícolas y el acarreo de material durante la escorrentía de agua de lluvia o de regadío.
- ④ La humedad del sedimento en el humedal es mayor del 70%, de acuerdo a Alegría y Zamora (1985) se les clasifica como sedimentos húmedos a muy húmedos.
- ④ El humedal funciona como un receptor de arenas en donde éstas son arrastradas principalmente a la frontera terrestre y depositada en el humedal existiendo una disminución de arenas en la frontera acuática.

## XI.RECOMENDACIONES

- ④ Fomentar la colonización por algunas especies de plantas sumergidas nativas, ya que estas especies reducen la capacidad erosiva de las paredes producida por las olas, en donde además funcionen como hábitat ideal de muchos peces e invertebrados.
  
- ④ Se recomienda la generación de conocimientos adecuados para los usuarios o pobladores de la cercanía a los humedales como mejores prácticas basadas en conocimientos tradicionales y/o científicos, para hacer el mejor uso posible de los recursos del propio humedal, sino también de programas de zonificación u ordenamiento del territorio que consideren a los humedales, de instrumentos legales o tradicionales que refuercen los derechos de uso de los recursos de humedal, y de plataformas para incidir en la toma de decisiones y en la gestión de dichos recursos.
  
- ④ Se recomienda que se inicie un proceso de ordenamiento del uso de suelo en los alrededores del humedal y del lago de Pátzcuaro además inicie el pre-tratamiento del agua doméstica y agrícola que ingresa en la frontera acuática, ya que el humedal funciona en la reducción de de nutrientes y sólidos y en el lago aumentan éstos por descargas. Además de podar en otoño las plantas hidrófilas como el tule que se encuentran en el humedal, para evitar que el fósforo vuelva al agua debido a la muerte de los tejidos vegetales que se incorporan al agua. Además de mantener la vegetación hidrófila existente en el humedal, ya que son de verdadera importancia para que los niveles de nutrientes disminuyan, esto, para mantener la calidad del agua que arroja el humedal al lago de Pátzcuaro. Lo anterior es beneficioso para elevar las acciones ecoturísticas donde se realicen actividades de avistamiento de aves, pesca intensiva, así como también crear un criadero de ranas toro para ser aprovechadas por la comunidad.

- ② Se recomienda que se mantenga el humedal sur, ya que este ambiente beneficia la existencia del lago de Pátzcuaro, en donde este ambiente proporciona protección a la frontera acuática, y se comprobó que funciona muy bien para la depuración de nutrientes tanto en agua como en sedimento .Además de que el humedal funciona como barrera debido a que separa zonas de cultivo y poblaciones humanas que inducen alteraciones al sistema lacustre. Así como también poner más énfasis en la mejora de dos de los problemas de éste ecosistema siendo la turbidez y eutroficación, si se logra mantener y dar manejo a estos dos factores, se podrá contar con los servicios ambientales que este proporciona.
  
- ② La agricultura y ganadería son prácticas de fuerte impacto cuyo manejo debe reorientarse a hacia la realización de sistemas agroecológicos de menor impacto ambiental. Así como también se recomienda darle seguimiento a los programas de protección de la cuenca alta, en donde se incremente la cobertura vegetal, en donde disminuya la erosión de suelos así como la pluvial y el arrastre de sólidos hacia el humedal y la gran cantidad de nitrógeno producto de los animales de crianza.

## XII. LITERATURA CITADA

- ✓ Abarca, F. J. y M. Herzing. (2002). Manual para el manejo y conservación de los humedales en México. Publicación especial. Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAP, Arizona Game&FishDepartment, U.S. Fish and WildlifeService y Wetlands Internacional. Terceraedición.132pgs.
- ✓ Álvarez J. A. y Bécares E. (2005) El papel de la vegetación en humedales construidos para el tratamiento de aguas residuales. León, España.8 8 págs.
- ✓ Álvarez V.J. (1972) Ictiología michoacana. V. Origen y distribución de la Ictiofauna dulceacuícola de Michoacán. Anales Escuela Nacional Ciencias Biológicas México 19, 155-161.
- ✓ Álvarez Sánchez, S. (2010). La descomposición de materia orgánica en humedales: la importancia del componente microbiano. Ecosistemas. 14:2. Págs. 17-29.
- ✓ APHA. 1992 “Estándar Methods for the Examination of wáter and Wasterwater” 17a. edi. APHA. WPCF A.W.W.A. USA. 1193 Págs.
- ✓ Arcos R.R., Castellano de R. E., Alejo N.M de la L., García M.R., 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 R. 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.

- ✓ Ayala R. G.L., Chacón T.A. Rendón L.M.B., Ruiz S.G., (2008) Rosas M. C. Impacto ambiental de dos ambientes de humedal sobre la calidad del agua de un lago tropical eutrófico. En memorias VII congreso internacional XIII Nacional y III Regional de ciencias ambientales, sonora, México.
  
- ✓ Barba M.E. (2006). Clasificación de los humedales de Tabasco mediante un sistema de información geográfica. [www.ujat.mx/publicaciones/uciencia](http://www.ujat.mx/publicaciones/uciencia) 22 (2):101-110,2006.10 págs.
  
- ✓ Barbour C.D. (1973b) a Biogeographical history of Chirostoma (Pisces: Atherinidae): Aespecies flock from the Mexican Plateau. *Copeia*1973(3), 533-555 págs.
  
- ✓ Barrera-Bassols N., (1986). La cuenca del lago de Pátzcuaro, Michoacán: aproximación al análisis multivariado de una región natural. Tesis profesional. Facultad de filosofía y letras. Colegio de zoografía. UNAM. 392 Págs.
  
- ✓ Beltrán M.J. (1964). Análisis químicos de suelos. catedrático de química inorgánica de la Universidad de Valencia España.328 págs.
  
- ✓ Berlanga-Robles, César Alejandro, Ruiz-Luna, Arturo; Lanza Espino, Guadalupe. (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.

- ✓ Brugnoli, E. 1999. Agua en los trópicos, guía científico-técnica para el estudio de la calidad del agua en Centroamérica, una aproximación a la armonización de las normas de calidad. Costa Rica, Güilombé. P. 47-57 págs.
  
- ✓ Carcelén H.M.J (2010) determinación de la cantidad de agua almacenada en el suelo del ecosistema paramo, en la estación científica “los Encinos” El Ángel. Universidad técnica del Norte. Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales. Ecuador. 59 págs.
  
- ✓ Celis J. *et. al.* (2005) Recientes aplicaciones de de la depuración de aguas residuales con plantas acuáticas. Universidad del Bio-Bio Chillán, Chile.
  
- ✓ Chacón Torres A. (2002) impacto ambiental del dragado en el lago de Pátzcuaro. En: Rojas Zamorano. Aportes al proyecto Pátzcuaro. Estudios propuestas y avances para la restauración de la cuenca del lago de Pátzcuaro. Primera edición, Morevallado Editores, México. 158 págs.
  
- ✓ Chacón T.A., Ayala R.G., Rosan M. C., & Ruiz S. (2007) Ficha informativa de los humedales RAMSAR. Humedales del lago de Pátzcuaro. En R.G. Ayala, 2007. Estructura Y función del humedal sur del lago de Pátzcuaro, Michoacán México. Morelia, Michoacán, tesis doctoral INIRENA, UMSNH.
  
- ✓ Chacón-Torres A., Múzquiz I.L.E. y Pérez M.R. (1991) *Síntesis Limnológica de Pátzcuaro, Michoacán, México*. Biología Acuática 1. Laboratorio de Biología Acuática. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Editorial Universitaria.

- ✓ Clarke, K. R. & R. M. Warwick, 1994a: Change in marine communities: An approach to statistical analysis and interpretation. Nat. Environ. Res. Coun. U.K.: 1-45.
  
- ✓ Comisión nacional del agua (2010), sub-dirección general técnica, departamento de hidrometría.
  
- ✓ Comisión nacional del agua (2011), sub-dirección general técnica, departamento de hidrometría.
  
- ✓ Contreras, E. F. (1993). Ecosistemas Costeros Mexicanos. CONABIO, UNAM-México, D.F. 415 pp. **En:** F.J. Abarca y M. Herzig (Eds.). Manual para el Manejo y la Conservación de los Humedales en México. Publicación especial. Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAP, Arizona Game&FishDepartment, U.S. Fish and WildlifeService y Wetlands Internacional.
  
- ✓ CONANP, (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas), (2005). Los Humedales Prioritarios de México. Ed. Emepunto. 48 p.
  
- ✓ De Anda J. y Maniak U. (2007) Modificaciones en el régimen hidrológico y sus efectos en la acumulación de fósforo y fosfatos en el lago de Chapala, México.18 págs.
  
- ✓ De la Lanza Espino, G., J. Alcocer Duran, J.L. Moreno Ruiz y S. Hernández Pulido (2008). Análisis químico-biológico para determinar el estatus trófico de la Laguna de Tres Palos, Guerrero, México. Hidrobiológica, 18(1):21-30.11 págs.

- ✓ De Buen, F. (1943). Los lagos michoacanos. I. Caracteres generales. El lago de Zirahuén. Revista Sociedad Mexicana Historia Natural, México, 4(3-4): 211-232.
  
- ✓ Eaton D.A., Clesceri L.S y Greenberg E.A. 1995. Standard methods for the examination of water and wastewater. 19<sup>th</sup>. Edit. American Public Health Association. Seccionado I-47.
  
- ✓ Folk R.L. and W.C. Ward, (1957). Brazons River Bar: A study in the significance of grain size parameters. J. Sedimen., 27: 3-26.
  
- ✓ García R.M. (2003).Clasificación funcional de humedales ribereños. Universidad Alonso X el Sabio. PolitécnicoSuperior. Madrid, España. 26pags.
  
- ✓ García T. (2008) Diseño, construcción y evaluación de preliminar de un humedal de flujo subsuperficial. Universidad de los Andes Bogotá, Colombia.11 págs.
  
- ✓ García V.N. (2009) 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 p.
  
- ✓ García G., M., Cabezas Beaumont, Á. y Comín Sebastián, F. (2009). Utilización de humedales construidos de flujo superficial en el tratamiento de aguas residuales de origen urbano-industrial. Tecnología del Agua, 2009 MAR; (306):32-40.

- ✓ Garduño Monroy .V.H., Israde-Alcántara I. y Arreygue-Rocha E. (2002) La inquietante evolución de las cuencas lacustres en zonas volcánicas: ejemplo, la cuenca de Pátzcuaro, Michoacán, México..En: Rojas Z.A. Aportes al proyecto Pátzcuaro. Estudios, propuestas y avances para la restauración de la cuenca del lago de Pátzcuaro. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Delegación Michoacán y Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza. ja edición. Ed. Morevallado. México. pp 25-68.
- ✓ Gordon E. y Feo Y. (2009) Dinámica del nitrógeno en un humedal herbáceo (estado Miranda, Venezuela) dominado por *Hymenachne amplexicaulis*.311-331 págs.
- ✓ Henao de U., A. (1987). El disco secchi y el estado trófico. Revista Ainsa 12: 67-79 págs.
- ✓ INEGI (2004). Guía para la interpretación de cartografía Edafología. Aguascalientes Aguascalientes.México.14p.
- ✓ INEGI (2008). Proyecto de Hidrología Superficial Serie I, IRIS 4.2. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Aguascalientes Aguascalientes. México.
- ✓ INEGI (2008). Proyecto de Edafología Serie I, IRIS 4.2. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Aguascalientes Ags. México.
- ✓ INEGI (2008). Proyecto de Climatología Serie I, IRIS 4.2. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Aguascalientes Ags. México.
- ✓ I.N.E.G.I. (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática) (1985) Síntesis Geográfica del Estado de Michoacán, México, D.F., 316p.

- ✓ Isrrade I. Y Garduño V. (2002) Generación de residuos peligrosos en el entorno de el lago de Pátzcuaro. En: Rojas Zamorano. Aportes al proyecto Pátzcuaro. Estudios propuestas y avances para la restauración de la cuenca del lago de Pátzcuaro. Primera edición, Morevallado Editores, México. 158 págs.
  
- ✓ Lahora A. Depuración de aguas residuales mediante humedales artificiales: la EDAR de los Gallardos (Almería) (2005). Gestión de aguas del Levante Almeriense, S. A. GALASA, Ctra. Nacional, Vera Almería. 200pags.
  
- ✓ Lindig Cisneros Roberto, Escutia Lara Yazmín (2009) Estudio de la vegetación de los manantiales la Mintzita y su dinámica. Laboratorio de Ecología de Restauración, Centro de Investigaciones en Ecosistemas, Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Biología, UMSNH, Morelia, Michoacán, México.
  
- ✓ López, C. Alioto, R. Schefer, J., Belleggia F., Siniscalchi A., Parodi E. (2008) Diseño de un humedal artificial para remoción de nutrientes de un afluente del embalse paso de las piedras (argentina). Departamento de ingeniería, universidad nacional del sur, 8000 bahía blanca, buenos aires, argentina. 7 págs.
  
- ✓ Likens, G. E. (ed), (1972). Nutrients and eutrophication. Limnol. Oceanogr. Pub. Esp. 1. 378 p.
  
- ✓ Mitsch, W.J. and J.G. Gosselink 2000. Wetlands. En: F.J. Abarca y M. Herzig (Eds.). Manual para el Manejo y la Conservación de los Humedales en México. Publicación especial. Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAP, Arizona Game&FishDepartment, U.S. Fish and WildlifeService y Wetlands Internacional.

- ✓ Maldonado-Koerdell M. (1964) Geohistory and paleogeography of Middle America. En: Hanbook of Middle American Indians (ed. By R. Wauchope). Vol 1, Natural enviroment and early cultures. University of Texas Press, Austin, USA. 3-32 pp.
  
- ✓ 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.
  
- ✓ Martín Mateo, Ramón (1992) Tratado de derecho ambiental, Madrid Trivium 1992. 12 págs.
  
- ✓ Medina R.H. (2006). Dinámica de nutrientes en el litoral lacustre del lago de Pátzcuaro Michoacán. Tesis de Maestría en Ciencias. INIRENA-UMSNH. Morelia 133 Págs.
  
- ✓ Mitsch, W.J. and J.G. Gosselink 2000. Wetlands. En: F.J. Abarca y M. Herzig (Eds.). Manual para el Manejo y la Conservación de los Humedales en México. Publicación especial. Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAP, Arizona Game&FishDepartment, U.S. Fish and WildlifeService y Wetlands Internacional.
  
- ✓ 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.
  
- ✓ Núñez M., Cárdenas .C, Hablich K., Velásquez W., Isea D., Trujillo A., y Morales E. (2006) Uso de un humedal construido como pulimento para efluentes de un sistema de lagunas de estabilización. Boletín del centro de investigaciones biológicas volumen 40, no. 3. 327-346 universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela.21 págs.

- ✓ OCDE, 1982. Eutrophication of waters. Monitoring assessment and control. Paris.
- ✓ Palomino C.D y Cabrera C.C (2008) Estimación del servicio ambiental de captura de CO<sub>2</sub> en la flora de los humedales de Puerto Viejo. Universidad Nacional Mayor de San Marcos Lima Peru. 11 págs.
- ✓ Paredes D, Kusch P. (2001). Tipo de humedales y mecanismos de remoción. Seminario humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales. Armenia, Manizales, Pereira, Septiembre 3-8 del 2001. p: 10-12.
- ✓ Pérez-Olmedilla M., Sánchez C.S., Rojo C. (2000) Función depuradora de los humedales II: una revisión bibliográfica sobre el papel del sedimento, Humedales Mediterráneos, 123 – 130, SEHUMED, Valencia España.
- ✓ Perotti M.G, Diéguez M.C. y Jara F.G. (2005) Estado del conocimiento de humedales del norte patagónico (argentina): aspectos relevantes e importancia para la conservación de la biodiversidad regional. Revista Chilena de Historia Natural. 78: 723-737 págs.
- ✓ Ramos-Espinosa, M. G., L. M. Rodríguez-Sánchez y P. Martínez-Cruz. (2007). Uso de macrofitas acuáticas en el tratamiento de aguas para el cultivo de maíz y sorgo. *Hidrobiológica* 17 (1 Suplemento): 7-15. Xochimilco, México. 10 págs.
- ✓ 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., R.F. Pozo, S.S.I. Soto (2005) Instalación de humedal para tratamiento de aguas residuales de la Localidad de Santa Fe La Laguna, Quiroga Michoacán, informe final. IMTA.
- ✓ Romero, R. J .A. 1999. Calidad del agua. 2° Edit. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. México. 273 págs.
- ✓ Rodríguez-Monroy J y Durán-de-Bazúan C. (2006). Remoción de nitrógeno en un sistema de tratamiento de aguas residuales usando humedales artificiales de flujo vertical a escala de banco. Tecnol. Ciencias Ed. IMIQ. 21(1):25-33.
- ✓ Rodríguez C. (2001) Acción depuradora de algunas plantas acuáticas sobre las aguas residuales. La Habana, Cuba Instituto Superior Politécnico “José A. Echeverría” (ISPJAE).
- ✓ Rojas Z. A. (2002) El rescate de la cuenca de Pátzcuaro: una misión colectiva. En: Rojas Zamorano. Aportes al proyecto Pátzcuaro. Estudios propuestas y avances para la restauración de la cuenca del lago de Pátzcuaro. Primera edición, Morevallado Editores, México. 158 págs.
- ✓ Romero-Ortiz, L., Ramírez-Vives F., Álvarez-Silva C., Miranda-Arce 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.
- ✓ Ruiz E., Martínez M, García C.,Uriarte J. A e I. Antigüedad. (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-EuskalHerriko Unibertsitatea.6 págs.

- ✓ Saporito M. S. (1975) Chemical and mineral studies of a core from Lake Pátzcuaro, México. Msc. Thesis, University of Minnesota.
  
- ✓ Sawyer C.N. y MacCarty P.L. (1967), Chemistry for sanitary engineers. Mc. Graw-Hill, New York 519 págs.
  
- ✓ Schenone N., Volpedo A., Fernández C.A (2007) Estado trófico y variación estacional de nutrientes en los ríos y canales del humedal mixo-halino de Bahía Samborombón (Argentina). Centro de Estudios Transdisciplinarios del Agua (CETA), Universidad de Buenos Aires, Argentina. 8pags.
  
- ✓ Sepúlveda-Lozada A.; Geissen V; Ochoa-Gaona S.; Jarquín- Sánchez 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.
  
- ✓ Soto, F. *et al.* (1999) "Role of *Scirpus lacustris* in bacterial and nutrient removal from wastewater" en *Water Science Technology*, 40(3), pp. 241-247.
  
- ✓ Villarello J. (1909) Hidrología subterránea de los alrededores de Pátzcuaro. Parergones, 9,339-362. Instituto Geología. México.
  
- ✓ Viñals, M. J. COLOM W., Rodrigo T., Dasi M.J. Armengol J., Oltra R. Y Miracle R. (2001) Rasgos característicos de un humedal mediterráneo artificializado y su problemática ambiental: El Hondo de Elche (Alicante, España). SEHUMED, Valencia, España.

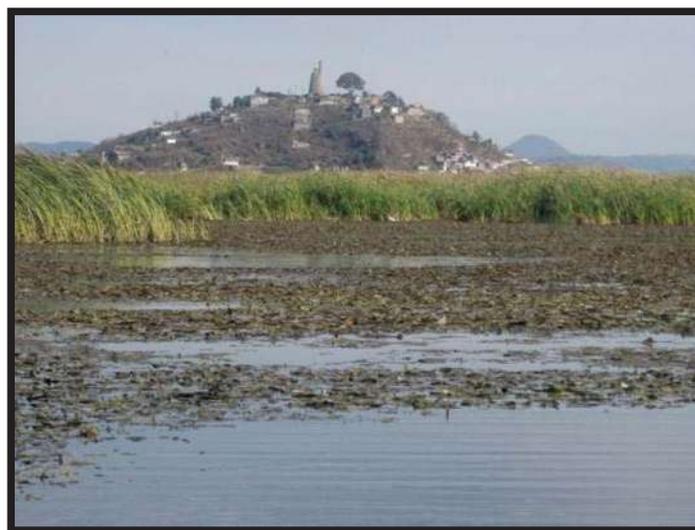
- ✓ Westlake DF, Kvet J, Szczepanski A (1998) The production ecology of wetlands. Cambridge University Press. Cambridge, RU. 568 págs.
- ✓ Wetzel, R. G. 2001. *Limnology. Lake and river ecosystems*. 3rd. Edition. Academic Press. San Diego. 1006 págs.
- ✓ Yanira Martínez de la Cruz (2010) Efecto de la adición del nitrógeno y fósforo en el crecimiento y respuesta fisiológica de *Schoenoplectus americanus*, *Typha dominguensis* y *Phragmites australis*. Tesis de licenciatura, UMSNH, Facultad de Biología. Morelia Michoacán, México.60 págs.
- ✓ Zamudio S. (1992). La flora y vegetación de la cuenca del lago de Pátzcuaro.1º muestra. Los recursos vegetales de Michoacán. INIFAP, CIDEM, Gob. Edo., Inst. Ecol. A.C., SEDUE, SEP, Orquidario de Morelia, Centro de Convenciones y UMSNH. México. 17 págs.
- ✓ Zúñiga del canto (2002) Evaluación de humedales construidos para el postratamiento de aguas residuales industriales tratadas en reactores anaerobios. Ingeniero Ejecución en Bioprocesos, Universidad Católica de Valparaíso Chile. Estudiante Magíster en Ingeniería con Mención en Ingeniería Bioquímica, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.7 págs.

**XIII. ANEXOS**

**ESTACIONES DE LA FRONTERA TERRESTRE.**



**ESTACIONES DE LA FRONTERA DEL HUMEDAL.**



**ESTACIONES DE LA FRONTERA ACUÁTICA.**

