



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES SOBRE LOS RECURSOS NATURALES
(INIRENA-UMSNH)

COORDINACIÓN DE LA MAESTRÍA EN CIENCIAS

CALIDAD DE AGUA Y SEDIMENTOS EN SITIOS CON DIFERENTE
GRADO DE DRAGADO EN EL LAGO DE PÁTZCUARO,
MICHOACÁN, MÉXICO.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS
EN LIMNOLOGÍA Y ACUICULTURA

PRESENTA

LETICIA OSEGUERA FIGUEROA

DIRECTOR DE TESIS: DR. ARTURO CHACÓN TORRES

MORELIA, MICHOACÁN

MÉXICO

FEBRERO 2011

Un ser humano es parte del todo que llamamos universo, una parte limitada en el tiempo y en el espacio. Está convencido de que él mismo, sus pensamientos y sus sentimientos, son algo independiente de los demás, una especie de ilusión óptica de su conciencia. Esa ilusión es una cárcel para nosotros, nos limita a nuestros deseos personales y a sentir afecto por los pocos que tenemos más cerca. Nuestra tarea tiene que ser liberarnos de esa cárcel, ampliando nuestro círculo de compasión, para abarcar a todos los seres vivos y a toda la naturaleza.

Albert Einstein

DEDICADO A ...

Mí familia

Mario, May, Roy y Leo por su paciencia, por su apoyo, por su constante aliento y haber cambiado su rutinas y ajustarse a mis necesidades de tiempo invaluable esfuerzo!

A la memoria de papá y a mí mamá

Por el buen ejemplo, por la formación que me dieron, por ser mi punto de apoyo y fortaleza en toda mi vida, por la ilusión de siempre ver recompensado tu esfuerzo y confianza en mí, mamá.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis asesores: Maestra en ciencias Martha Beatriz Rendón López (INIRENA), la Doctora Gloria Lariza Ayala Ramírez (INIRENA), al Doctor Francisco Bautista Zúñiga (CIGA-UNAM Morelia) y mi director de tesis Doctor Arturo Chacón Tórres (INIRENA UMich) por su tiempo, la literatura de apoyo, la guía y consejos que me dieron para la realización de este trabajo de tesis.

Al INIRENA (Instituto de Investigaciones sobre Recursos Naturales) y al ITSPA (Instituto Tecnológico Superior de Pátzcuaro) por haberme permitido el uso de equipo de colecta, equipo de laboratorio y reactivos para llevar a cabo las prácticas de campo y laboratorio.

A los alumnos de Ingeniería en Desarrollo comunitario del grupo IDC02, Juan Esteban Trinidad Huerta, María Martha Reyes Zavala, Edelmira Ornelas Aguilar, Verónica Escobar Téllez y Nidia Eréndira Guerrero Jiménez, por el apoyo incondicional y su esfuerzo en las colectas de campo.

A mis hermanas, hermanos y mis amigas y compañeras de trabajo, Ili Valdovinos Elva Huerta y Lau Adame por su interés y por levantarme el ánimo en esta pesada labor que represento el hacer este trabajo.

Al Ing. Jaime Bulmaro Carbajal Vázquez director del Instituto Tecnológico Superior de Pátzcuaro por el apoyo económico para los gastos de éste documento, reactivos y demás apoyo para el traslado de materiales y los trabajos de campo de las colectas.

Al Ing. J. Manuel Rodríguez Arteaga Residente de la Obra de dragado en el Lago de Pátzcuaro por haberme proporcionado el documento en extenso del Reporte Técnico de la Comisión de Dragado de la Secretaría de Pesca con información muy precisa para este documento.

Al Biólogo Demetrio Morales Responsable de la Reserva del Pescado Blanco y al

señor Miguel Gabriel por el apoyo con la lancha y el recorrido por el interior del lago en el trabajo de colectas de campo.

A mi hijo Mario Morelos Oseguera y al Biol. Mario Morelos López (esposo) por dedicar su tiempo para apoyo en el trabajo de los análisis de laboratorio.

ÍNDICE	
ÍNDICE	v
ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS.....	5
2.1. OBJETIVO GENERAL	5
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
III. HIPÓTESIS	6
IV. ANTECEDENTES.....	7
4.1. EL PROCESO DE DRAGADO	7
4.2. DRAGADO EN LAGOS MEXICANOS	24
4.3. EL PROGRAMA DE DRAGADO EN EL LAGO DE PÁTZCUARO.....	26
4.4. HUMEDALES EN EL LAGO DE PÁTZCUARO	38
4.5 EQUIPO DE DRAGADO Y DESMALEZADO O LIMPIEZA EN EL LAGO DE PÁTZCUARO.....	40
V. AREA DE ESTUDIO	54
5.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	54
5.2. GEOLOGÍA.....	57
5.3 SUELOS	58
5.4. CLIMA.....	61
5.5. HIDROLOGÍA	62
5.6. FLORA.....	63
5.7. FAUNA	64
5.8. LA POBLACIÓN DE LA CUENCA.....	66

5.8.1. HISTORIA.....	66
5.8.2. IDENTIDAD Y CULTURA P'URHÉPECHA.....	67
VI. MATERIALES Y MÉTODOS	70
6.1. SITIOS DE MUESTREO	70
6.1.1 MUESTREO Y PARÁMETROS MEDIDOS EN CAMPO.....	73
6.1.2. MANEJO Y TRASLADO DE MUESTRAS.....	79
6.2 ANÁLISIS DE SEDIMENTOS EN LABORATORIO	79
6.2.1 ANÁLISIS FÍSICO	79
6.2.2 ANÁLISIS QUÍMICO	81
6.3 PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DE ANÁLISIS DE AGUA EN LABORATORIO	82
6.3.1 ANÁLISIS FÍSICO	82
6.3.2 ANÁLISIS QUÍMICO	83
6.4 TRATAMIENTO DE DATOS	84
VII. RESULTADOS	85
7.1. PERFIL AMBIENTAL DE LOS SITIOS DE MUESTREO	85
7.2. ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE SEDIMENTOS Y AGUA	90
7.2.1. ANÁLISIS FÍSICO DE SEDIMENTOS.....	90
7.2.2. ANÁLISIS QUÍMICO DE SEDIMENTOS.....	93
7.2.3. RESULTADOS DEL ANÁLISIS FÍSICO DEL AGUA.....	101
7.2.4. QUÍMICA DEL AGUA.....	112
VIII DISCUSION.....	130
8.1 EFECTO DEL DRAGADO EN LA CALIDAD DE SEDIMENTOS Y AGUA.....	130
8.2 ANÁLISIS DEL EFECTO MECÁNICO DEL PROCESO DE DRAGADO ..	138

8.3 ASPECTOS LEGALES	142
8.4 IMPORTANCIA DEL SISTEMA DE HUMEDAL Y LA VEGETACIÓN EN LA CALIDAD DEL AGUA	146
IX. CONCLUSIONES Y APORTACIONES	151
9.1 CONCLUSIONES	151
9.2 APORTACIONES	153
X. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	165

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

TABLAS

Tabla 1. Resultados del Programa de Dragado en el Lago de Pátzcuaro (tomado del informe técnico 2008 de la Comisión de Dragado,2009).....	34
Tabla 2. Resultados del análisis de textura y densidad en sedimentos de las estaciones muestreadas en el lago de Pátzcuaro.....	91
Tabla 3. Análisis químico de sedimentos (valores promedio de seis muestreos).....	96
Tabla 4. Concentración de sales en sedimentos (mg /kg).....	100
Tabla 5. Valores de visibilidad medidos en metros del disco de Secchi.....	102
Tabla 6. Valores promedio del análisis de sólidos en agua por estrato de la columna muestreado (6 meses de colecta).....	105
Tabla 7. valores promedio de ph espacial y temporal.....	113
Tabla 8. Valores de conductividad eléctrica en ($\mu\text{S}/\text{cm}$).....	115
Tabla 9. Concentración de iones en mg/l (análisis único) por muestra.....	118
Tabla 10. Valores en la concentración de oxígeno disuelto (mg/l) por estación..	120
Tabla 11. Promedios mensuales de alcalinidad en las cuatro estaciones de muestreo en mg/L.....	123
Tabla 12. Análisis de la variabilidad dureza por Ca Y Mg en las estaciones....	127
Tabla 13. Valores de la mediana de los análisis de fósforo y nitrógeno en las muestras de agua (6 meses de colecta).....	129
Tabla 14. Valores promedio, mínimos o máximos de estudios en el lago de Pátzcuaro.....	132

FIGURAS

Figura 1 Canal perimetral II Pátzcuaro – Erongarícuaro en el lado sur- suroeste del Lago de Pátzcuaro, Michoacán(Expediente Técnico, 2009).....	42
Figura 2. Draga Pátzcuaro (Fuente: Expediente Técnico, 2009).....	44
Figura 3. Versidraga (Tomada del Expediente Técnico, 2009).....	48
Figura. 4. Aquadozer (Tomado del Expediente Técnico, 2009).....	50
Figura 5. Ubicación geográfica y acceso carretero al Lago de Pátzcuaro (fuente: Google Imágenes, 2010).....	55
Figura 6. Vista aérea de la zona de estudio (Fuente: Google Imágenes, 2010)...	56
Figura 7. Ubicación de los sitios de muestreo.....	72
Figura 8. Medición de la visibilidad mediante el empleo del disco de Secchi.....	75
Figura 9. Botella de Van Dorn para muestras de agua a diferente profundidad...	76
Figura 9´. Colector de agua para oxígeno disuelto en muestras de fondo.....	76
Figura 10. Geoposicionamiento con el receptor GPS Garmin Mod. II Plus.....	78
Figura 11. Muestreo de sedimentos con la draga tipo Eckman.....	78
Figura 12. Triángulo de texturas para análisis de partículas de suelo (Rucks, <i>et al.</i> , 2004).....	80
Figura 13. Ubicación de la Estación 1. Isleta “La Tecuenita” definida como Zona No perturbada (limnética).....	86
Figura 14. Ubicación del canal de navegación y de la Estación identificada con perturbación ligera constante.....	87

Figura 15. Ubicación de la Estación con perturbación reciente en Santiago Sipigio.....	89
Figura 16. Ubicación de la Estación en reposo, cercana a Erongarícuaro.....	88
Figura 17. Concentración de materia orgánica en los sitios muestreados. Los registros más altos corresponden con los sitios más perturbados.....	94
Figura 18. Promedios por estación de las concentraciones de fósforo total en los meses de colecta.....	97
Figura 19. Promedios por estación de las concentraciones de ortofosfatos en los meses de colecta.....	97
Figura 20. Registro de promedios de visibilidad en las estaciones en los meses de colecta. Los valores faltantes fueron por luz solar insuficiente.....	103
Figura 21. Análisis de sólidos totales en promedio de los estratos muestreados mensualmente por estación	108
Figura 22 Análisis de sólidos totales suspendidos en superficie. Valores promedio por estación.....	109
Figura 23 Análisis de sólidos totales suspendidos en fondo. Valores promedio por estación.....	109
Figura 24 Análisis de sólidos volátiles en superficie. Valores promedio por estación.....	110
Figura. 25 Análisis de sólidos volátiles en muestras de fondo. Valores promedio por estación.....	110
Figura 26. Análisis de sólidos suspendidos totales de las nueve muestras, en los meses de colecta. Los valores mayores corresponden con las muestras de fondo de los sitios dragados.....	111
Figura 27. Comportamiento temporal de los valores promedio de pH.....	113
Figura 28 Comportamiento de la conductividad eléctrica (promedios mensuales	

por estación).....	116
Figura 29. Valores mensuales de Oxígeno disuelto (mg/L) por estrato muestreado en cada estación.....	121
Figura 30 Valores promedio de dureza total en las estaciones registrados durante el análisis de los meses de colecta.....	125

I. INTRODUCCIÓN

El Lago de Pátzcuaro a través del tiempo ha sido un ecosistema de fundamental importancia, por su efecto regulador del clima, como generador de alimentos, abastecimiento de agua y como una fuente de recursos económicos durante varios siglos para la población ribereña. La cuenca de Pátzcuaro representa un componente cultural del paisaje mexicano por ser la base de la Cultura P'hurépecha y desde siempre es considerado un importante centro turístico en la región central de México.

Numerosas dependencias gubernamentales, centros de investigación y universidades han desarrollado estudios sobre la calidad del agua, batimetría, suelo, flora, fauna, limnología, dinámica poblacional, manejo integral y restauración de la cuenca, entre otros temas. Todos estos esfuerzos han sido integrados y empleados en programas de restauración, algunos sin éxito y otros con avances significativos; todos ellos han resultado en un ritmo menor al deseado, dentro del complejo contexto que representa el manejo integral de la cuenca considerando también el componente humano y su organización económico-social.

De manera particular el azolve representa una de las causas más significativas en el deterioro que ha impactado fuertemente al ecosistema. El acarreo de materiales se ha estimado en estudios recientes desde 3.0 hasta 50.0 toneladas anuales, alcanzando los valores más altos en la subcuenca de Nocutzepo, identificada como la zona de mayor aportación de azolve hacia el lago. Los suelos existentes en la zona incluyen Andosoles y Luvisoles como los tipos predominantes (Gómez-Tagle, 1994). Los Andosoles considerados como suelos sumamente erosionables por sus texturas de arenas finas, limos y arcillas en las capas superiores, en tanto los Luvisoles presentan una erodabilidad que va de moderada a fuerte dependiendo de varios factores, al ser suelos más profundos.

A pesar de 40 años ininterrumpidos de acciones de dragado, la zona limnética y los niveles de agua en el embalse aún manifiestan un proceso de turbidez y progresiva sedimentación.

Considerando los grupos de suelo que se caracterizan con material fino, el proceso de dragado, sugiere un efecto de re-suspensión continua de partículas de lenta sedimentación además del rompimiento de la estructura original del suelo del fondo. Estos importantes procesos deben de considerarse por la consecuente alteración ecológica que influye principalmente en la calidad de agua, en la dinámica poblacional y sobrevivencia de las especies que habitan en el lago (Fora, 1995; Hearn, Flanders & Phillips, 2002; EPA, 2006; Bray, 2008).

De acuerdo con los datos reportados por el Programa para la Recuperación Ambiental de la Cuenca del Lago de Pátzcuaro (IMTA, 2004) y las referencias del último censo del año 2005 generado por INEGI, existe un fuerte impacto por el incremento poblacional en la zona, principalmente en los municipios de Pátzcuaro y Quiroga que en el periodo de 1970 a 2000, duplicaron su población. En el primer caso de 37 515 a 77 872; mientras que en el caso de Quiroga de 16 004 a 23 893 habitantes. En menor proporción se reportó un crecimiento en los municipios de Erongarícuaro y Tzintzuntzan. Problemas como la falta de empleo y la creciente demanda de necesidades de vivienda y suministro de agua, han generado una mayor deforestación, alteración de la red hidrológica y contaminación de las corrientes de agua que alimentan al lago derivado de la descarga directa de aguas residuales.

La situación actual de acentuado deterioro y reducción de la zona limnética, requiere de acciones cada vez más coordinadas, en función de la sustentabilidad, restauración y manejo de los recursos naturales protegiendo la biodiversidad bajo un enfoque de manejo de cuenca y la integración pertinente de un programa de dragado. En el caso particular de Pátzcuaro, son atributos relevantes el número de especies endémicas de importancia ecológica y económica, incluyendo el pescado

blanco, acúmara, godeidos y achoque. Además de la interdependencia del sistema acuático con el suelo, clima y vegetación.

La entrada de un mayor flujo de agua producto de las escorrentías y los afluentes de arroyos que son desbloqueados con el dragado, supone una mejor calidad de agua. Sin embargo, algunos de los resultados obtenidos en este estudio, refieren un alto contenido de nitrógeno y fósforo en los sitios recientemente dragados, excepto en aquellos en los que afluye agua de manantiales, así como aumento en la concentración de materia orgánica en sedimentos y de sólidos suspendidos y sedimentables, en relación con la zona limnética y la ausencia de macrofitas. Además, se aprecia un rompimiento de la estructura del suelo por la acción mecánica del desmalezado y las máquinas, que resulta en mayores contenidos de material limoso y arcilloso en comparación con los sitios no dragados que contienen una menor proporción de arenas finas.

El proceso permanente de dragado asociado a la recirculación del agua en este lago polimítico, limitan el proceso de sedimentación natural como se ha observado en otros lagos (Hakanson & Jansson, 2002). La turbidez ocasiona lecturas de visibilidad inferior a los 30 cm en la mayor parte del cuerpo de agua alterando con ello la dinámica de la productividad acuática, la trama trófica, así como del flujo de energía que son procesos fundamentales para la permanencia de la diversidad biológica y de la dinámica ecológica de Pátzcuaro (EPA, 2006; Bray, 2008).

Los resultados del presente trabajo, se orientan hacia una evaluación del posible impacto ambiental que el proceso de dragado provoca sobre la dinámica ecológica del lago, en donde la tasa de azolve se ha incrementado progresivamente incrementando el riesgo de la desaparición de las islas así como de la zona de aguas abiertas del lago.

Por otra parte, de la porción que ocupaba originalmente el humedal natural se observa actualmente que hay terrenos con una notable expansión de la zona

pantanosas, con un manifiesto avance del humedal que repliega progresivamente a la zona limnética.

Por ello se considera pertinente que a partir del análisis fisicoquímico de sedimentos y agua se interpreten adecuadamente los parámetros que permiten evaluar la operatividad, así como la aplicación estratégica y adecuada del proceso de dragado asociado a otras medidas o acciones de restauración que permitan la recuperación de este valioso ecosistema acuático. Es el caso del beneficio que se logra al desbloquear la entrada de manantiales que alimentan al lago con agua fresca, limpia de buena calidad que genera la posibilidad de diluir las altas concentraciones de nutrientes, tal como se observó en los resultados obtenidos en el muestreo del canal de la reserva del pescado blanco, sitio en donde se reporta la afluencia de tres manantiales cuya influencia puede notarse al encontrar las menores lecturas de conductividad eléctrica y un pH de 8.5.

El presente documento se ha planteado ante la falta de información con relación a los efectos de impacto del dragado sobre la calidad de agua, tema que ha sido recomendado por investigadores y autoridades interesados en el estudio del ecosistema acuático de Pátzcuaro (COEECO; IMTA en Lafragua, 2004; Chacón, 2005).

El dragado en diversas partes del mundo ha sido empleado como una medida inmediata de mantenimiento de la profundidad de los lagos, ríos y embalses. En varios países, si embargo, ya existe una legislación en relación con el manejo del proceso incluido la etapa de manejo de sedimentos extraídos y la evaluación del proceso completo lo que redundará en acciones planificadas estratégicamente. Adicionalmente al dragado, se ha visto la urgencia de llevar a cabo un manejo integral de la cuenca que permita remediar los problemas de la erosión y el acarreo de sólidos así como la recuperación de mantos freáticos y manantiales así como otras fuentes de agua (Fora, 1995; Canali, en Fora, 1995; Hearn, Flanders & Phillips, 2002; EPA, 2006; Bray, 2008).

II. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Diagnóstico del impacto del proceso de dragado en la calidad de agua, en el seno sur del Lago de Pátzcuaro mediante el análisis fisicoquímico del agua y del sedimento en sitios con diferente grado de disturbio por dragado y sitios no perturbados.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 2.2.1. Evaluar el impacto del proceso de dragado en la estructura y composición química de los sedimentos de sitios sometidos al trabajo de dragado
- 2.2.2. Determinar la calidad del agua mediante un análisis de parámetros fisicoquímicos
- 2.2.3. Evaluar el impacto del dragado con relación a la capacidad de extracción mecánica y de operación del equipo disponible.

III. HIPÓTESIS

Si las acciones de dragado manifiestan indicadores de restauración ambiental entonces la región de mayor impacto por el azolve y el crecimiento de vegetación en el lago de Pátzcuaro manifestará una recuperación ambiental con el programa de dragado en relación con sus parámetros fisicoquímicos tanto del agua como del sedimento disminuyéndose las altas concentraciones de nutrimentos y aumentando la visibilidad.

IV. ANTECEDENTES

4.1. EL PROCESO DE DRAGADO

A pesar de que el 70% de la superficie del planeta se encuentra cubierta por agua, el 97.5% es de origen marino, la cual se encuentra almacenada en los océanos. Únicamente el 2.5% es agua dulce de la cual, el 68.9% se encuentra congelada en los bancos de hielo, glaciares y nieves perpetuas, así como en la humedad del suelo. El 30.8% se almacena en aguas subterráneas y menos del 0.3% es agua superficial localizada en lagos, lagunas, ríos y humedales. Menos del 1.0% del agua dulce del mundo, equivalente a 200,000 km³ incluyendo tanto la superficial como la subterránea se encuentra disponible para el consumo humano y el mantenimiento de los ecosistemas naturales (Shiklomanov y Rodda, 2003; *En*: PNUMA 2004). Los factores que intervienen en la disponibilidad de agua, son el clima, vegetación, origen geológico, capacidad de almacenamiento, así como el uso del suelo que modifica necesariamente el ciclo hidrológico en las diferentes regiones del planeta.

Uno de los factores que afecta directamente la disponibilidad del agua es la capacidad de almacenamiento tanto en sistemas naturales como son los lagos, ríos, manantiales y acuíferos como en sistemas artificiales incluyendo los embalses, estanques y canales. Sin embargo, esta capacidad de almacenamiento es modificada por las tasas de azolve o sedimentación de partículas que de manera natural o inducida por el hombre se puede manifestar.

Diversos sistemas acuáticos del planeta manifiestan fuertes problemas de azolve que necesariamente disminuyen su capacidad de almacenamiento de agua.

Considerando que los lagos y embalses son ecosistemas transitorios en el planeta, es decir, no son permanentes y al desaparecer forman parte del proceso

de sucesión ecológica, entonces el azolve o sedimentación favorece procesos como la modificación de la zona litoral, disminución de la profundidad del vaso lacustre, incremento en el radio de superficie a volumen lo que en consecuencia favorece la evaporación del agua y progresivamente acelera el proceso de envejecimiento y extinción del ecosistema acuático.

Algunos de los efectos negativos del proceso de azolve en ecosistemas acuáticos sobre los procesos productivos y el bienestar del ser humano incluyen la disminución en la disponibilidad del agua, obstrucción en vías de navegación, obstrucción de zonas de pesca, destrucción de zonas de desove, alimentación y refugio de especies comerciales, pérdida de accesos al sistema acuático, estancamiento hidráulico, brotes de vectores epidemiológicos y oclusión de manantiales.

Para disminuir los efectos negativos del azolve, entre otras medidas, se han aplicado las acciones de dragado, que es el proceso de extracción de sedimentos mediante técnicas mecánicas con el objeto de retirar los sedimentos que reducen la columna del agua y mantener la capacidad de almacenamiento del vaso lacustre.

Algunas de las experiencias documentadas sobre los resultados del procedimiento del dragado incluyen aspectos como los efectos del dragado para el control del junco (*Potamogeton crispus*) en el Lago Collins, poblado Scotia, Nueva York en los Estados Unidos, para ello se realizó un estudio de la población de esta especie introducida a principios de 1800 desde Eurasia, con el primer registro de colonización en el año de 1841. Esta especie de planta alcanzó densas poblaciones en lagos alcalinos en Norteamérica, además de algunos lagos en Japón, Sudáfrica y Nueva Zelanda.

El lago Collins con una extensión de 24.3 ha y una profundidad promedio de 2.4 m y con valores de alcalinidad de 130 a 200 mg/L, siempre ha manifestado un

desarrollo denso de plantas acuáticas. Esta especie de potamogetonacea presenta un acelerado desarrollo en la primavera con una etapa de florecimiento a inicios de mayo sin permitir que otras especies de plantas acuáticas se desarrollen. Asociado a este efecto se observó una rápida sedimentación estimada en 1.0 cm/año. Debido a que esta planta no crece a una profundidad mayor a los 3.0 m, se aplicó una técnica de dragado en una zona del lago para garantizar esta profundidad mínima. En el estudio se evaluó la efectividad de la técnica, comparando los resultados un año después de su implementación en comparación con las observaciones de comportamiento diez años antes (Tobiessen, Swart, & Benjamin, 1992).

Después de dos años de trabajo, se avanzó en un dragado del 20.0 % de la superficie del lago hasta la profundidad de tres metros. Los sedimentos se retiraron y únicamente el sobrenadante se regresó al embalse. El estudio demostró que aún a ésta profundidad la población de *Potamogeton crispus* manifestó un desarrollo, aunque con tallos más delgados y con un crecimiento y densidad de población menor que en los sitios no dragados. Se recomendó utilizar otro método para controlar esta macrofita pues el dragado fue un procedimiento costoso en comparación con la efectividad de control que se alcanzaba, además de referir que al aplicar el dragado, la resuspensión de sólidos disminuyó la visibilidad y por lo tanto la entrada de luz al sistema con lo que se alteraba la dinámica poblacional de las plantas y algas (Tobiessen, Swart, & Benjamin, 1992).

A partir del estudio del efecto de los sedimentos suspendidos en hábitats acuáticos con relación a la concentración y el tiempo de exposición a los sedimentos, se propuso un sistema de análisis que es el Índice de estrés por exposición, propuesto como resultante de un análisis de 140 referencias y de 1200 datos tratados estadísticamente mediante un análisis de correlación (Newcombe, 1994).

En el índice se consideraron dos variables principales: concentración de sedimentos en mg/L^{-1} y tiempo de exposición en horas. La dosis-respuesta

consistió en tres elementos: concentración, duración de la exposición y los efectos de daño documentados.

Como resultado del análisis se señaló que un efecto transitorio inocuo se asocia a un índice de 6 ó menor. Un efecto subletal (moderadamente severo) y otros efectos tales como la reducción en la sobrevivencia de huevos embrionados, se asociaron con un índice de 12 o inferior. El valor de 12 del índice refiere efectos letales (efecto muy severo) y daño predominante en el hábitat (Newcombe, 1994). No obstante, se consideró que entre las especies hay diferencias estudiadas en su ciclo de vida.

Otros aspectos correlacionados que se detectaron en los datos pero que no fueron confirmados estadísticamente, se refieren a varias relaciones. Una de ellas es la función inversa del tamaño de las partículas, las partículas más grandes son más inocuas que las más pequeñas. Las partículas más angulosas y ásperas fueron más inocuas que las partículas más suaves o lisas. En general los efectos menos severos se presentan en aguas frías y los más severos se relacionaron con un aumento en la temperatura, excepto en las fases de desarrollo embrionario y en la sobrevivencia de alevines. En ensayos experimentales con trucha arcoíris y salmón y otras especies de aguas frías, se observó mayor sobrevivencia (fortaleza) en formas postlarvales, adultos y juveniles (Newcombe, op cit). Todos estos referentes se recomienda sean considerados para definir los recursos de remediación y penalización.

La resuspensión de partículas puede ser ocasionada por diferentes causas. La turbulencia y el tamaño de las partículas, generan entre sí una matriz compleja de contaminación. Cuando se toman en consideración otras variables como el tiempo de exposición, el estadio de desarrollo de la especie, temporada del año y la temperatura del agua, así como el impacto ambiental del arrastre de sedimentos, se convierte en un problema complejo (Newcombe, op cit). La concentración de los sedimentos en suspensión asociados a contaminación es variable. Con la

medición de una serie de variables, se puede estimar una media confiable siendo recomendable el cálculo de la media cuadrática.

En relatoría referida a propósito de la discusión en torno a la llamada Cuestión 69, Embalses en explotación, experiencias ambientales (Fora, 1995), se ha declarado que los embalses enfrentan diferentes problemas ambientales. Se analizaron 50 casos de presas y lagos de diversos países, incluyendo Sudáfrica, Suiza, Francia, Estados Unidos, España, Japón y otros países presentándose resultados de investigaciones locales. La problemática se refiere a los graves azolves en presas, que se han tratado haciendo un vaciado completo de las mismas o bien por medio de un arrastre hidráulico a través de flujo de agua por medio de canales abiertos para tal propósito. Por parte del ingeniero de Argelia, Petry y otros investigadores refirieron la dificultad de manejar los sedimentos en cuerpos de agua grandes. Según las experiencias obtenidas en Japón, no existen fórmulas o procedimientos invariables que permitan tener éxito para deshacerse del azolve. En algunos casos puede ser útil favorecer el aumento en el nivel del agua para transportar los limos. Sin embargo, en países como Argelia ésta situación es difícil de manejar debido a la escasez de agua. Otros autores señalaron que los embalses pequeños se dragan con facilidad continuamente para mantenerlos en buen estado en tanto que los sedimentos extraídos pueden ser utilizados para mejorar los suelos agrícolas.

Con relación a la presa Miwa en Japón (Kitazume 1995, En: Fora, 1995) se refiere que la velocidad de azolve superó la capacidad de retención estimada para 40 años, por lo que el desazolve ha tenido que mantenerse por medio de excavación, dragado y remodelación de la presa mediante la construcción de represas de control de lodos. Otras medidas, se refieren al desarrollo de la conservación de suelos en la parte alta de la cuenca afectada por erosión, siendo una actividad de avance lento. Con referencia a la turbidez permanente que se presenta en el embalse Ikehara, ésta se ha podido manejar derivado de la presencia de una estratificación térmica que define bien las capas de agua de diferente densidad

tanto por temperatura como por turbidez, por lo que se hace circular agua para arrastre de sólidos. Las aguas en este embalse anteriormente eran transparentes, sin embargo, derivado de la deforestación y la apertura de carreteras, la turbidez se ha incrementado como ocurren en numerosas cuencas del planeta.

En este mismo evento, el manejo de embalses en Brasil se reportó que se ha registrado avance en el trabajo comunitario y en el involucramiento de la población, lo que ha permitido la reforestación de una franja expropiada aledaña al Lago Itaipu, siendo notorio que la porción por donde aún hay arrastre de sedimentos corresponde justamente al sitio en donde la reforestación aún se encuentra en proceso (Canali, *En*: Fora, 1995).

Diversos efectos ambientales por la sedimentación se relacionan con la pérdida de hábitats para especies de peces, pérdida de la transparencia del agua que en consecuencia induce a una degradación ecológica, además de que existen cambios en la fertilidad y se origina la formación de llanuras de lodos que pueden producir contaminación atmosférica. La ventaja es que los sedimentos pueden emplearse de manera efectiva para generar nuevos hábitats. Finalmente es referido que el problema de la sedimentación es complejo y debe orientarse un mayor interés a su estudio (Timblin y Shen en Fora, 1995).

En el Lago León, Francia, se refieren problemas relacionados con el dragado (Royet, P. *En*: Fora, 1995). Por una parte, de forma positiva el dragado de sedimentos permite un aumento en la cantidad de agua limpia y una disminución en la carga interna de nutrientes. De manera general, las dificultades referidas al dragado se resumen en que los sedimentos extraídos presentan un alto contenido de agua (95.0%) que se debe disminuir ya que es difícil su manejo, el agua intersticial de los sedimentos debe evacuarse para tal efecto. Los nutrientes alcanzan una concentración cerca de 20 a 50 veces mayor en los sedimentos que en el agua libre. Se mencionó también el escaso valor agronómico de los sedimentos extraídos, aunque tienen algún valor como fertilizantes.

En estudios de 24 embalses de España se ha propuesto un nuevo índice para medir el grado de eutrofización basado en la distribución vertical del oxígeno disuelto que considera la temperatura y presión. Este nuevo sistema se ha aplicado en estudios del Río Ebro durante dos años (Ortega, *En*: Fora, 1995). Se señaló que la calidad del agua es un fenómeno complejo debido a que los embalses reciben los escurrimientos de toda la cuenca y por lo tanto, son el resultado de la influencia de varios factores, como los parámetros físicos, químicos y biológicos que deben ser estudiados para comprender tal complejidad.

Otros planteamientos coincidentes se relacionan con el hecho de que el medio acuático tiene una función decisiva sobre la calidad del agua, es decir la comunidad biológica acuática, sus tramas alimentarias, ciclos de nutrientes, producción de biomasa y de concentración de oxígeno disuelto. La comprensión del comportamiento de la comunidad biológica, requiere de una visión integrada del efecto de los cambios de hábitat (Van Der Westhuizen, en Fora, 1995).

En el caso del embalse de Barasona, se señaló que éste es mantenido mediante procesos alternados de dragado y vaciado hasta la cota mínima por gasto necesario para uso de agua de riego. El embalse presenta variaciones estacionales debido al clima de la península Ibérica, además de una alternancia entre periodos de estratificación y mezcla que se combina con fases de producción y respiración. Se Partió de la hipótesis de que el dragado del embalse puede producir una liberación parcial de nutrientes y otras sustancias tóxicas acumuladas en el sedimento, un aumento en la turbidez y en los sólidos en suspensión, como un efecto antagónico sobre la productividad primaria que puede afectar en forma desigual la cadena trófica (Armengol, 1998), se realizó un análisis del efecto ecológico tanto del dragado como del vaciado. El estudio se realizó con un análisis de las variables fisicoquímicas, sólidos en suspensión, concentraciones de amonio, oxígeno, hierro, manganeso y variaciones en la concentración de potencial de Hidrógeno, entre otros parámetros. Los muestreos fueron mensuales

durante los años 1993 y 1994. Los datos obtenidos en los muestreos se interpolaron mediante una “spline” cúbica, con apoyo de SPSS y las subrutinas del programa Excel v.4. Como parte de los resultados, con relación al efecto del vaciado del embalse hasta la cota mínima para agua de riego, se considera que ésta es una variación cíclica natural debido a que es un proceso que ocurre anualmente. El efecto del dragado se considera como una perturbación fuera del contexto de cambios que se producen a los largo del año.

Debido a que un año no se realizaron actividades de dragado, fue posible analizar que durante el año en que si se aplicó el proceso, se favoreció una liberación de materia orgánica disuelta, así como alta concentración de amonio y de compuestos reducidos estimulando la producción de bióxido de carbono. Se detectó una influencia primaveral del dragado en donde el periodo de estratificación mantuvo los sedimentos cerca del fondo. Para la evaluación del dragado se realizó el seguimiento de las variables de temperatura, conductividad y turbidez, durante tres épocas del año bajo diferentes condiciones de dragado. Se observó que el proceso si denota un impacto significativo en la turbidez y en la dinámica del embalse.

En un estudio de las acciones remediales para obtener beneficios ecológicos a partir de sedimentos contaminados en la cuenca de los Grandes Lagos (Zarull, Hartig, & Lisa, 1999), se refiere que en el análisis de contaminantes presentes, se encontró una alta concentración de metales pesados en el Lago Superior y en la Bahía Georgia en la cercanía con Canadá derivado de una mineralización natural a partir del lecho rocoso. Algunos contaminantes como plomo, cadmio, zinc, entre otros, así como contaminantes orgánicos encontrados en otros lagos, se relacionan con la actividad humana, presencia de fábricas, manejo de agua en centros urbanos, efectos de los afluentes así como de las actividades agropecuarias, principalmente la agricultura. Se propuso que los sedimentos deben ser extraídos por medio de acciones de dragado pero analizando la medida en que este proceso permite su compatibilidad ecológica. El efecto mecánico de

disturbio derivado de la resuspensión de sedimentos, los movimientos de eveción y difusión afectan su distribución. Otros efectos son de tipo químico, como la disolución y precipitación, desorción, oxidación y reducción que pueden manifestar profundos efectos, en los procesos biológicos de descomposición, transformaciones bioquímicas, producción y consumo de gases que alteran la permeabilidad e intercambio de la membrana celular, efectos en la digestión y metilación e incluso su incorporación en la red trófica. Se recomendó la pertinencia de estudiar y conocer el comportamiento de las sustancias orgánicas frente a las sustancias inorgánicas como metales, órgano-metales y nutrientes (Zarull, Hartig, & Lisa, 1999). Es indispensable conocer con detalle estos aspectos para diseñar el método de remediación. De manera particular, se enfatizó en los aspectos relacionados con biodisponibilidad implementando medidas para eliminarlos disminuyendo las consecuencias de su bioacumulación.

Otros autores mencionan la relación que existe entre el tipo y tamaño de las partículas de sedimento y su biodisponibilidad. Al parecer los sedimentos más finos presentan un incremento en su superficie de adsorción y un menor volumen de agua intersticial, de manera que se encuentran más accesibles para que los organismos filtradores aceleren el proceso de sedimentación removiéndolos efectivamente de la columna de agua.

Factores como el potencial de Hidrógeno, dureza del agua, reacciones de óxido-reducción, así como los disturbios físicos, pueden afectar la calidad del agua y la bioacumulación de los contaminantes. Se ha señalado que la comunidad biológica presenta un fuerte efecto en el medio físico-químico de los sedimentos afectando la biodisponibilidad de algunos contaminantes. Particularmente, la productividad primaria afecta el potencial de Hidrógeno y a su vez influye en la química de los metales. Mientras que la acción bacteriana incide en la reducción de sulfatos, que a su vez facilita la formación de sulfuro. El consumo de oxígeno y la anoxia alteran las reacciones de óxido-reducción de los metales e incluso la metilación de mercurio u otros metales (Zarull, Hartig, & Lisa, 1999).

El manejo del Lago Trummen de Suiza se ha referido como un proceso de tratamiento exitoso a nivel mundial. Con una dimensión de 1.0 km² y una profundidad promedio de 2.0 m, inicialmente considerado como un sistema oligotrófico pero transformado en eutrófico a partir de la década de los años 50's debido a la descarga de aguas residuales e industriales, el sistema fue sometido a un proceso de dragado de 50.0 cm de sedimentos generando un volumen total extraído de 400,000.00 m³ en el periodo de 1960 a 1971. Después de algunos estudios se evaluó la reducción de nutrientes como fósforo y nitrógeno en la columna de agua (Brengrtsson *et. al.* 1975, En: Zarull, Hartig & Lisa, 1999). La diversidad de plancton se incrementó en tanto que la productividad manifestó una significativa reducción. La transparencia del agua aumentó y el tamaño de los organismos y células del plancton fueron menores. Los florecimientos de algas cianofitas disminuyeron y algunas especies desaparecieron (Cronberg, *et. al.* 1975, En: Zarull, Hartig & Lisa, 1999). Sin embargo, se señala que en algunos otros casos se ha demostrado que aunque el fósforo disminuye, aún mantiene una alta concentración que a su vez induce florecimientos de algas, por lo que cada caso debe ser estudiado cuidadosamente antes de realizar acciones remediales de dragado y disposición de sedimentos extraídos (Peterson, 1982, En: Zarull, Hartig & Lisa, 1999).

Un análisis sobre el impacto ambiental en el Lago de Maracaibo en donde se refiere a la cuenca como una condición anaeróbica de origen natural, se analizó la presencia de un cono hipolimnético, anóxico en su base y de una alta producción primaria en las aguas superficiales del lago, considerando como hipótesis que derivado de la avanzada eutrofización se presenta la zona anaeróbica. Se refiere también que esta circunstancia es generada por el efecto de la introducción de agua de mayor densidad favorecida por el dragado del actual canal de navegación (Rodríguez, 2001).

Una hipótesis alternativa refiere a que las líneas de base históricas verifican que la alta producción primaria y la existencia de una zona anaeróbica son rasgos hidrobiológicos naturales asociados al sistema, similares a los que pueden encontrarse en otras cuencas anaeróbicas y que podían existir antes del dragado. La depresión de Maracaibo es una importante cuenca petrolífera y la anoxia así como la alta producción y deposición de materia orgánica no degradada son características de los procesos de formación de petróleo.

El cono hipolimnético se localiza en la región central de lago y la permanencia de la zona anaeróbica asociada al cono, se atribuye a que el agua de mayor densidad limita la circulación vertical y en consecuencia la incorporación de agua con mayor contenido de oxígeno disuelto. La salinidad de esta agua se incrementó inicialmente con la profundización y ensanchamiento del canal de navegación en el año de 1953, ya que años más tarde se observó que el lago alcanzó un nuevo estado de equilibrio después de la canalización hacia el año de 1962. Los resultados de los estudios recientes sugieren que el proceso de dragado debe suspenderse para que el embalse recupere su simetría natural.

La verificación de la hipótesis alternativa sobre la anoxia natural de la cuenca, se estudió mediante los registros de pesca de especies comerciales como la curvina. La salinidad natural y su fluctuación, permitió concluir que previo al dragado la concentración en el epilimnio oscilaba estacionalmente y de un año a otro en valores de 1.0 y 2.5 ‰. El cono hipolimnético estratificado, presentaba una marcada haloclina y valores cercanos a 4.0 ‰ cerca del fondo que se hallaba presente al menos durante algunas épocas del año. Los valores del epilimnio fueron relativamente uniformes en toda la extensión del lago, excepto en la desembocadura de los grandes ríos, particularmente el Catatumbo, que presentó valores de salinidad más bajos, pero que aumentaron rápidamente al mezclarse con las aguas mixohalinas del lago (Rodríguez, 2001).

Los trabajos de restauración del Lago City Park en Baton Rouge en el estado de Louisiana en el año de 1983, consistieron en un programa de dragado y reparación de la infraestructura del manejo de aguas residuales. El programa para mejoramiento de la calidad del agua, se estableció debido a que a partir de 1970 el lago sufrió una fuerte eutrofización caracterizada por afloramientos de algas y mortandad de peces. El lago tiene una profundidad de 1.2 m y 0.23 km² de área y se considera un área urbana cercana a una autopista, colindante con un tráfico abundante y el ingreso de contaminantes asociados al tráfico de vehículos. Debido a la presencia de metales pesados que pueden estar en las capas superiores de sedimento, se llevó a cabo un proceso especial de “*descremado*” con el empleo de una draga. La capa superficial fue extraída y colocada en la orilla del lago en un sitio cercano al litoral mientras que las capas más profundas, fueron excavadas a mayor profundidad. Posteriormente, la capa de sedimentos superficiales más contaminados se colocó en un lugar destinado, cubriéndose con sedimentos extraídos de capas más profundas (Ruley & Rusch, 2002).

Inmediato al dragado, se registró un aumento en la concentración de oxígeno disuelto así como en la transparencia. Sin embargo para el año de 1990 surgieron florecimientos de algas filamentosas que proliferaron sugiriendo que a partir del dragado la calidad de agua disminuyó. Las algas filamentosas se desarrollan en ambientes en donde los nutrientes son abundantes sobre el sedimento, en cuanto a las algas microscópicas, la mayor parte de su ciclo de vida transcurre en la columna de agua y ambas son impulsadas hacia la superficie por los gases producidos en la descomposición como el metano (CH₄) y el sulfuro de hidrógeno (H₂S). La masa de algas filamentosas registró una cobertura de hasta 90.0 m de la zona litoral hacia el interior del lago. Se midieron concentraciones elevadas de fósforo total y otros nutrientes e incluso coliformes fecales derivado de las continuas fugas de aguas residuales. Las fluctuaciones poblacionales de algas estuvieron relacionadas con las precipitaciones pluviales, se detectó una disminución en aquellos años en los que la precipitación fue menor que el promedio o en los años de alta precipitación. Al parecer la disminución poblacional

se relacionó más con la falta de penetración de la luz que con la deficiencia de nutrientes (Ruley & Rusch, 2002).

En años con baja precipitación se registra un mayor tiempo de residencia de los residuos y detritus, además de una perturbación química que ocurre cuando la tasa de fotosíntesis y respiración es menor a 1.0 y se desarrollan organismos heterotróficos aceleradamente aumentando las sustancias orgánicas indeseables. La descomposición de algas y materia viva libera diversos compuestos, entre ellos taninos que son de color y adsorbabilidad característicos, de lenta degradabilidad los cuales le generan un color persistente y oscuro al agua que además impide la entrada de luz y en consecuencia la capacidad de fotosíntesis afectando la población de algas. En la década siguiente a la restauración, la concentración de fósforo total aumentó al igual que la concentración de compuestos de nitrógeno. De manera similar, las macrófitas estuvieron ausentes por un tiempo (Ruley & Rusch, 2002).

Se midieron niveles altos en la concentración de fósforo que implica ser un nutriente limitativo con relación al nitrógeno, en una proporción media anual de nitrógeno a fósforo total (N:PT) de 2.14 y una relación de nitrógeno total a fósforo total (NT:PT) de 1.48 en el verano. Sin embargo, se concluyó que de acuerdo con los beneficios, la restauración en éste lago fue exitosa. Que los afloramientos de algas igualmente se presentan en la medida en que la concentración de fósforo se mantenga alta. La fuente de fósforo es el mismo sedimento del lago, que influye a pesar de las medidas de manejo que se pretendan hacer (Ruley & Rusch, 2002).

Relacionado con el uso de los materiales dragados del río Mississippi y otros sitios en los Estados Unidos y en México, en un procedimiento de Manifestación de Impacto Ambiental de una Construcción y Operación de una Terminal de carga de material de importación y exportación a granel en el Puerto Industrial Altamira Tamaulipas (Ochoa, 2004), se refiere que la construcción de un parque industrial en un área de 16,000,385.11m² que el Gobierno Federal desincorporó con título

gratuito al Gobierno del Estado de Tamaulipas. En términos generales el proyecto se refiere a la elevación de los terrenos de un nuevo parque industrial de Altamira para protegerlo del impacto de huracanes, tormentas u otros eventos climáticos. Se señala que los materiales extraídos por dragado en la zona, son insuficientes para el proyecto y que es recomendable que se trasladen de la región del Mississippi lo cual es más rentable.

El área en forma poligonal cuenta con una zona altamente alterada por la actividad de las salineras y otra cercana a la desembocadura del río Barverena en la que se forma una serie de canales con ecosistemas de manglar, en ambas con presión y alteración provocada por actividades ganaderas y de las salineras. Se considera un área circunférica como un corredor ecológico de cerca de 1,400 ha que rodea al Parque Industrial y que incluye al área de manglares conocida como "Las Pozas".

El Puerto de Altamira posee un programa de dragado permanente, con el cual se mantiene el canal de navegación mediante la profundización del calado y con los materiales extraídos se habilitan los terrenos próximos a los frentes de agua. Se refiere que en numerosos proyectos de dragado, en Estados Unidos, Canadá y México, los materiales extraídos son empleados con éxito en diferentes aplicaciones. En la región de los Grandes Lagos, los sedimentos se han utilizado para la recuperación de terrenos agrícolas agotados, elevar terrenos bajos, aumentar la extensión del litoral, crear islas artificiales como hábitat para especies costeras y construcción de arrecifes. De esta manera, en este programa se ha intentado aplicar un uso benéfico y económico para los materiales extraídos. La visión es conocer, el momento, el espacio y la forma en que un material puede ser utilizado considerando con precaución el uso biológico, así como las consideraciones y limitaciones ambientales. Los materiales son variados en composición química desde arenas hasta arcillas. La única condición para su uso es establecer que se encuentren libres de peligrosidad por presencia de elementos tóxicos (Ochoa, 2004).

Se estimó que el material dragado en esta obra en México, sería insuficiente para rellenar toda la superficie de terreno requerida para la construcción del área de embarque o desembarque, bodegas y toda la infraestructura proyectada. La importación de materiales de Estados Unidos se presenta como una de las propuestas viables para el desarrollo del proyecto haciendo un manejo adecuado y de utilidad para el uso de sedimentos dragados (Ochoa, 2004).

Con relación a la disposición o manejo de los sedimentos extraídos y los posibles efectos sobre la salud humana, se realizó un análisis desde una visión holística con una perspectiva ecosistémica, de la situación generada en el Lago Saint-Pierre en Québec.

Las soluciones inmediatas ante el problema del acarreo continuo y descontrolado de material edáfico han generado también la necesidad de procesos de dragado, ya sea por circunstancias de emergencia en el caso de azolve de ríos y otros embalses que tienden a desbordarse provocando inundaciones. Este es el caso del río Desaguadero que comunica al lago Titicaca con el río Poopó en Bolivia y que es su principal afluente. Actualmente, el dragado se ha planificado y realizado para evitar que el desbordamiento del río inunde algunas poblaciones. El efecto ha sido también un acarreo mayor de sedimentos hacia el cuerpo de agua endorreico. Se analizó que el acarreo de metales pesados debe disminuir con la consecuente afectación en la producción pesquera cuyo análisis refleja no solo la disminución de la capacidad de pesca, sino de la bioacumulación de metales pesados en especies importantes como el pejerrey, en el que se ha detectado la presencia de plomo (Zabaleta y Bremer, 2006).

Otros análisis acerca de la pertinencia del dragado, se han desarrollado en el río Ebro en España, en donde se describe el proceso de dragado en un canal que se ha mantenido como navegable durante varios años. Las necesidades de dragado actuales se encuentran asociadas con el ensanchamiento del canal para embarcaciones mayores. Se ha estudiado que el impacto no es positivo debido principalmente a que causa alteración en las condiciones hidromorfológicas,

aumento en la concentración de nutrientes que resulta en una mala calidad del agua, la morfología del fondo del lecho del río se modifica destruyendo la cubierta superficial de los sedimentos. Este proceso resulta en que una mayor cantidad de sedimento fino queda expuesto al movimiento. Se considera también que diversas especies enfrentan su hábitat transformado o destruido y otras especies invasoras llegan a establecerse y a competir (García de Jalón *et al*, 2008).

De acuerdo con el Reporte Técnico del año de 2008 de la Comisión de Dragado de los Grandes Lagos y la Corporación Dock, los trabajos y proyectos que llegan a realizarse con maquinaria para dragado tienen como objetivo principal mantener la navegabilidad de canales, protección de las orillas, extracción de sedimentos, arena y rocas. Los proyectos cuentan con subsidios del gobierno federal, donativos de apoyo a este tipo de programas y fideicomisos municipales. Los programas de trabajo de dragado se iniciaron en el año de 1890 cuando se fundó la compañía bajo el nombre de Lydon & Drews Partnership que en el año de 1905 cambió su nombre a Great Lakes Dredge & Dock Company principalmente dedicada al trabajo con ambientes marinos y estuarios en cercanía con la región de los Grandes Lagos (Great Lakes Dredge: Dock Corporation, 2008).

Se refieren décadas de trabajo con diferentes y numerosos cuerpos de agua en los Estados Unidos de Norteamérica y algunas partes del mundo. Con referencia a las responsabilidades y contingencias, se señala que se enfrentó una demanda después de las inundaciones ocurridas por el huracán Katrina en la que los demandantes aludían que a causa de los trabajos de dragado en la ribera del Río Mississippi, se destruyeron los humedales naturales de Louisiana que funcionaban como barrera o diques en contra de huracanes y tormentas tropicales. Hacia el año de 2006 la corte del distrito delimitó las responsabilidades de la Compañía de dragado de los Grandes Lagos y otras compañías que intervinieron en trabajos relacionados con dragado en esos lugares quedando libres de la responsabilidad, manteniendo los contratos y convenios de trabajo que han contraído desde su fundación desde hace más de un siglo, en donde desempeñan sus labores de dragado.

En estudios técnicos recientes sobre los aspectos ambientales del dragado (Bray, 2008), señala que el proceso consiste de cuatro fases fundamentales: a) Percepción o toma de conciencia del problema, b) Búsqueda de soluciones, c) Implementación de la solución y 4) Fase de manejo. La implementación del proyecto y el manejo del mismo implican un proceso ordenado que inicia en la definición de proyecto y sus objetivos. Se fundamenta en el análisis del efecto del dragado en cuanto a su impacto ecológico, económico y social, la investigación y muestreo y el manejo del material dragado para derivar en la implementación del proyecto. Una de las etapas principales es la evaluación ambiental del impacto para poder diseñar un plan de manejo ambiental que permita aminorar el efecto de tal impacto, que es necesariamente una consecuencia del proceso, mediante el manejo de trabajos remediales.

Con relación a los efectos positivos o negativos se considera que la hidrografía en su mayoría recibe los efectos positivos al igual que la actividad económica relacionada con los beneficios del proyecto. En tanto, los aspectos ambientales o ecológicos en su mayoría pueden ser afectados por procesos negativos ocasionados por la turbidez y la sedimentación considerando también que la batimetría es afectada positivamente, en tanto que estos dos parámetros sufren un deterioro temporal que tiende a eliminarse conforme se dejan en reposo los sitios (Bray, 2008)

Se han referido diversas situaciones que se deben considerar en torno a la aplicación de programas de dragado. Entre ellas destaca: 1) Elaborar un plan de aplicación del programa y beneficios que se pretenden, 2) Poseer un área para el depósito de los sedimentos dragados, 3) Manejar adecuadamente los sedimentos para evitar que se conviertan en un foco de contaminación para la salud y las diversas actividades económicas como agricultura, ganadería y de la construcción entre otras, que se pueden beneficiar o perjudicar con la utilización o depósito de sedimentos y 4) Evaluar las propiedades fisicoquímicas de este material para estructurar un plan de manejo adecuado (Bray, *op. cit.*).

Con referencia al aumento en la turbidez debida a la resuspensión de sólidos, se describe como un proceso temporal que es consecuencia natural debido al proceso, pero que no ocasiona otras sinergias debido a que la sedimentación también es un evento que se presenta después del dragado. Se señala riesgoso en el caso de que entre los contaminantes se encuentren metales pesados o que las concentraciones de nutrientes sean muy elevadas (Bray, *op. cit.*).

4.2. DRAGADO EN LAGOS MEXICANOS

En México son escasos los procesos de dragado que han sido documentados y de manera especial evaluados con relación a su impacto ambiental así como a las medidas de restauración y manejo.

En un programa de restauración del Lago Viejo de Chapultepec, el dragado se aplicó en el lado sur del lago con el objetivo de controlar el deterioro ambiental debido a las fuertes concentraciones de nutrientes como nitratos y fosfatos. El lago presentaba una profundidad media de 1.0 m y máxima de 1.8 m. Una superficie total de 60,240 m². El ingreso se presentó de tres fuentes: El río Hondo, la planta de tratamiento de aguas residuales de Chapultepec y las pequeñas descargas crudas (aguas negras sin tratar) que provienen de los locales comerciales cercanos. Desde el año de 1935, había una sobrealimentación del sistema con aguas provenientes del Río Hondo. En el año de 1956 se construyó la planta de tratamiento de aguas residuales con lo que el aporte de materia orgánica disminuyó pero no así los valores de fósforo y nitrógeno según se reporta, la problemática de la eutrofización se agudizó.

Las características principales del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales que se reportaron en los años del estudio son: Demanda Bioquímica de Oxígeno promedio de 13.0 mg/L para la temporada de lluvia y 10.0 mg/L para la temporada de estiaje. Los sólidos suspendidos totales se estimaron entre 8.0 y

140.0 mg/L con un promedio de 55.0 y 54.0 mg/L. El nitrógeno fluctuó entre 3.0 y 21.2 mg/L para el estiaje. El promedio de 10.2 mg/L fue más elevado que en lluvias con valor promedio de 7.6 mg/L. El caso contrario ocurrió con el fósforo cuyo valor máximo promedio se registró en la época de lluvia con 5.2 mg/L y en el estiaje de 4.4 mg/L con fluctuación entre 3.4 y 8.2 mg/L. Las aguas del lago presentaron un color de verde brillante a parda por la presencia de los sólidos suspendidos principalmente asociados a las algas.

En los resultados obtenidos se observó una amplia variabilidad en los valores de los parámetros usados como indicadores de la condición trófica. En los años previos al dragado, en 1984 los nitratos variaron de 0.910 ± 0.746 mg/L disminuyendo en el año de 1985 (0.040 ± 0.076 mg/L) y aumentando en forma drástica en 1986 hasta un máximo de 4.15 mg/L. El nitrógeno amoniacal presentó valores bajos con excepción en el mes de agosto de 1985 que tuvo una elevación de 4.45 mg/L. Los ortofosfatos constituyeron la mayoría del fósforo total comportándose ambos de manera similar. Los ortofosfatos evolucionaron de forma variable con un ligero aumento en marzo y abril de 1985 y disminuyeron posteriormente (Alcocer, Kato, Robles, & Vilaclara, 1988).

Los muestreos se reiniciaron después de los dos meses y medio que se aplicó el dragado evaluando dos meses más en el año de 1986. Como resultado del análisis de componentes principales, se refiere que los dos parámetros que reflejan mejor información fueron los nitratos en el componente uno y los ortofosfatos en el componente dos, explicando entre ambos el 95.0% de la varianza total. Como parte de las conclusiones se señala que es importante que en el lago Viejo de Chapultepec fuera importante primero retirar la entrada de nutrimentos antes del proceso de dragado y la resuspensión de sólidos.

En la discusión se refiere que se encontraron concentraciones elevadas de clorofila hasta de 800.0 mg/m^3 al parecer común en florecimientos de algas cianofíceas que en realidad fueron las especies dominantes seguidas en mucha

menor proporción por las clorofíceas. La eliminación de fósforo de fuentes antropocéntricas tecnológicamente puede efectuarse hasta en un 90.0%. En general los valores de los parámetros indicativos de la condición trófica del lago registraron aumento en los meses posteriores al dragado, sin embargo se ubicaron dentro del intervalo de variación registrado. Los nitratos registraron una variación considerable después del dragado.

Los valores de nitrógeno amoniacal se midieron entre 4.99 ± 3.35 mg/L siendo una suma elevada debido a que valores entre 5.0 y 10.0 mg/L son característicos del hipolimnion anaerobio de lagos de tipo eutrófico (Lind, 1979 en Alcocer, Kato, Robles & Vilaclara, 1988). Sin embargo se supone un origen alóctono para el amonio. La especie *Mycrocistis aeruginosa* fue la dominante en algas debido a su preferencia por el amonio sobre los nitratos y su gran adaptabilidad a las variaciones en la concentración de este nutriente. La producción fitoplanctónica se mantuvo elevada a pesar de los valores bajos de nitrógeno de la fluctuación registrada.

Se concluyó que el dragado no produjo variaciones significativas ya que la fluctuación es parte del intervalo de variación natural del Lago para los parámetros significativos. No obstante se señaló que fue necesario un periodo más amplio de muestreo después del dragado. Resaltando que los parámetros bien pudieron estar enmascarados por la dinámica propia del sistema.

4.3. EL PROGRAMA DE DRAGADO EN EL LAGO DE PÁTZCUARO

Uno de los estudios para el análisis de la calidad del agua de Pátzcuaro, se realizó comparando los resultados de varios análisis fisicoquímicos en siete sitios en donde el programa de dragado se ha aplicado para mantener la navegación mediante acciones de desmalezado y dragado en el lago de Pátzcuaro. Los sitios se ubicaron en las inmediaciones de las islas Urandenes, en donde se ubica la

reserva del pescado blanco. Tres de los sitios se ubicaron en la zona de dragado y cuatro se ubicaron fuera del área de operación de las máquinas.

Las colectas se realizaron considerando tres periodos. El primero antes del dragado, el segundo durante la etapa de operación y el último después de la operación, con un total de seis muestreos. El muestreo inició en el mes de diciembre del año 2002, un segundo muestreo se realizó en enero de 2003, tres muestreos durante el mes de febrero y un último en el mes de mayo (Corona, 2003).

Como resultado de los análisis fisicoquímicos se refiere que las sustancias químicas liberadas por la operación de las dragas, no son tóxicas y que no se observa mortalidad de peces *in situ* posiblemente debido a que el trabajo con las máquinas ahuyenta a los peces. La contaminación en el lago existe pero el registro de mayor contaminación se observó en ciertas zonas de descarga ajenas a la reserva que recibe agua que se filtra en el humedal cercano y además se encuentra rodeada de manantiales.

En los peces, específicamente en crías de pez blanco, que se emplearon en los bioensayos con eleutriados, se señaló que en el caso de la proporción 1:8 y de 25 mg/L de sólidos suspendidos (20.0 y 66.0 %) respectivamente, la mortalidad se relacionó con la reciente adaptación de la especie, considerando que estos peces estudiados presentan adaptación al medio natural y resistencia a sus condiciones ambientales.

Se aclaró que el dragado es importante en la zona para evitar el crecimiento de una mayor extensión de pantano y posteriormente su transición y sucesión a tierra firme. De la misma manera, el proceso de dragado permite que se incremente el volumen y la circulación del agua, así como el aspecto estético sin atentar contra la vida silvestre (Corona, 2003).

El Consejo Estatal de Ecología del Estado de Michoacán (COECO), elaboró una serie de recomendaciones concernientes a programas de recuperación, conservación y restauración de la cuenca del Lago de Pátzcuaro (Lafragua, 2004). Entre ellas se refiere que: “... las acciones en el ordenamiento en el manejo de ecosistemas y conservación de especies se basaron en la formulación del programa de conservación del achoque; evaluación del impacto ambiental del dragado y adquisición de 2 dragas; inicio del programa de Ordenamiento Ecológico Territorial en los pedregales de Arócutin y San Francisco; elaboración del plan de Ordenamiento Ecológico Territorial de la Cuenca...” Con respecto al proceso de dragado se estableció la necesidad de que se deberán realizar los estudios sobre la pertinencia del mismo evaluando el impacto ambiental que se deriva.

Con respecto al informe de historial de proyectos en desarrollo por parte del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), se registraron las referencias de la clave y nombre del Proyecto y el Responsable (IMTA, 2004).

HC- 0396 Simulación del impacto de diversas acciones de recuperación sobre el lago de Pátzcuaro.	Mauricio Escalante Estrada
HC- 0397 Diseño del plan estratégico de acciones para la recuperación del lago de Pátzcuaro.	Álvaro Muñoz Mendoza (q.e.p.d.)
HC- 0399 Localización caracterización y restauración de manantiales en la cuenca del lago de Pátzcuaro.	Xiangyue Li Liu

Desde hace 40 años se estableció el programa de dragado en el lago de Pátzcuaro. Como medidas necesarias, se ha propuesto el Plan de Ordenamiento Ecológico Territorial de la Cuenca y la elaboración del Plan de Ordenamiento Ecológico Territorial del área natural protegida el "Cerro del Estribo Grande" que ha sido explotado para la extracción de arena y que es una de las elevaciones montañosas más próximas al cuerpo de agua.

En un estudio sobre el impacto del dragado en el lago de Pátzcuaro, se refiere que existe un registro sobre los últimos 40,000 años de historia geológica en los sedimentos. Actualmente existe una disminución en la recarga de acuíferos, además del azolve y agotamiento de los recursos naturales regionales. La porción sur del lago colinda con las máximas elevaciones montañosas de origen volcánico. La alimentación por agua de manantial en alguna proporción es generada en el cerro de “El Estribo” y la aportación mayor de sedimentos se encuentra en la zona de Erongarícuaro, Uricho, Ajuno y Jarácuaro.

Las actividades de dragado han sido aplicadas durante los últimos 40 años cuestionándose su efectividad, de tal forma que se refiere la falta de un estudio que confirme el impacto negativo o positivo de esta actividad. Las operaciones de dragado al parecer representan riesgo moderado para la salud por incorporar en baja proporción algunos elementos, como los metales pesados cobre, zinc y plomo (Chacón Torres, 2005).

Las actividades de diversos proyectos aplicados en la cuenca se han orientado hacia dos propósitos fundamentales, el primero es impulsar el desarrollo socioeconómico y el segundo a solucionar la problemática ambiental. A través de métodos cualitativos y cuantitativos, se ha detectado la falta de consenso y vinculación entre los habitantes de la cuenca y su propia percepción en contraste con los académicos y las instituciones de gobierno. Se ha manifestado que varios de los programas que se han aplicado, son descreditados por la población debido a que han resultado en perjuicios mayores para el lago. Así mismo, se ha reconocido que los proyectos con frecuencia no tienen continuidad y que los mismos habitantes se han involucrado escasamente en la implementación de acciones, además de que sus opiniones son consideradas de poca credibilidad (Millán, 2005).

De acuerdo con el Expediente Técnico 2008 sobre La Rehabilitación y Mantenimiento del lago de Pátzcuaro (Comisión de Dragado del Lago de

Pátzcuaro, 2009), los antecedentes y la justificación, así como la capacidad y alcances de trabajo proyectados se resumen de la siguiente manera:

El Lago de Pátzcuaro es muy importante cultural y económicamente; durante años sostuvo la economía de la región. Los principales problema asociados a la actividad antropogénica son: *“erosión, reducción de la flora regional y azolvamiento, contaminación y eutrofización del lago de Pátzcuaro, dando como consecuencia la disminución de las actividades económicas que genera la pesca y el turismo principalmente, disminuyendo la calidad de vida de los pobladores ribereños y el hábitat de las especies de este ecosistema.”*

Las primeras afectaciones del paisaje en la cuenca, se refieren a la actividad agrícola de las comunidades P’hurepécha con la construcción de terrazas para labranza agrícola en los relieves accidentados. Posteriormente durante la colonia española, se manifiesta un auge en la actividad agrícola con nueva formas de producción y también se desarrolla la ganadería.

Posteriormente con la construcción del ferrocarril, se hace más evidente la explotación intensiva de los bosques de coníferas para el tendido de la vía y otras actividades económicas regionales.

En el año de 1936 se llevó a efecto la primera reforestación en el Cerro Rojo, se implantó la veda forestal en los cerros de la cuenca y se establecieron viveros forestales tipo chinampa en la Ex-hacienda de Ibarra. En el año de 1942 se iniciaron las labores para la eliminación manual de la vegetación acuática particularmente del lirio acuático *Eichhornia crassipes* y la “chuspata” *Typha latifolia* empleando para ello, herramienta manual como machetes con el apoyo de embarcaciones de madera. Se crearon programas de apoyo para estas labores que se continuaron por dos periodos gubernamentales.

Para el año de 1944 el nivel del lago disminuyó de manera que se formaron zonas pantanosas y desapareció la Isla de San Pedrito. Fue necesario abrir canales y

construir chinampas para viveros forestales. Para el año de 1947, ocurrió una etapa de decadencia en la que se suspendieron apoyos económicos. En el año de 1967 el lago incrementó su nivel por los aportes de agua de la Ciénaga de Chapultepec y de Nocutzepo que se lograron por la limpieza de canales. Para el año de 1968 se creó la Dirección de Dragado perteneciente a la Secretaría de Marina, la cual, además de los planes de dragado realizó la construcción de estanques.

En el año de 1976, se estimó que el lago había sufrido una pérdida de 18.0 km² entre las localidades de Tzurumútaro y Sanabria. Para enfrentar los problemas de erosión y azolve, en el año de 1978 se creó un programa de recuperación de suelos degradados y control de azolve del lago de Pátzcuaro. Se impulsó la reforestación de los cerros Blanco y Colorado construyendo también presas filtrantes. El programa se extendió a comunidades de la ribera. La Comisión Forestal del estado continuó la reforestación en la zona suroeste (Comisión de Dragado del Lago de Pátzcuaro, 2009).

En el año de 1979, se hace cada vez más evidente un aumento en el azolve, el canal de navegación a Janitzio se obstruyó. Además, la “*chuspata*” *Scirpus americanus*, sustituyó al tule *Typha latifolia* como hidrofita dominante generando barreras que dejaron a algunas comunidades sin la posibilidad de continuar la pesca.

Hacia mediados de la década de los años ochenta diversas dependencias gubernamentales como CODILAPA, Secretaría de Pesca, Secretaría de Comunicaciones y Transportes y el Gobierno del Estado, se organizaron para la adquisición de maquinaria y equipo especializado para el dragado y extracción de vegetación mediante una draga, además de una trituradora de vegetación donada por la Secretaría de Marina. Derivado de problemas por la falta de coordinación entre las dependencias, los trabajos no tuvieron un orden pertinente y por lo tanto el avance fue escaso.

ANTECEDENTES

En el mes de marzo de 1982 se realizó un estudio batimétrico y limnológico del lago que complementó el estudio fisiográfico que comprendía los diversos aspectos físicos ambientales de la cuenca. Se implementó un Plan de Restauración Vegetal del lago de Pátzcuaro (REVELAPA) y se inició un proyecto de evaluación de la degradación de la cuenca a cargo del Centro de Investigaciones Forestales de Occidente (CIFO).

En el mes de septiembre de 1983, la Secretaría de Fomento Rural presentó el programa ecológico denominado el Plan REVELAPA, el cual buscaba frenar la degradación de la cuenca. El diagnóstico generó información, como los datos conocidos a través del estudio fisiográfico del CRAC (Centro Regional Asociación Civil), que estimó la reducción de la capacidad acuífera del vaso en un 40.00% de su capacidad original, a causa del ingreso de 50,840 millones de metros cúbicos de azolve. Se estimó una superficie erosionada de 24,647 ha y la pérdida promedio de 20 centímetros de suelo. El proyecto propuso como meta reforestar 19,078 hectáreas con árboles frutales y 23,645 con especies forestales maderables. En esta acción participaron instituciones como el grupo de conservación de suelo y agua de la SARH, Pronagra, Conafrut, Subdelegación de Ecología, Programa Forestal del lago de Pátzcuaro (SARH), Secretaría de la Reforma Agraria, Comisión Forestal del Estado, ORCA (Organización Ribereña contra la contaminación del Lago de Pátzcuaro), Fomento Rural, Banrural, además de la Dirección de Planeación y Programación.

Pese al apoyo del Ayuntamiento de Pátzcuaro, debido a diversos problemas de descoordinación y posturas entre las diversas dependencias hacia el año de 1984 no se logró el avance proyectado. Como resultado de los estudios iniciados por el CIFO en el año de 1981, se reportó que el aporte de azolve al lago ascendió a 100 mil metros cúbicos anuales.

Por otro lado, los trabajos de restauración ecológica reportaron por parte del Gobierno Estatal programas de empleo que llevaron a la reforestación de 718 ha de frutales y 1,300 plantas de especies forestales además de la construcción de

10,764 presas. La Comisión Forestal del Estado reforestó 1,025 hectáreas; instaló 11 corrales para la reserva del pez blanco, se dragaron 14,637 m³ de azolve y se despejó una superficie de 12.8 hectáreas de maleza acuática. Hacia el año de 1985, se reportó un avance lento en el programa de dragado y un aumento de azolve. De manera similar ocurrió en el año de 1986, debido a la reducción de los apoyos económicos. En ese momento la empresa paraestatal Petróleos Mexicanos creó un programa de apoyo después de la apertura de un gasoducto. Sin embargo, a pesar del afinamiento de taludes y otras obras de recuperación de suelos, la falta de cobertura vegetal ocasionó que el azolve continuara (Comisión de Dragado del Lago de Pátzcuaro, 2009).

A finales del mismo año, se reportó la pérdida de 700 mil m³ de agua por la estación de bombeo de la unidad de riego de Quiroga en Santa Fe de la Laguna (Comisión de Dragado del Lago de Pátzcuaro, 2009). El gobierno estatal informó de la reubicación de la reserva del pez blanco en Urandén de Carián, además de la construcción de bordos de contención con material de dragado y la limpieza de 2.5 ha de maleza.

A partir del año de 1990, se creó la Coordinación de Dragado dependiente de la Dirección de Ganadería y Pesca de la Secretaría de Desarrollo Agropecuario y Forestal, para atender esta problemática bajo un programa permanente de extracción mecánica de la maleza y sólidos sedimentados con maquinaria especializada, programa que actualmente se encuentra a cargo de la Comisión de Pesca del Gobierno del Estado, realizando la extracción de sólidos, construcción de bordos y extracción de vegetación acuática, los trabajos se orientan a mantener el funcionamiento de los canales de navegación, rescatar zonas de pesca, permitir el ingreso de aguas durante el periodo de estiaje desazolvando manantiales y abriendo brechas entre la vegetación, que permitan un flujo hidráulico propiciando condiciones para obtener una mejor producción pesquera y sanidad natural del lago. En conjunto se impulsó también mantener vigente la imagen del lago como escenario turístico.

ANTECEDENTES

De acuerdo con los datos referidos en el informe técnico, se registran los valores de la acción institucional en el programa de dragado que se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Resultados del Programa de Dragado en el Lago de Pátzcuaro (tomado del informe técnico 2008 de la Comisión de Dragado, 2009)

Año	Extracción de lirio (ha)	Extracción de sólidos (m ³)	Formación de bordos (m)	Inversión
2002	204.40	198,396.32	8,717.00	\$5,601,684
2003	371.85	410,396.34	9,745.50	\$6,853,599
2004	210.96	406,079.25	11,477.43	\$5,954,364
2005	198.03	395,546.24	9,821.87	\$6,222,808
2006	164.73	311,278.81	11,350.17	\$6,000,000
2007	97.80	234,210.64	5,571.70	\$6,000,000

La Comisión de Dragado refiere que su operación en el lago no es la solución a los fuertes problemas que enfrenta considerando la falta de manejo adecuado en la cuenca. El programa, sin embargo, es un apoyo y una práctica necesaria debido a la descarga de drenajes, presencia de detergentes, aceites y otros contaminantes y la pérdida del nivel de agua.

El mismo reporte señala que durante los últimos ocho años no se ha logrado una recuperación del nivel de agua y se estimó una disminución de 1.85 m hasta el año 2000, provocando una baja en los canales de navegación, principalmente en los muelles de la isla de Janitzio, acceso de la parte norte de Urandén de Morelos y en los muelles de Tzintzuntzan y Ojo de Agua, ocasionando un distanciamiento entre el espejo de agua y las comunidades ribereñas, que a la vez se “*apropian*” de la zona federal provocando otra problemática social asociada a la posibilidad de restaurar la zona litoral.

Por ello, se impulsaron acciones de dragado para la protección de la parte sur con la construcción del canal perimetral que corre del muelle San Pedrito a la localidad de Arócutin, alcanzando una longitud de 16.5 km y de la parte nororiental que inicia del muelle de Tzintzuntzan hasta Ojo de Agua.

Según se señala, en el mes mayo de 2003, el primer canal fue cortado por la desviación del río Guani, para evitar que los sólidos ingresados siguieran desplazándose hacia las partes profundas del canal con dirección al muelle San Pedrito, Janitzio y Urandén Carián, se construyó un cercado que a la vez funciona como filtro biológico. En estas circunstancias fue necesario construir un canal perimetral aledaño para atrapar los sólidos y propiciar el mantenimiento periódico de forma relativamente fácil, considerando además la idea de delimitar la barrera acuática-terrestre del lago y proyectar entonces la formación del canal perimetral II que inicia desde este punto hasta la población de Erongarícuaro.

Según referencia textual del informe técnico, los objetivos proyectados con los trabajos de extracción de vegetación acuática, rehabilitación, apertura de canales de navegación y continuación del canal perimetral, son los siguientes:

Ecológico.

- 1. Recuperar la actividad biológica existente en el sistema acuático, despejando de maleza áreas para permitir una penetración de los rayos solares a la columna de agua.*
- 2. Reducir la pérdida de agua por evapotranspiración.*
- 3. Facilitar condiciones para el funcionamiento hidrodinámico de las aguas que entran.*
- 4. Aumentar la transparencia del agua disminuyendo la cantidad de sólidos disueltos, evitando la entrada directa de los sólidos por arrastre fluvial.*
- 5. Establecer condiciones favorables para la reproducción de las especies endémicas como lo es la reserva ecológica para la reproducción del pez blanco.*
- 6. Delimitar el avance de la vegetación del litoral como gramíneas y ciperáceas (chuspa, tule y coture) hacia el lago, formando una barrera acuática-terrestre mediante la extracción de sólidos sedimentados en el litoral.*

Pesquero.

- 1. Control de la vegetación, sobre todo del lirio que por arrastre del viento causa la pérdida de artes de pesca fijas.*
- 2. Apertura de zonas de captura.*
- 3. Limpieza y rehabilitación de canales de acceso al lago.*

Turístico

- 1. Mantener en condiciones los canales de navegación.*
- 2. Mantener una buena imagen del lago en los recorridos turísticos a la isla de Janitzio.*

Social

- 1. Se evita la presencia de insectos (mosquitos) y aguas estancadas que actualmente afecta la salud pública de las comunidades ribereñas.*
- 2. Se ayuda a la dispersión y saneamiento natural de las aguas negras que confluyen al lago.*
- 3. Se mantienen empleos y se crean fuentes de trabajo.*

4. *Mejorar el nivel de vida de los habitantes de la región lacustre e isleños, mediante la pesca, artesanía y turismo.*

Como metas planteadas para el ejercicio 2009, se señaló un ajuste al presupuesto autorizado y no al rendimiento estándar que tiene cualquiera de las máquinas en condiciones normales de operación.

<i>Extracción de sólidos:</i>	<i>260,525 m³</i>
<i>Construcción de bordos, vasos filtrantes o zonas de tiro</i>	<i>7,500 m</i>
<i>Extracción de lirio:</i>	<i>125.0 hectáreas</i>
<i>Despalotizado de vegetación acuática:</i>	<i>19.0 hectáreas</i>

Adicionalmente, se han acordado trabajos particulares solicitados por la comunidad cuyo costo de recuperación referente al consumo de combustible, es cubierto por la misma. Existe incertidumbre de realizar estos trabajos debido a la falta de recursos suficientes para refacciones y mantenimiento de la maquinaria, ya que cualquier problema mecánico puede detener por completo las actividades.

Hace quince años el programa de dragado tuvo un éxito relativo siendo notorio su avance por los programas de subsidio que otorgaban cierto apoyo a los pescadores que se involucraban en el proceso de limpieza y mantenimiento de los canales. Actualmente el programa de dragado se aplica en la cercanía de las islas de Urandén de Morelos y Urandén de Morales sin que la población se involucre de igual manera que lo hizo tiempo atrás, comprendiendo la importancia de la aportación de su trabajo en el cuidado y manejo de sus recursos naturales (Barajas, *com. pers.* 2008). Incluso los operadores de las máquinas de dragado se encuentran sujetos a su pago y contratación por parte de dependencias de gobierno más que por una forma de organización comunitaria y concientización.

4.4. HUMEDALES EN EL LAGO DE PÁTZCUARO

En lo que respecta al aspecto de los humedales, entre los cuatro nuevos sitios que se designaron como sitios Ramsar en México, para el Día Mundial de los Humedales, se encuentra el Lago de Pátzcuaro (Valencia, 2005). Indicando que el sector suroeste presenta una extensa área pantanosa con una vegetación acuática abundante de plantas sumergidas y emergentes. Además se refiere a la importancia del lago por la gran cantidad de especies endémicas.

El humedal del seno sur del Lago de Pátzcuaro, ha sido registrado con el número 1447 en los sitios RAMSAR y representa un alto valor para la biodiversidad en nuestro país. Según las referencias, se caracteriza de la siguiente manera: “El sector suroeste del Lago de Pátzcuaro, a 2035 msnm en una cuenca endorreica de origen volcánico. Concentra la zona pantanosa más extensa de lago en donde se encuentra abundante vegetación acuática hoy en mayor parte pantano con extensas áreas de tules (*Scirpus americanus*, *Typha latifolia*, *Sagittaria gramínea*, *Cyperus niger*) así como plantas sumergidas de *Nymphaea mexicana* y *Potamogeton illinoensis*. El lago es rico en peces endémicos como el pez blanco (*Chirostoma estor estor*), la acúmara (*Algansea lacustris*), la chehua (*Allophorus robustus*), el tiro (*Goodea luitpoldii*) y los moluscos *Opeas patzcuarensis* y *Potamopyrgus patzcuarensis*. Asimismo es hábitat de dos especies amenazadas a escala global: el ajolote de Pátzcuaro *Ambystoma dumerilii* y la mascarita transvolcánica *Geothlypis speciosa*. Existe un programa permanente de dragado de áreas colmatadas y un plan en curso para recuperar las poblaciones de *Chirostoma estor*. Sitio Ramsar 1447.

Dentro del lago, como parte de las acciones llevadas a cabo en el esfuerzo conjunto de recuperación de la cuenca, se desarrollan proyectos de trabajo con humedales. Se refieren tres proyectos en operación (Rivas, H. A. citado en IMTA, Recuperación Ambiental de la cuenca del Lago de Pátzcuaro, 2008).

El primero de ellos unifamiliar y modelos para la atención de una población de hasta 2,000 habitantes, para el tratamiento de aguas residuales. En el caso del unifamiliar, consiste en un tanque séptico y un humedal y en los otros casos incluye un sedimentador, más un humedal de lodos, tanto para agua clarificada como para aguas residuales de retorno agrícola. Este proyecto inicial fue puesto en marcha en el poblado de Cucuchucho. Posteriormente, se presentan diseños de humedales para cuatro localidades más, Erongarícuaro, Tzintzuntzan, Santa Fe de la Laguna en Quiroga y Buenavista en Pátzcuaro, previos estudios topográficos, de calidad del agua y socioeconómicos.

De éstos cuatro, por falta de aceptación de los propietarios de los terrenos, sólo se iniciaron los proyectos de Cucuchucho, Tzintzuntzan y Santa Fe de la Laguna. De acuerdo con los estudios de la calidad del agua, es posible que esta sea utilizada en riego de hortalizas, cultivo de pescado y cultivo de plantas de ornato en beneficio de la economía de las comunidades rurales. El modelo consiste en un pretratamiento con rejillas, desarenador, sedimentador, humedal de lodos y humedal para agua clarificada.

Según se refiere en la misma fuente de consulta (IMTA, 2005), existe una propuesta internacional para el uso de los humedales como alternativa viable en la restauración de ecosistemas en proyectos de desarrollo sustentable, mediante la llamada Convención sobre los Humedales que entró en vigor en 1975 en más de 144 países.

En estudio de dos humedales, uno natural y uno manejado, se ha concluido que las condiciones que se presentan en ambos, reflejan diferencias significativas. El humedal natural de manera importante en su relación con el resto del embalse, presenta menores concentraciones de nitritos. En el humedal manejado, se encontró una concentración mayor de nitritos que resulta en una mayor productividad y proliferación de algunas especies lo cual es un inconveniente en un lago de origen endorreico como éste cuerpo de agua (Ayala, 2007).

4.5 EQUIPO DE DRAGADO Y DESMALEZADO O LIMPIEZA EN EL LAGO DE PÁTZCUARO

Actualmente en el Lago se encuentran en operación 11 máquinas con diferentes capacidades y propósitos para los diversos trabajos de mantenimiento relacionados con la extracción de sólidos, la extracción de maleza, navegación y otros trabajos señalados con anterioridad. Los equipos según referencias proporcionadas por la Comisión de Dragado en la Guía Técnica 2009 son los siguientes:

EQUIPO 1: DRAGA SAN PEDRITO

ACTIVIDAD: EXTRACCIÓN DE SÓLIDOS (DRAGADO m³)

Características: Draga estacionaria de succión y cortador con una escala para dragar a 12.00 m de profundidad y un radio de 30.0 m de abanicado que tiene una succión de 14" x 12", cuenta con dos motores marca "Caterpillar"; el motor principal es el modelo D-343 de seis cilindros en línea con 300 H.P., trabajando a 1'800 rpm, impulsa la bomba dragadora por medio de bandas dentadas; el motor auxiliar de modelo D333 de 150 H.P., de seis cilindros impulsa el sistema hidráulico con que se encuentra equipada la draga.

Capacidad mecánica de trabajo:

Volumen de extracción por hora (m ³)	54.00
Volumen de extracción anual (m ³)	135,000.00
Consumo de combustible por hora (L)	25.25
Consumo de combustible anual (L)	63,125.00
Tiempo efectivo por turno cinco horas, (en dos turnos)	10.00
Dragado efectivo promedio (profundidad en metros)	2.50
Ancho promedio (m.)	30.00
Longitud promedio anual (m)	1,900.00

**Frente de trabajo: CONSTRUCCIÓN DEL CANAL PERIMETRAL II
PÁTZCUARO-ERONGARÍCUARO.**

Para responder a la problemática ocasionada por la desviación del Río Guani en el mes de mayo de 2003, se construyó en línea paralela, lago adentro, una segunda trampa para prevenir el avance del azolve hacia las partes bajas del lago. Este canal perimetral dos (P II) que inició a construirse en el año de 2004 y se continuó en los años de 2005, 2006 y 2007, alcanzó una distancia de canal construido de 3'310 metros (3.31 km), ubicando su lugar de inicio en la conexión con el canal principal a Janitzio hasta la reserva del pescado blanco.

Con los trabajos realizados en la construcción del canal perimetral dos (P II), también se ha rescatado el espejo de agua para el lago en una superficie de 45.75 ha, ya que el canal se construye sobre las zonas invadidas por vegetación acuática donde las profundidades todavía permiten el trabajo mecánico en estas zonas. De acuerdo con los rendimientos de la maquinaria se planeó la construcción de 7,100 m (7.1 km) para el año de 2008, con un ancho de 30.0 m y dragado efectivo de 2.5 m.

El objetivo de los trabajos que se realizan es el de impedir el avance de la vegetación arraigada y emergente hacia el lago, además delimitará el espejo de agua y la progresiva reproducción de lirio, se eliminarán las zonas donde se protege de las inclemencias del tiempo.

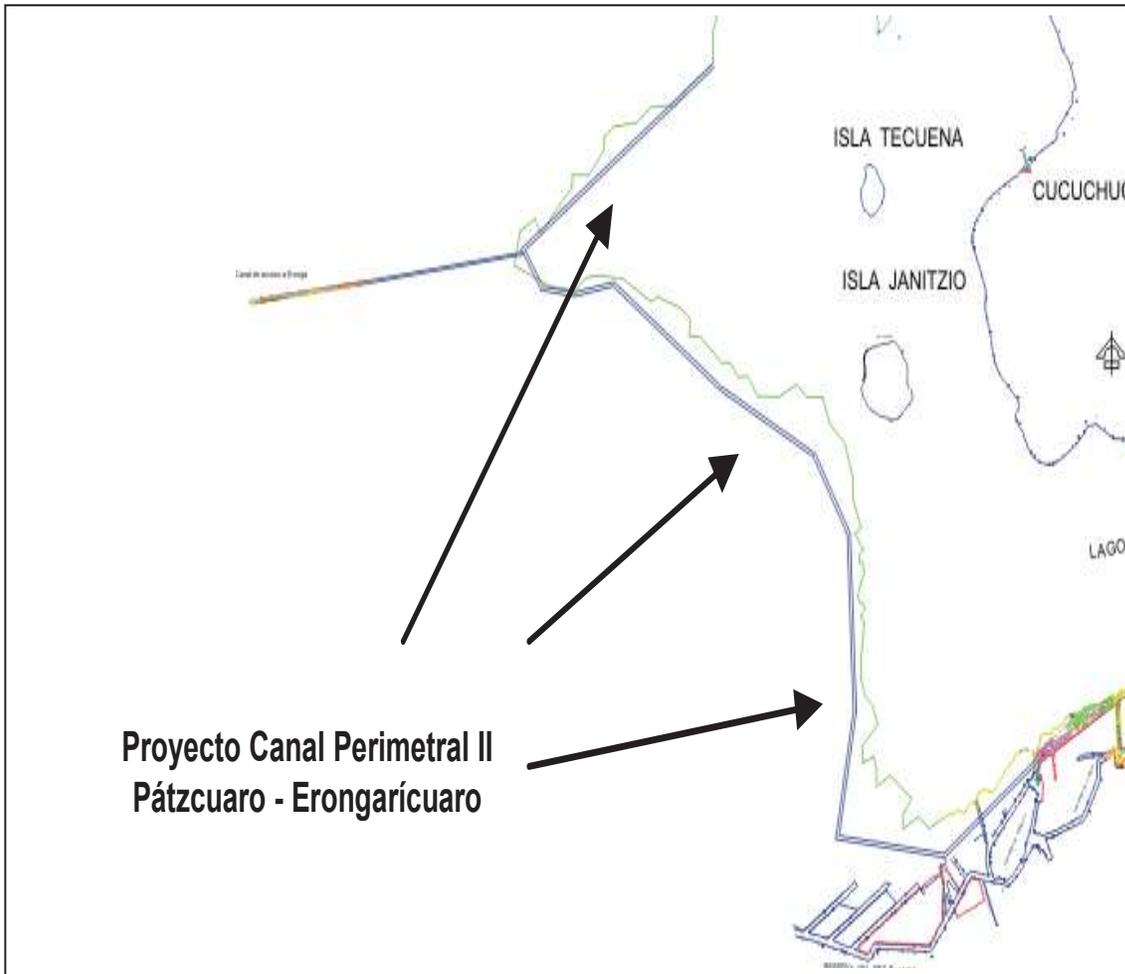


Fig. 1 Canal perimetral II Pátzcuaro – Erongarícuaro en el lado sur- suroeste del Lago de Pátzcuaro, Michoacán (Expediente Técnico,2009),

Con el canal se pretende evitar el desplazamiento de lodos y basura hacia las partes más profundas del lago, arrastre ocasionado por la precipitación pluvial y por gravedad del peso de los sólidos; el canal funcionará como depósito temporal de los arrastres y posteriormente su conservación en buen estado será a base de mantenimiento ligero.

El trazo del canal seguirá siendo según la configuración de la vegetación tomando en cuenta las líneas batimétricas, para recuperar áreas invadidas de vegetación a áreas de espejo de agua; la distancia del canal es de 20.0 a 22.0 km por las modificaciones que se le realicen al trazo, iniciando el canal en el municipio de Pátzcuaro y terminará en la población de Puácuaro del municipio de Erongarícuaro implicando comprometer la operación de la draga en tiempo completo para lograr el objetivo.

EQUIPO 2: DRAGA PÁTZCUARO

Características: Draga estacionaria de succión marca “*Dixie*” modelo 6585, serie DD 33110 con succión y cortador de 8” x 8”, escala para dragar de 6 m, con un radio de 18.0 m, se encuentra equipada con un motor marca “*Caterpillar*” modelo 3306; serie 64215984 y arreglo 766195.

Capacidad mecánica de trabajo:

Volumen de extracción por hora (m ³)	20.50
Volumen de extracción anual (m ³)	25'625.00
Consumo de combustible por hora (L)	20.00
Consumo de combustible anual (L)	25'000.00
Tiempo efectivo por turno cinco horas	5.00
Dragado efectivo promedio (profundidad m)	2.50
Ancho promedio (m)	18.00
Longitud promedio anual (m)	560.00



Figura 2. Draga Pátzcuaro (Fuente: Expediente Técnico, 2009)

Se refiere que el canal de la avenida de las Garzas, cercano al muelle, se encuentra totalmente azolvado e invadido de vegetación acuática, tiene una longitud de 472.00 m, un ancho de 34.50 m y una profundidad promedio de 1.00 m. Se propone rehabilitarlo a una profundidad de 3.00 m.

El propósito de su rehabilitación se fundamenta en que el vivero “Francisco J. Mújica” se abastece de agua para la irrigación de la planta que produce para la reforestación de la cuenca del Lago de Pátzcuaro y otras áreas del estado. Se retirarán además los lodos estancados, que por su estado producen malos olores que afectan a los alumnos de la Escuela Secundaria Técnica No. 24 “La Pesquera” y del internado “Melchor Ocampo”.

EQUIPO 3: DRAGA BONITA

Características: Draga estacionaria de succión y cortador de 10” x 8”, marca “*Mud Master International*”, modelo PO-200 MT, serie D81061; se encuentra equipada con un motor GMG Detroit diesel Allison de 300 H.P., GV 71; modelo 7065-7000; el cual impulsa el sistema hidráulico y bomba dragadora (capitón).

Capacidad mecánica de trabajo:

Volumen de extracción por hora (m ³)	20.00
Volumen de extracción anual (m ³)	25'000.00
Consumo de combustible por hora (L)	20.00
Consumo de combustible anual (L)	25'000.00
Tiempo efectivo por turno (un turno en horas)	5.00
Dragado efectivo promedio (profundidad en m)	2.50
Ancho promedio (m)	18.00
Longitud promedio anual (m)	550.00

Frente de trabajo: CONSTRUCCIÓN DEL CANAL IHUATZIO-SANABRIA.

El canal iniciará en la dársena de la localidad de Ihuatzio y correrá de poniente a oriente en dirección a la población de Sanabria. Tendrá una longitud proyectada de 660.00 m, un ancho de 16.00 m y un dragado efectivo de 2.70 m.

El objetivo de su construcción es beneficiar directamente a los pescadores de la localidad de Ihuatzio, mediante la canalización de las aguas de los manantiales que se localizan en esta zona y así aprovechar la buena calidad de agua para la cría y engorda de pescado blanco y acúmara, rehabilitando a su vez el seno de Sanabria.

EQUIPO 4: VERSIDRAGA 1999 Y VERSIDRAGA 2000

Características: Dragas móviles de succión con cortador de rodillo de 2.75 m, y un diámetro de 0.35 m, colocado sobre una tolva para conducir el material a la succión; la marca de fabricación es “*IMS Olathe*” de Kansas USA, modelo SOR 1999, serie 5012, con motor a diesel marca “*Cummins*”; serie 160-1176B y modelo C8. 3C., de 250 H.P., se mueve con impulsores y cuenta con sistema hidráulico para moverse y trabajar; tiene un dragado efectivo para una profundidad de 6.0 m y un ancho invariable.

Capacidad mecánica de trabajo:

Volumen de extracción por hora (m ³)	20.00
Volumen de extracción promedio anual (m ³)	25'000.00
Consumo de combustible por hora (L)	20.00
Consumo de combustible promedio anual (L)	25'000.00

Frente de trabajo: MANTENIMIENTO DE CANALES

Por el tipo de cortador de tolva, las versidragas son asignadas para trabajar en el mantenimiento ligero de los canales ya construidos, se encuentran asignadas para trabajar principalmente en el canal perimetral en el tramo de Río Guani a la isla de Urandén de Morelos y Carián para desahogar los azolves que recibe de la localidad de Pátzcuaro. Se orienta hacia el mantenimiento debido a que el canal perimetral II, fue construido hace tres años en esta área, siendo necesario su mantenimiento. Se trabajará también en el tramo de Carián a la isla de Urandén de Morelos para desazolvarlo de los sólidos arrastrados.

También se tiene un frente de trabajo en la dársena de la isla de Urandén de Morelos, trabajos solicitados por los habitantes para tener un mejor acceso de la isla al muelle que los conecta con el servicio público terrestre.



Figura 3. Versidraga (Tomada del Expediente Técnico, 2009)

EQUIPO 5: AQUADOZER SJ104 Y AQUADOZER SJ105

Características: Se encuentran equipados con motor marino marca “*John Deere*” G 359 D6068 de 113 H.P., caja de cambio, engranaje de alta potencia Twin Disc M6 506 proporción 2:1 a 200 rpm, tiempo de enfriamiento de quilla, cuenta con una hélice de bronce y magnesio de 20” x 17” (50.8 x 43.18 cm.), cuatro aletas, eje de acero inoxidable, diámetro de 2.0”, tiempo de casco de desplazamiento construido en acero ASTM a 36 BHN grados, su sistema es hidráulico, cuenta con una canasta para cosechado de maleza acuática y una cuchara para la extracción de sólidos con gatos hidráulicos con una capacidad de levantamiento de 907 kg, a una altura máxima de 7.50 m.

Capacidad mecánica de trabajo:

Volumen de extracción por hora (m ³)	10.00
Volumen de extracción promedio anual (m ³)	25'000.00
Consumo de combustible por hora (L)	10.00
Consumo de combustible promedio anual (L)	25'000.00



Figura. 4. Aquadozer (Tomado del Expediente Técnico, 2009)

Frente de trabajo: CONTINUACIÓN DEL CANAL PERIMETRAL II PATZCUARO-ERONGARICUARO.

Los denominados “Aquadazer” funcionan como apoyo principalmente a la draga “*San Pedrito*” para retirar la capa superficial de vegetación y lo que se conoce como abrir el cajón, donde hay una alta densidad de población fija como el “*tule*” y “*carricillo*”. Este trabajo facilita el trabajo de las dragas, evitando el taponamiento en la succión al enredarse la hierba en el cortador; el material producto de este dragado compuesto por lodo, raíces y tallos es utilizado para reforzar los bordos de los vasos filtrantes donde se depositan los sólidos extraídos.

Uno de estos dos equipos trabajará en dos obras proyectadas, la primera en la construcción de un muelle en la localidad de Ucasanástacua del municipio de Tzintzuntzan y en una segunda etapa la anfidraga, la segunda obra es la rehabilitación del muelle de la propiedad privada del Sr. Raúl Estrada Zepeda de la localidad de Ichupio del municipio de Tzintzuntzan, mencionando que estas obras tendrán un costo para los beneficiados, recurso que será utilizado para solventar necesidades de la propia residencia

ACTIVIDAD: CONSTRUCCIÓN DE BORDOS Y VASOS FILTRANTES PARA ZONAS DE TIRO -TARQUINAS- (metros lineales).

EQUIPO 6: ANFIDRAGA

Características: Marca “*Konijn*”, modelo H 400 4 de cuatro patas, motor marca “*Deutz*” de cuatro cilindros F 4L 912 y 77 H.P., peso total de la máquina de 17 toneladas, calado requerido para la navegación de 1.05 m., capacidad del cucharón 0.400 m³, cuenta con sistema de hidráulico para los movimientos de los brazos de las ruedas y trabajos del cucharón.

Capacidad mecánica de trabajo:

Construcción de Bordo por hora (m)	6.00
Construcción de Bordo promedio anual (m)	7'500.00
Consumo de combustible por hora (L)	8.50
Consumo de combustible promedio anual (L)	10'625.00

Frente de trabajo: CONTINUACIÓN DEL CANAL PERIMETRAL II PÁTZCUARO-ERONGARÍCUARO.

Construcción de bordo para retener el material producto del dragado en la construcción del canal perimetral dos (P11) en el tramo de la reserva de pez blanco a Jarácuaro que será construido por la draga "San Pedrito".

Frente de trabajo: CONSTRUCCIÓN DEL CANAL IHUATZIO SANABRIA

Construirá el bordo para depositar el material dragado en la apertura del canal.

Frente de trabajo: REHABILITACIÓN DEL CANAL LA PESQUERA

Se rehabilitará el bordo para depositar el material extraído del canal.

Frente de trabajo: MANTENIMIENTO DE CANALES

Rehabilitación para reforzar el bordo para los trabajos de mantenimiento que realizará la versidraga 99.

Rehabilitación para reforzar el bordo para los trabajos de mantenimiento que realizará la versidraga 00.

Frente de trabajo: CONSTRUCCIÓN DE MUELLE

Se tiene proyectado construir un muelle en la localidad de Ucasanástacua del municipio de Tzintzuntzan, donde la anfidraga realizará la primera etapa, esta obra con costo a los beneficiarios.

Además, se cuenta con dos máquinas cosechadoras (I y II) para la extracción de lirio y un despalotizador para el corte y trituración de vegetación acuática a 1.20 m de profundidad.

Previo a la ejecución de cualquier trabajo se procede a su planeación, programación y seguimiento reconocimiento del área. En primer lugar se reconoce el área para la extracción de sólidos y de maleza acuática. Se realiza el levantamiento topohidrográfico del área o áreas donde se ejecutarán los trabajos y se realizan los sondeos correspondientes para conocer la configuración del fondo del lago, la cuantificación de los volúmenes a extraer así como las áreas de limpieza, dejando éstas señaladas por medio de balizamiento o enfilaciones, acciones que permitirán diseñar el sistema de trabajo más apropiado.

Las brigadas de topografía colocan una serie de señalamientos de fácil identificación, tanto en alineación horizontal como vertical lo que conformará la poligonal de apoyo terrestre, para conocer lo accidentado del terreno, identificar las zonas rocosas y clasificar los materiales existentes en el lago, las profundidades en sus máximos y mínimos y la cantidad neta de sólidos a extraer.

Para las actividades de construcción de bordos y extracción y depósito de sedimentos se construye una zona de tiro o depósito del material producto del dragado o desmalezado, se hacen bordos que forman un vaso o área cerrada y que posteriormente queda como islote dentro del lago.

En tanto la extracción de sólidos se realiza en los canales de navegación existentes o para la apertura de éstos. El material extraído es depositado en los vasos de descarga o zonas de tiro, construidos antes del inicio del “dragado”.

Con estos trabajos se facilita la navegación de los muelles de Pátzcuaro, a las islas de Janitzio, Yunuén, Pacanda y Tecuena, en beneficio de la población de las mismas y de las lanchas al servicio del turismo. Se da mantenimiento al canal perimetral, evitando su azolvamiento, degradación de sus bordos e invasión de maleza.

V. AREA DE ESTUDIO

5.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La cuenca del Lago de Pátzcuaro se ubica en la parte central del estado de Michoacán, en la porción sureste del altiplano mexicano, al noroeste de la ciudad de México. Se sitúa entre los paralelos 19°32'N y 19°42'N y entre los meridianos 101°32' W y 101° 43' W (Chacón, 1993). En las coordenadas UTM: 245000E, 2185000N máxima y 197000E, 2140000N mínima (Medina, Chacón, & Rendón, 2006). Parte de la zona de estudio está cercana al humedal sur para el cual se reportan las coordenadas geográficas (latitud/longitud) Mín 101°42'16"78"N, 19°32'16"59" W y Máx. 101°38'24.18"W, 19°35'23.48 N (Ayala, 2007) a una altura de 2035 msnm.

Es un lago somero con una longitud de 20 kilómetros y amplitud de 10 kilómetros como máximas presentando una forma de "C". Su eje mayor se encuentra alineado en dirección sureste-noreste. En la cuenca desde hace varios siglos se asentó la cultura P'hurépecha. El lago de Pátzcuaro es uno de los relictos de los 25 lagos que existieron en la región central de México. Pertenece al sistema hidrológico Lerma-Chapala-Santiago junto con los lagos de Cuitzeo y Zirahuén (Chacón 1993, Bischoff, Israde-Alcántara, & Garduño-Monroy, 2004). Existen nueve municipios en la cuenca, de los cuales, Pátzcuaro, Quiroga, Tzintzuntzan y Erongarícuaro son las poblaciones mayores que se encuentran asentados en la ribera del lago.

Es una cuenca endorreica con una extensión de 93,430.53 ha. Rodeada de sierras y pendientes pronunciadas. Del total de su superficie, aproximadamente el 10.0 % corresponde al espejo del Lago (9,757 ha). Pertenece al Eje Neovolcánico Transmexicano. En las porciones más elevadas se registran hasta 2,900 y 3,000 msnm mientras que la porción lacustre se ubica a los 2035 msnm (Gómez-Tagle, Chávez, Gómez-Tagle, & Zepeda, 2009)



Figura 5. Ubicación geográfica y acceso carretero al Lago de Patzcuaro (fuente: Google Imágenes, 2010)



Figura 6. Vista aérea de la zona de estudio (Fuente: Google Imágenes, 2010)

Es una zona sumamente impactada por la alta densidad de población humana y por actividades productivas que ahí se desarrollan. A través de los siglos ha sufrido una fuerte deforestación con la consecuente erosión y azolve de la zona litoral debido a los tipos de suelo erosionables que predominan (Gómez-Tagle, Chávez, Gómez-Tagle, & Zepeda, 2009).

Las causas que han contribuido al desequilibrio del ecosistema han sido la deforestación, erosión, azolve, desbalance hidrológico, introducción de algunas especies exóticas de peces, además del vertimiento de aguas residuales y la sobreexplotación de mantos acuíferos.

Algunas de las necesidades más urgentes para la zona de estudio incluye programas de reforestación particularmente del bosque mesófilo de montaña que actualmente se encuentra en riesgo de desaparecer, las especies acuáticas endémicas hoy amenazadas requieren de programas de acuicultura de conservación y restauración para la repoblación. Otras necesidades son el tratamiento de aguas residuales y reciclamiento del agua, el saneamiento ambiental que implica también el manejo adecuado de los contaminantes, así como la instalación de letrinas, reducción en el uso de la leña como combustible y fomentar el uso de estufas o alternativas más eficientes (INE.GOB, 2009).

Se estima que la mitad del territorio perteneciente a la región del lago de Pátzcuaro presenta un franco proceso de degradación (CONABIO, 2008).

5.2. GEOLOGÍA

El lago se ubica en una región montañosa en la porción que se extiende del Eje Neovolcánico Transversal (Cinturón Volcánico Transmexicano) de elevada actividad sísmica e inestabilidad. Con una densidad de 11 volcanes por cada 100 km², se estima que existen cerca de 1000 aparatos volcánicos en terreno michoacano, que datan desde el Terciario Medio hasta el Cuaternario Tardío. El último de ellos que hizo erupción fue el Parícutín de 1943 a 1952, situado a 60 km al sur del Lago de Pátzcuaro (Hasenka y Carmichael, *En*: Chacón, 1993).

Se considera que el origen del Lago de Pátzcuaro es geológicamente reciente. El río Lerma corría desde la región Central de México hasta el Océano Pacífico por el oeste, durante el Terciario e inicios del Pleistoceno. El levantamiento y actividad sísmica ocurridos durante la última fase del Pleistoceno, resultó en una serie de lagos ubicados en el drenaje del antiguo Río Lerma (Demant, 1978; De Buen, 1948; Maldonado-Koerdell, 1964; Alvarez, 1972; Barbour, 1973; citados en Chacón, 1993). El Lago de Pátzcuaro, permanece como una cuenca cerrada. Su principal tributario es el canal de Chapultepec pero presenta importantes variaciones de nivel, sufriendo una pérdida continua del relieve de profundidad.

La naturaleza geológica del este lago, así como en la mayor parte de su cuenca de drenaje, consiste de rocas volcánicas de la Era Cenozoica y sedimentos lacustres de origen fluvial. Los suelos predominantes son andosoles y luvisoles asociados también a la actividad volcánica, de color oscuro con alto contenido de fósforo y muy susceptibles a erosión (Toledo y Barrera-1978, *En*: Chacón, 1993).

5.3 SUELOS

Los suelos de la cuenca de captación son principalmente andosoles, luvisoles, acrisoles, gleysoles y vertisoles que se refieren como suelos de origen volcánico susceptibles de erosión por factores eólicos e hídricos. Los factores como pendientes de hasta 37.0%, lluvias intensas de verano de hasta 75.0 mm/24 horas y la disminución de la infiltración por la escasa cobertura vegetal contribuyen con el azolvamiento de la cuenca (Chacón, 1993).

Según se refiere, los suelos que componen la cuenca se originaron por cenizas volcánicas o rocas ígneas extrusivas y fueron modificados por la acción de los factores climáticos y la vegetación. En la actualidad presenta un amplio mosaico de tipos entre los que se encuentran los andosoles, luvisoles, acrisoles, litosoles,

gleysoles y rankers. En su mayoría son suelos jóvenes en proceso de formación y con alta susceptibilidad a la erosión. Los suelos de la cuenca son principalmente luvisoles y andosoles. Estos últimos son generados a partir de las cenizas volcánicas, contienen altas concentraciones de fósforo y son muy susceptibles a la erosión. Los luvisoles son suelos rojizos, ricos en arcilla, de carácter ácido, igualmente erosionables (Ayala, 2007).

De acuerdo con la Carta Edafológica Cherán E14A21 de la Coordinación General de los Servicios Nacionales de Estadística, Geografía e Informática y la Guía para la interpretación de Cartografía Edafológica del INEGI (INEGI, 2010), los suelos que se localizan en la ribera del lago son:

Acrisol ortico que se caracteriza por ser un suelo ácido, pobre en materia orgánica, de zonas tropicales o templadas, en suelos de selva o de bosque. Caracterizados por la presencia de arcillas en el subsuelo que se aprecian con colores amarillo o rojo, o amarillos con manchas rojas. Se consideran moderadamente susceptibles de erosión y su símbolo en la carta es A.

Con referencia a la zona de estudio, en la carta se encuentran señalados para la isla de Jarácuaro, en donde se combinan con Planosol eútrico que son suelos típicamente de relieves planos, generalmente desarrollados. Son medianamente profundos, de 50 a 100 cm que en alguna parte del año se inundan en su superficie. Característicamente, debajo de la capa más superficial, presentan una capa infértil de escaso grosor, menos arcillosa que la capa subyacente y que la capa superficial. Por debajo se puede localizar un subsuelo muy arcilloso o bien de tepetate o roca madre, todos muy impermeables. Suelos muy susceptibles de erosión sobretodo las capas superficiales. El símbolo que los representa es W. El tipo étrico se refiere a suelos ácidos o alcalinos, más fértiles que otros tipos como el dítrico.

También se refieren tipos de acrisoles para la región cercana a San Pedro Pareo y en las inmediaciones de Arócutin. Igualmente, cercano a ésta última localidad y en dirección al suroeste, cercano a Tócuaro, se encuentran Litosoles que se describen como suelos pedregosos de menos de 10 cm de profundidad limitados por la presencia de caliche endurecido, tepetate o roca. Muy abundantes en el país. Su grado de erodabilidad y su fertilidad dependen de varios factores adicionales. Su símbolo es L no presentando subunidades.

Uno de los tipos de suelo más abundantes son el Cambisol dístrico que concurre en las mismas zonas con el Andosol húmico. Cercano a Erongarícuaro en la porción central oeste del lago y hacia el noroeste del mismo. Hacia el sur se señala en la región cercana a San Francisco Uricho en dirección hacia el suroeste.

Los Cambisoles se describen por su nombre que literalmente significa “suelos que cambian”. Son suelos poco desarrollados con una capa de subsuelo de terrones que presentan vestigios de la roca de la que se formaron; que además puede contener ciertas cantidades acumuladas de arcilla, carbonato de calcio, hierro o manganeso. También algunos tipos consisten en una capa delgada de Cambisol sobre un tepetate. Son muy abundantes en el país, presentando una susceptibilidad a la erosión de moderada a alta (Carta Edafológica Cherán E14A21, op cit.).

Los Andosoles se definen literalmente como tierra negra. Son suelos de origen volcánico constituidos principalmente por ceniza con altos contenidos de alófono que le confiere ligereza y untuosidad. Muy abundantes en la cuenca, referidos para la Región Neovolcánica Tarasca. Generalmente de colores oscuros, con alta capacidad de retención de humedad. Naturalmente presentan vegetación de bosque o selva. Generalmente con bajos rendimientos agrícolas debido a que retienen el fósforo, que de esta manera no puede ser absorbido por las plantas. Son suelos muy susceptibles a la erosión eólica siendo el uso forestal el más favorable para su conservación y su símbolo es la T.

Uno de los suelos encontrados en la región suroeste, próxima al Andosol, en la ribera más próximos al lago e incluso en contacto con el agua, es el Feozem en concurrencia con el Planosol, en la vecindad con Nocutzepo, cercano a Arócutin en dirección a San Francisco Uricho. Los suelos Feozem, se describen como el cuarto tipo de suelos más abundantes del país. Literalmente su nombre significa “tierra parda”. Se caracterizan por tener en la superficie una capa delgada de suelo, generalmente oscura, suave, rica en materia orgánica y en nutrientes. Son de profundidad variable. Los que se forman en terrenos planos generalmente son más profundos, usados para la producción de hortalizas con rendimientos altos. Los Feozem localizados en laderas, presentan rocas y son menos fértiles y se erosionan con más facilidad. Su símbolo en la carta edafológica es la H

Los suelos referidos para los humedales de la porción sur y suroeste del lago, además de otras áreas hacia la región noroeste, son los Gleysoles principalmente el tipo Gleysol mólico. Literalmente Gleysol significa suelo pantanoso. Se encuentra en lugares en donde se inunda y estanca el agua. Se caracterizan por presentar colores grises, azulosos o verdosos en la región en donde se saturan con agua. Cuando se secan o se exponen al aire, pueden mancharse de rojo. Son variables en textura predominando los arcillosos por lo cual se inundan fácilmente. Regularmente acumulan salitre y su símbolo en la carta edafológica es la G. Para la zona en estudio se refiere la combinación Gm que es el Gleysol mólico. Esta segunda subunidad de la clave de suelo (m), se refiere a suelos con una capa superficial suave, oscura, fértil, rica en materia orgánica (INEGI, 2010).

5.4. CLIMA

Considerando 37 años de estudio, el tipo de clima para Pátzcuaro se define como C (w₂) (w) b (e) g que corresponde a templado subhúmedo con lluvias en verano. Se marca una disminución en el valor promedio de precipitación de 1041.2 a 996.0 mm. Se considera que es el tipo más húmedo de los subhúmedos con porcentaje de lluvia invernal menor al 5% (Ayala, 2007). Con una temperatura media anual de 14 a 20⁰C. Precipitación total anual de 700-1400 mm; evapotranspiración 800 mm (CONABIO, 2008).

5.5. HIDROLOGÍA

El Lago de Pátzcuaro pertenece a la Región "Lerma-Chapala-Santiago" que es una de las seis regiones hidrológicas de Michoacán. Esta región cubre una superficie de 14,818.25 km² (SEPLADE, 2006). En el análisis con sistemas de información geográfica, se concluyó que el manto acuífero correspondiente a la región Lagunillas-Pátzcuaro se considera sub explotado debido a que la extracción de agua es menor que la recarga, es decir, son mantos acuíferos en los que hay una reserva de agua.

El lago de Pátzcuaro es alimentado por numerosas corrientes subterráneas y superficiales, de las que destacan los ríos San Gregorio y Chapultepec (Antaramián 1987 citado en (Museo de Historia Natural, 2008). El agua que llega al lago proviene de la precipitación pluvial, las escorrentías superficiales que se generan y los manantiales que afloran en su interior; las pérdidas de agua son debidas a la evaporación, transpiración de las plantas y a las extracciones. Se reporta una precipitación pluvial de entre 700 y 1400 mm anuales y una evaporación de 800 mm.

En el Plan de Manejo de lago de Pátzcuaro (INE, 2009), se presentan gráficas sobre la precipitación y la evapotranspiración, resultados de una análisis de datos de 1940 a 1990. De manera general se observa una relación de mayor evapotranspiración (alrededor de 1000 mm³) y una menor precipitación pluvial desde 1940, con una diferencia mayor en los años 1940, 1970 y 1980 Evapotranspiración de más de 1600 mm³ con una precipitación de escasamente 800 mm³. Eventualmente se registran periodos de recuperación como la precipitación ocurrida hacia 1960 que notablemente superó la evapotranspiración. Otros periodos de recuperación fueron en los años de 1958 a 1960, en 1970 y de 1976 a 1978, en 1982 y en 1986, en los que la evapotranspiración casi es la misma que la precipitación pluvial, se refleja una ciclicidad.

Con referencia a los datos del balance hidrológico, se observa en la información presentada, que el mayor desbalance fue en el periodo de los años de 1970 a 1980 en donde se presenta un pico máximo de evapotranspiración. Considerando el balance hidrológico general de 1932 a 2000, se refiere un déficit de 26 mm³ anuales en promedio (INE.GOB, 2009). Otros datos referidos acerca del balance hidrológico calculado con base en los resultados de los registros de seis estaciones climatológicas clásicas y siete evaporímetros ETgage. Considerando que la evaporación anual de la cuenca se integró por la evapotranspiración de la vegetación, las pérdidas por interceptación, la evaporación del cuerpo de agua y la evapotranspiración de la vegetación hidrofítica. Se aplicó el método de BREB obteniéndose que, a nivel de subcuencas, en la de Ajuno se midiera un déficit de 12 mm y más del 65% en la propia cuenca del lago. En el resto de las subcuencas el balance del residuo fue positivo, para la generación de escurrimientos superficiales e infiltración y/o percolación profunda en 18 mm. Los resultados encontrados muestran la importancia de la vegetación en el lago y la distribución de la evaporación de la cuenca (González-Sosa, Mastachi-Loza, Rivera-Vázquez, Lafragua, & Guevara-Escobar, 2010).

5.6. FLORA

Los bosques predominantes se componen por especies de pinos, encinos y oyameles en donde también se presentan matorrales y arbustos. Existen zonas de pastizales y semiáridas debido al cambio de uso del suelo, situación que ha inducido lo procesos de erosión.

El 50.0% de la superficie de la cuenca se encuentra cubierta por vegetación con áreas de cultivo y pastizales. Entre las especies que integran los bosques de coníferas se encuentran el oyamel (*Abies religiosa*), con algunas asociaciones de

pino (*Pinus pseudostrobus*) y aile (*Alnus arguta*), además se encuentra pasto alpino (*Festuca spp* y *Muhlenbergia spp*).

El bosque de pino se encuentra compuesto de *Pinus leiophylla*, *P. michoacana*, *P. pseudostrobus* y *P. montezumae*, bosque de encino de *Quercus rugosa*, *Q. castanea*, *Q. laurina* y los bosques de pino-encino de *P. leiophylla* y *Q. mexicana*, el jaboncillo (*Clethra mexicana*) y el limoncillo (*Ternstroemia pringlei*), estos últimos casi erradicados de la región.

Los bosques de coníferas, entre los cuales se encuentran áreas deforestadas y erosionadas presentan una vegetación de *Bursera cunneata*, diferentes especies de maguey (*Agave spp*) y el palo santo (*Senecio preacox*) y (*Clusia salvinii*), mencionando algunas de las especies.

Entre las especies de plantas acuáticas se encuentran 49 especies, incluidas 23 familias (Lot y Novelo, 1988 En: Ficha informativa de humedales RAMSAR). Las plantas emergentes se encuentran representantes de tules (*Scirpus americanus*, *Typha latifolia*, *Sagittaria graminea*, *Cyperus niger*), además de vegetación sumergida de hojas flotantes como *Nymphaea mexicana*, *Potamogeton illinoensis*, y *Potamogetum latifolius*, *Najas guadalupensis*, *Ceratophyllum demersum*, *Utricularia giba* y *U. vulgaris*. La vegetación de plantas sumergidas está representada por *Najas guadalupensis*, *Ceratophyllum demersum*, *Utricularia giba* y *U. vulgaris*).

5.7. FAUNA

La importancia biológica del lago de Pátzcuaro se fundamenta tanto en la presencia de cuatro especies de peces endémicas del sistema hidrológico Lerma-Chapala y una endémica de Pátzcuaro, *Chirostoma pátzcuaro*, un anfibio endémico y en peligro de extinción, *Ambystoma dumerilii*, incluido en la Norma

Oficial Mexicana (NOM-0592001), en la que se incluye también al gavilán de Cooper (*Accipiter cooperi*) como especie bajo protección especial.

Las variedades endémicas incluyen al copépodo planctónico (crustáceo) *Diaptomus albuquerquensis v. patzcuarensis*; los moluscos *Physa osculans v. patzcuarensis* y *Valvata humeralis v. patzcuarensis*; 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, & Ruiz, 2007, en Ayala, 2007)

Las aves están representadas por diversas especies endémicas, nativas y migrantes. La especie llamada “mascarita transvolcánica” *Geothlypis speciosa* es considerada como amenazada entre las especies que necesitan más protección. Entre las aves existen una gran cantidad de especies, los chupamirtos o colibríes (*Eugene fulgens*, *Hylocharis leucotis*, *Campylopterus helmincucurus*), cuervos, pájaros bandera, tordos, tecolote (*Bubo virginianus*) y zanates, entre las acuáticas se incluyen especies de patos, jacanas, garzas y otras

Se estima que existen más de 34 especies de mamíferos. La fauna es de afinidad neártica, se reportan como especies importantes al venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*), puma americano (*Felis concolor azteca*), coyotes (*Canis latrans*), ardillas, tuzas, tejones, mapache (*Procyon lotor*), tlacuaches (*Didelphis virginiana*) y zorrillos manchado (*Spilogale potorius*), y listado (*Mephitis macrura*). La herpetofauna está presente con varios géneros (Mexicantextiles, 2008). Particularmente se reporta una especie de rana endémica del lago (*Rana dunnii*), que junto con el achoque (*A. dumerilli*) son especies comestibles para la población ribereña. Otras especies reportadas son el sapo (*Bufo occidentalis*) y las ranas (*R. montezumae* y la *R. megapoda*, Pulido-Flores, 1994).

5.8. LA POBLACIÓN DE LA CUENCA

5.8.1. HISTORIA

En recuentos históricos de la ciudad de Pátzcuaro se refiere que la colonización debió de ocurrir en el año 1324 siendo sus fundadores algunos caciques Chichimecas. Hacia el año de 1538, ya establecidos los españoles, Don Vasco de Quiroga, fue el primer arzobispo que trasladó la sede Episcopal de Tzintzuntzan a Pátzcuaro. Hacia 1940, la labor de Don Vasco permitió que se incrementara la población de Pátzcuaro, por ello se le considera el fundador de ésta ciudad. En 1553 se obtuvo el título de Ciudad y su escudo de armas.

Hacia 1540 fue el mismo Vasco de Quiroga quien fundó el Colegio de San Nicolás de Obispo y el Hospital de Santa Martha, siendo el encargado de la construcción de varios edificios importantes y la construcción de las calles. Defendía a los indígenas y les enseñó varias técnicas artesanales (Municipal, 2005).

Durante el periodo colonial, la sociedad P'urhé sufrió grandes cambios, como por ejemplo, se interrumpió la interacción entre las tierras altas y las bajas; se introdujo una nueva tecnología agrícola y nuevas especies vegetales y animales; el terraceo y otras prácticas agrícolas que se sustituyeron por nuevas tecnologías de los españoles.

En la moderna sociedad P'urhé prevalecen las estructuras y formas de organización de la época prehispánica que han sido refuncionalizadas continuamente. Entre estas estructuras se encuentra la Guatápera prehispánica, foco de organización de las mayordomías, además del hospital colonial, los barrios, las cofradías y una gran cantidad de funcionarios y cargos (Mexicantextiles, 2008).

Las principales actividades económicas son el turismo, pesca, comercio, explotación de los bosques, agricultura y artesanía. Hasta hace algunos años la

riqueza biológica de la región representaba la base económica. Sin embargo, la sobre explotación de recursos ha puesto en peligro su estabilidad.

5.8.2. IDENTIDAD Y CULTURA P'URHÉPECHA

La cuenca del Lago de Pátzcuaro es el asentamiento de los indígenas de la cultura P'urhépecha. De acuerdo con datos aportados por estudios poblacionales, en la cuenca se ubican más de 80 comunidades, con una población total que asciende a casi 140,000 habitantes. La gran mayoría de la población es urbana, la población rural alcanza el 27.0%.

La mayoría de los habitantes de la cuenca del Lago de Pátzcuaro, originarios de la región, tienen valores culturales profundamente arraigados. La difícil economía local ha ocasionado que durante los últimos años se registre una intensa migración poblacional principalmente al vecino país del norte trayendo como consecuencia un rompimiento del sentimiento de comunidad.

La misma organización ha ido modificándose por el empoderamiento de la mujer, quien además es la que conserva las tradiciones al ser la que permanece en el lugar y atiende la educación de la familia ya que el mayor número de migrantes son hombres. El lago en cambio, es el símbolo de la identidad P'urhépecha, une y da sentido de pertenencia a las comunidades de la región. Por ello se considera que las mujeres son actores clave para el desarrollo de cualquier programa de rescate de la cuenca (Millán, 2005).

Se ha señalado que el sentido de pertenencia a la cuenca ya no existe como tal, siendo desconocido por la mayoría de la población actual. La idea misma de cuenca no forma parte de la identidad regional. Se propone como tesis que es el lago el que representa el símbolo de la identidad P'urhépecha que une y genera un sentido de pertenencia a las comunidades de la región. Quizá por ello, las

comunidades ribereñas y P'hurépechas, son las más sensibles al deterioro ambiental.

Las comunidades de la parte media y alta presentan diferencias, principalmente las de población mestiza, sienten que no les afecta directamente y encuentran difícil establecer un nexo entre su quehacer cotidiano y el deterioro ambiental que existe en la zona. En tanto que para las que se ubican en la parte alta con población indígena, están claros los vínculos existentes entre las diferentes zonas que integran la cuenca, observando la problemática ambiental de una manera integral (Millán, 2005).

El pueblo indígena habita en las regiones lacustre y montañosa del centro de Michoacán. Se llama a sí mismo P'hurépecha, cada uno de sus integrantes es un P'urhé o P'uré que significa gente o persona; esto implica una autoafirmación como seres humanos y pueblo en general. El nombre de tarascos les fue impuesto de manera externa durante la Colonia.

El área que ocupan actualmente se extiende a lo largo de 6,000 km² de los 60,000 que tiene el estado de Michoacán, en la región norcentral. Esta área se ubica entre los 1,600 y 2,600 msnm y se le denomina P'orhépecho o Purhépecherhu, que significa "lugar donde viven los P'urhé".

El área se ha subdividido tradicionalmente en cuatro regiones: Japóndarhu (lugar del lago), Eráxamani (Cañada de los once pueblos), Juátarisi (Meseta), la ciénega de Zacapu y antiguamente se agregaba otra región: Jurhío (lugar de la tierra caliente (Mexicantextiles, 2008).

La población P'urhépecha se encuentra ubicada principalmente en 22 municipios: Coeneo, Charapan, Cherán, Chilchota, Erongarícuaro, Los Reyes, Nahuatzen, Nuevo Parangaricutiro, Paracho, Pátzcuaro, Peribán, Quiroga, Tancítaro, Tangamandapio, Tangancícuaro, Tingambato, Tinguindín, Tocumbo, Tzintzuntzan, Uruapan, Zacapu y Ziracuaretiro; sin embargo, los hablantes de la lengua P'urhé

se distribuyen en grupos compactos en 95 de los 113 municipios michoacanos (Mexicantextiles, 2008).

Como antecedentes históricos se señala que el actual grupo P'hurépecha deriva de una mezcla de grupos chichimecas, nahuas y pretarascos que habitaron las riberas e islas del Lago de Pátzcuaro a finales del siglo XII. Los P'hurhépecha-uanacaze establecieron su señorío en Tzintzuntzan, Ihuatzio y Pátzcuaro, hacia más extensiones. Al oriente se aliaron a los matlantzincas para luchar contra los mexicas. Se dieron grandes batallas entre ambos grupos desde mediados del siglo XV, a pesar de lo cual el área P'urhé nunca fue sometida al dominio mexica. Nuño de Guzmán inició la conquista de Michoacán en el año de 1521, cuando gobernaba Tangaxoán II, sin que los P'urhé opusieran resistencia.

En cuanto a su cultura material este pueblo destacó por el empleo de instrumentos agrícolas de cobre, hecho excepcional en el área mesoamericana. Existía una estratificación social en cuya pirámide estaba el rey, Calzonci o Irécha, al que le seguían los señores, principales o Acháecha y finalmente los sacerdotes. En la base de la pirámide se hallaban comunidades de campesinos y pescadores, artesanos y mercaderes.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. SITIOS DE MUESTREO

Se seleccionaron cuatro sitios de muestreo con actividad de dragado en diferentes tiempos de operación (Figura 7). La selección de los sitios, se realizó con criterios de observación en visita de campo y muestreo preliminar, además de considerar la información proporcionada por el personal que opera el programa dragado en el lago. Se consideró pertinente realizar un análisis comparativo que permitiera evaluar el impacto del dragado con relación a la capacidad de trabajo de las máquinas y a las condiciones físico-químicas locales generadas a partir del proceso. El manejo de los datos obtenidos, en un análisis estadístico comparativo entre las estaciones de muestreo, reflejó la dinámica ambiental que se asocia al proceso de dragado.

Sitio 1 Zona Limnética (no perturbada): Considerado como sitio de referencia, ubicado entre las islas de Tecuén y Yunuén, cercano al islote de rocas denominado “La Tecuenita”. Este lugar nunca ha sido sometido al proceso de dragado por lo que las condiciones del ambiente limnético son ampliamente representadas. En este sitio se identifica la mejor calidad de agua del lago, además de que se ubicó cercano a un manantial interno que aflora por el pequeño islote rocoso mencionado. La ubicación en Unidades Transversa de Mercator (UTM) es 022221101 E y 2168197 N.

Sitio 2 Perturbación ligera permanente: Ubicado en una zona que ha manifestado un fuerte proceso de azolve. El programa de dragado se llevó a efecto para habilitar un canal en la zona de reserva del pescado blanco, además de un canal perimetral para comunicar las islas de Carián, Urandén de Morelos y Urandén de Morales. La última actividad de dragado con relación a la fecha de los muestreos fue en el año de 2008. Es un sitio frecuentemente perturbado por las máquinas desmalezadoras que realizan mantenimientos locales periódicos ya que el canal es poco profundo (1.0 m) y la vegetación flotante, así como la enraizada y emergente son abundantes dificultando la navegación Su ubicación en coordenadas UTM es 03301595 E y 2274206 N. El sitio de colecta se ubicó cercano a uno de los tres manantiales que fluyen al lago.

MÉTODO

Sitio 3 Perturbación reciente: El sitio se encuentra en un área en donde se realizó un trabajo de dragado reciente (30 días con respecto a la primera colecta) para la habilitación de un canal de navegación en el segmento ubicado entre la Punta Santiago Sipigio y la población de Ihuatzio. Se trata de un pequeño canal de navegación que fue habilitado para favorecer el acceso a un centro turístico. Su ubicación geográfica en unidades UTM es 2235552167 E y 2167961 N. La vegetación enraizada y flotante se eliminó y la profundidad se restauró desde 0.5 hasta 1.7 m que fue la profundidad máxima registrada en el presente estudio. Cuando se inició el muestreo, este sitio fue considerado como el ambiente de dragado reciente. Se identificó como el ambiente más perturbado de los cuatro sitios de muestreo.

Sitio 4 En reposo, perturbación en tiempo remoto. El sitio se encuentra ubicado en una zona en donde las acciones de dragado se realizaron hace 8 años (2002), el área presenta una amplia zona de humedal cercano a la población de Erongarícuaro. Esta área de muestreo fue sometida a actividades de dragado con intensa actividad de extracción de sedimentos durante varios años, debido al fuerte acarreo de sólidos comparado con otros espacios en la ribera. Su ubicación geográfica en unidades UTM es 219667 E y 2167686 N.

MÉTODO

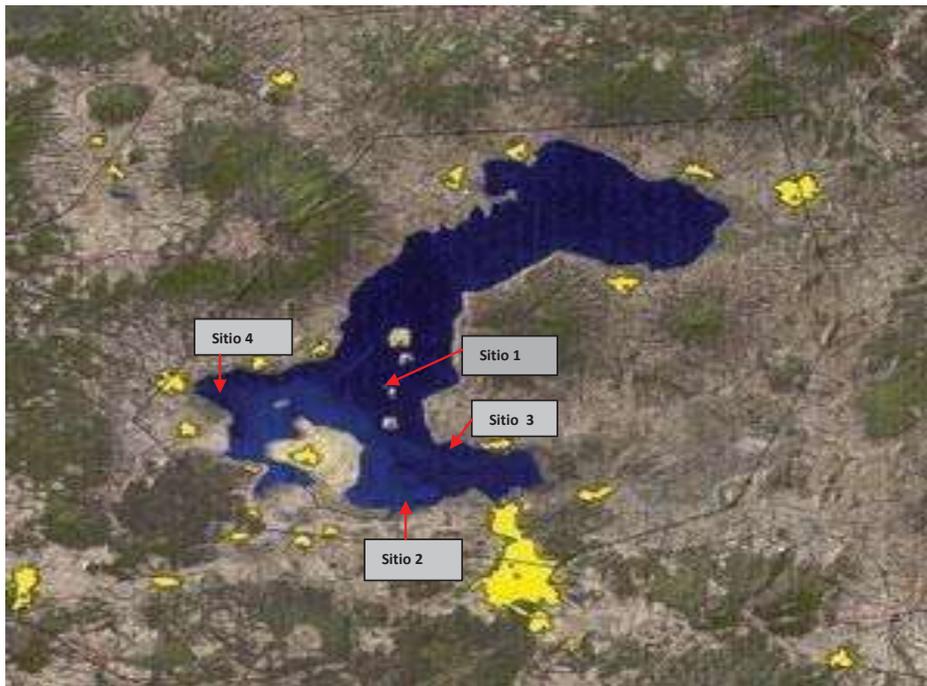


Figura 7. Ubicación de los sitios de muestreo.

6.1.1 MUESTREO Y PARÁMETROS MEDIDOS EN CAMPO

El muestreo se llevó a efecto considerando los posibles cambios en el análisis de parámetros de acuerdo con las condiciones de pluviosidad. El muestreo inició durante la temporada de lluvia en los meses de julio, agosto y septiembre de 2009. Posteriormente durante los meses de noviembre, diciembre y enero, se realizaron muestreos sin la presencia de lluvia para identificar el comportamiento después del arrastre. Un último muestreo se realizó en el mes de mayo de 2010 para comparar los valores derivados de la temporada de estiaje. Los primeros cinco muestreos se realizaron con una frecuencia mensual, iniciando a un mes de la conclusión de la operación de dragado en el sitio 3. En los meses de febrero a marzo de 2010 no se hicieron colectas debido a las lluvias torrenciales que de manera inusual, se presentaron en estos meses de manera constante. En el mes de abril aún se observaban importantes escorrentías por lo que el muestreo de estiaje se hizo en el mes de mayo. Al igual se considero representativo de la época seca, el primer muestreo de julio de 2009 debido al atraso que hubo en las lluvias de ese año mismas que iniciaron en los primeros días de julio.

La toma de muestras tanto de agua como de sedimento se realizó en cada sitio, estimando una distancia con respecto a la orilla menor a los 100.0 m excepto en el canal de la reserva que es el sitio con perturbación constante ligera. Se ubicó cercano a uno de los manantiales de los que la población se abastece y cuyo flujo vierte directamente al lago.

Se establecieron criterios de muestreo y medición de parámetros que permiten la comparación entre los sitios. En el caso del muestreo en agua, se estableció un perfil de la columna. Se tomaron las muestras considerando los diferentes niveles de profundidad. La medición de parámetros de campo se realizó *in situ* incluyendo el potencial de Hidrógeno, temperatura y conductividad eléctrica.

La estimación de la visibilidad se consideró un parámetro importante relacionado con el dragado y la resuspensión de materiales. Esta se midió mediante el disco de Secchi (Figura 8). En la zona sin perturbación, se colectaron muestras de superficie, profundidad media y fondo. En el Canal de

MÉTODO

Urandén cercano a la Reserva del Pez Blanco, y Santiago Sipigio, Erongarícuaro se tomaron muestras de superficie y de fondo.

Los equipos de campo para muestreo de agua incluyeron la botella tipo Van Dorn y el colector de agua para oxígeno disuelto para la toma de muestras a diferente profundidad (Figuras 9 y 9').

MÉTODO



Figura 8. Medición de la visibilidad mediante el empleo del disco de Secchi

MÉTODO



Figura 9. Botella de Van Dorn para muestras de agua a diferente profundidad



Figura 9´. Colector de agua para oxígeno disuelto en muestras de fondo

MÉTODO

Para el registro del potencial de Hidrógeno y la conductividad eléctrica, se utilizó un potenciómetro de campo, marca "Hanna" HI9811-5. Para el registro de temperatura se utilizó un termómetro de mercurio con una escala de 0.0°C a 60.0°C marca Brannan. Para cada sitio se tomaron las coordenadas de ubicación por medio de un Geoposicionador marca Garmin Modelo GPS II Plus (Figura 10).

Para el muestro de sedimentos, se empleó una draga tipo Eckman (Figura 11). Con la finalidad de observar algunas características de la estructura del suelo, se colectaron de manera estratificada, la porción de los primeros siete centímetros superficiales de material colectado, y posteriormente el resto del sedimento más profundo para observar los efectos en la estructura del fondo.

MÉTODO



Figura 10. Geoposicionamiento con el receptor GPS Garmin Mod. II Plus

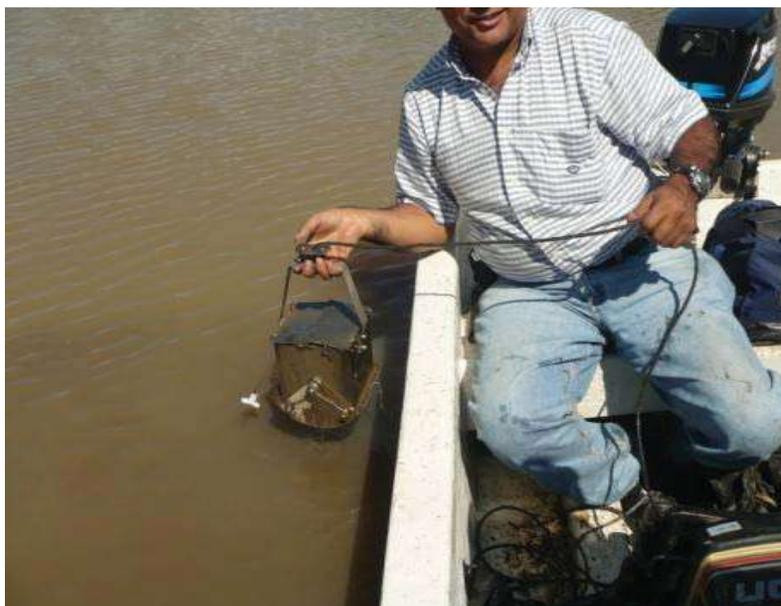


Figura 11. Muestreo de sedimentos con la draga tipo Eckman

6.1.2. Manejo y traslado de muestras

Para la colecta, traslado y conservación de muestras de sedimento, se emplearon colectores plásticos de 250 g de capacidad y envases de plástico con capacidad de un kilogramo. Por otra parte, las muestras de agua se colectaron y trasladaron en garrafones de plástico con capacidad de tres litros.

El traslado de las muestras al laboratorio se efectuó manteniendo el material a baja temperatura para minimizar la alteración y la ocurrencia de reacciones indeseables. Igualmente se mantuvieron en refrigeración hasta su procesamiento en laboratorio.

6.2 ANÁLISIS DE SEDIMENTOS EN LABORATORIO

6.2.1 ANÁLISIS FÍSICO

- a) **Análisis de textura.** Mediante la técnica gravimétrica de tamices, considerando la escala propuesta por la Asociación Americana de funcionarios del transporte y carreteras estatales AASHTO (Arango, 2007). Considerando el tamaño de partícula como Gravas > 2.0 mm; Arenas 2.0 – 0.075 mm; Limos 0.075 – 0.002 mm y arcillas < 0.002 mm comparando con el triángulo de textura (Rucks, *et al*, 2004)

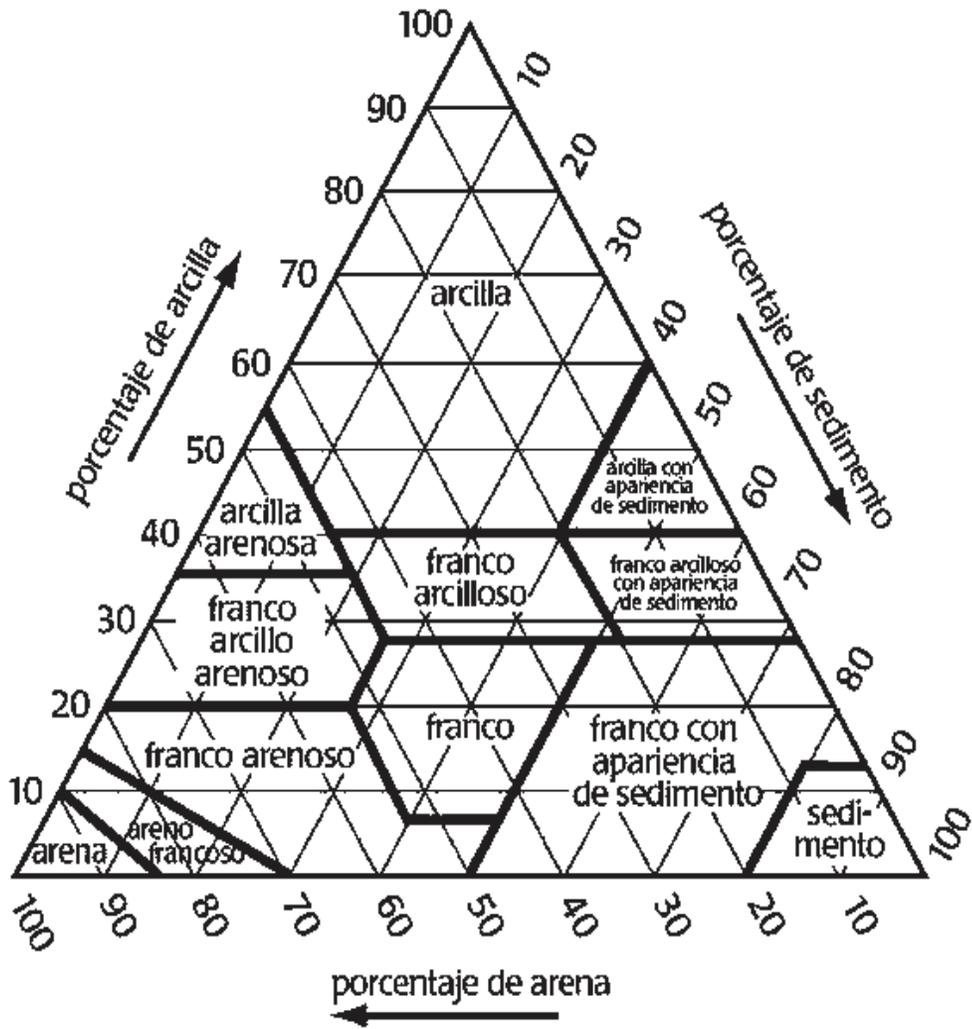


Fig. 12 Triángulo de texturas para análisis de partículas de suelo (Rucks, *et al.*, 2004)

MÉTODO

- b) **Análisis de densidad** en g/cm^3 mediante la técnica volumétrica en matraces aforados de 20.0 mL y por pérdida de humedad a 105.0°C durante 24 horas en un horno de convección. El volumen final de sustrato fue ligeramente disgregado y medido en una probeta de 20 mL (Gómez-Tagle, com. pers.).

6.2.2 ANÁLISIS QUÍMICO

- a) **Potencial de hidrógeno.** Medido en el laboratorio con un potenciómetro marca “Hanna” HI9811-5 previa dilución de suelo en agua destilada (20 g / 50 mL agua según referencias de Houba, *et al.*, 1988) con agitación mecánica con termoagitador magnético durante dos horas.
- b) **Materia orgánica.** Estimada mediante la técnica gravimétrica de pérdida de peso mediante el proceso de ignición a 550.0°C por 30 min (Houba, *et al.* 1988) y la técnica de Walkley y Black (en Houba, *et al.*, 1988) con dicromato de potasio y ácido sulfúrico para la digestión, empleando ácido fosfórico y nefelendiamina como indicador y titulando con sulfato ferroso amoniacal. Se utilizaron alícuotas de 0.5 g en los análisis.
- c) **Concentración de sales.** Mediante la cuantificación de sodio, potasio y calcio, realizado mediante las técnicas de espectrofotometría de absorción atómica, practicada en laboratorio particular certificado (metodología: SM-3500-Ca-D-1992: SM-3500-Na-D1992 y SM-3500-K-D-1992), en un solo muestreo realizado en de la temporada de estiaje
- d) **Fósforo total y ortofosfato.** Por medio de la extracción con ácido sulfúrico (H_2SO_4) 0.02 N y mediante la técnica de espectrofotometría en banda visible, empleando para ello un espectrofotómetro modelo *Genesys 20* marca “*Thermo Scientific*” realizando la lectura a 880 nm.
- e) **Nitrógeno.** La muestra se procesó para su extracción con cloruro de Potasio (KCl), empleando una muestra de 20 g de sedimento aireado en 200 mL de KCl 6.0 N (Houba *et al.*, 1988) para aplicar las mismas técnicas de agua para la determinación de nitritos y nitratos en el líquido sobrenadante.

MÉTODO

- f) **Amonio.** El método de extracción fue el mismo aplicado para nitritos y nitratos. Para la valoración se aplicó la técnica de espectrofotometría con una lectura a 425 nm después de desarrollar color con la técnica de Nessler en el sobrenadante de la extracción

6.3 PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DE ANÁLISIS DE AGUA EN LABORATORIO

6.3.1 ANÁLISIS FÍSICO

- a) **Sólidos totales.** Medidos mediante la técnica gravimétrica, tomando 10 mL de muestra de agua en crisoles a peso constante y sometidos a evaporación a 105°C durante 24 horas.
- b) **Sólidos sedimentables.** Mediante la técnica de sedimentación en reposo mediante el uso del Cono de Imhoff. Las muestras se dejaron en reposo por una hora, después de la cual, se removieron los sólidos de la pared del cono con una varilla de vidrio para continuar con el reposo por tres horas más debido a la sedimentación lenta de las arcillas encontradas en las muestras. La lectura se registró en ml/L (APHA, 1999).
- c) **Sólidos suspendidos totales.** Con muestras tratadas mediante filtración empleando una bomba de vacío y través de filtros de fibra de vidrio de 0.045 μ de abertura, a peso constante, que fueron saturados con el volumen de agua de muestra necesario. Posteriormente, para medir la concentración, los filtros fueron sometidos a una temperatura de 105°C por 24 horas en el horno de secado, enfriados en un desecador hasta alcanzar la temperatura ambiental y se tomó el peso final mediante balanza analítica Sartorius con 0.01 mg de precisión (Strickland and Parsons, 1972).
- d) **Sólidos disueltos totales.** Estimado con los mismos filtros del análisis anterior sometidos a 180°C por un periodo de una hora, siguiendo el mismo procedimiento.
- e) **Sólidos volátiles.** Finalmente, con los mismos filtros tratados en el análisis previo y sometiéndolos a un proceso de evaporación en la mufla a 550°C por 30 min quedando únicamente la ceniza inorgánica y obteniendo por diferencia de peso, la materia orgánica contenida.

6.3.2 ANÁLISIS QUÍMICO

- a) **Concentración de Oxígeno disuelto.** Se estimó la concentración mediante la Técnica indirecta de Winkler modificada a la azida de sodio (Lind, 1985). En el campo se tomaron las muestras y se añadieron los tres primeros reactivos de sulfato manganoso, álcali yoduro-azida y ácido sulfúrico para su fijación. Posteriormente, la titulación con tiosulfato de sodio 0.0125 N se realizó en el laboratorio unas horas después de la toma de muestras.
- b) **Alcalinidad.** mediante la técnica de titulación en laboratorio, utilizando fenolftaleína como indicador y ácido sulfúrico 0.02N como titulante. La alcalinidad total se determinó utilizando verde de bromocresol como indicador (Lind, 1985).
- c) **Dureza total y parcial.** Determinada por la técnica de titulación utilizando Ericromo negro-T como indicador y EDTA 0.01 M como titulante (Rainwater & Tatcher, 1960 en Lind, 1985;).
- d) **Concentración de sales.** Únicamente se consideraron sodio, potasio y calcio. Los análisis se realizaron mediante las técnicas de espectrofotometría de absorción atómica, practicados en laboratorio particular certificado (metodología: SM-3500-Ca-D-1992: SM-3500-Na-D1992 y SM-3500-K-D-1992), en un solo muestreo realizado al inicio de la temporada de estiaje.
- e) **Fósforo total y ortofosfato.** Mediante la técnica de colorimetría utilizando el reactivo mixto con antimonil potasio tartrato y amonio molibdato para coloración y lectura a 590 nm de longitud de onda (Lind, 1985), con un espectrofotómetro modelo “Genesys 20” Marca Thermo Scientific. Para el análisis de fósforo total, se realizó una digestión previa de las muestras con persulfato de Potasio en un periodo de 30 min, en una autoclave a 120 libras de presión (Lind, 1985) en tanto que la técnica de Ortofosfatos se consideró de acuerdo con los criterios de Murphy and Riley, (1962, en Lind, 1985).
- f) **Nitritos y nitratos.** Mediante la técnica de colorimetría empleando el la técnica colorimétrica con dihidrocloruro etilediamino-N (1-naftil) y sulfanilamida (NED). Posteriormente se realizó la lectura con un espectrofotómetro modelo Genesys 20 “Marca Thermo Scientific”. Para estimar

MÉTODO

la concentración de nitratos, se realizó previamente la reducción en una columna de cobre-cadmio (según referencias de Golterman, et al en APHA, 1999).

- g) **Amonio.** Se estimó la concentración mediante la técnica colorimétrica de Nessler y su lectura a una longitud de onda de 425 nm, con el equipo de espectrofotometría marca “Thermo Scientific” modelo Genesys 20.

6.4 TRATAMIENTO DE DATOS

Se realizó el análisis comparativo de parámetros mediante estadística básica, con el cálculo de mínimos, media, mediana, máximos y desviación estándar, entre los diferentes sitios de muestreo considerando seis meses de colecta. Se hizo un análisis de los resultados de esta investigación con relación a los datos obtenidos en investigaciones recientes anteriores.

Finalmente, se evaluó el impacto del dragado, considerando la capacidad y características de trabajo de las máquinas de dragado, los días y horas trabajados.

VII. RESULTADOS

7.1. PERFIL AMBIENTAL DE LOS SITIOS DE MUESTREO

Sitio 1 Zona No perturbada (limnética: Considerando el análisis como un punto de referencia de la mejor calidad de agua de un sitio local no perturbado por las acciones de dragado en un área parte de la zona limnética (figura 13).

Durante el trabajo de campo se observó que el nivel de agua se incrementó hasta en 50.0 cm por la aportación de la precipitación pluvial estacional y el posible ingreso de agua de los manantiales que alimentan al lago. Fue evidente que el nivel ascendió y descendió debido a que en la temporada de estiaje, las rocas de la isleta claramente sobresalían de la superficie del agua. Con el avance de la temporada lluviosa y durante los meses de octubre y noviembre, las rocas de la isleta quedaron cubiertas por completo por el agua que las sobrepasó hasta en 10.0 cm. De la misma manera, fue posible detectar las corrientes internas del lago por el fuerte movimiento de los aparatos de muestreo que fueron arrastrados durante el procedimiento de toma de muestras, con el movimiento de la columna del agua particularmente al final de la temporada lluviosa el litoral de la isleta se registró una profundidad de 3.0 a 3.7 m.

En campo se apreció la formación de rocas cercanas a la isleta con el afloramiento de manantial interno. El flujo del agua se mantuvo constante durante todo el periodo de estudio. Durante los meses de lluvia y aún en los meses posteriores, el flujo fue evidente aunque se observó una disminución sustancial de la cantidad de agua.



Figura 13. Ubicación de la Estación 1. Isleta “La Tecuenita” definida como Zona No perturbada (limnética)

Sitio 2 Perturbación ligera permanente: Durante el trabajo de campo se observó que el canal es intensamente utilizado para la navegación por la comunidad indígena que habita en las islas de Urandén de Morelos, Urandén de Morales y Carián. (Figuras 14).



Figura 14. Ubicación del canal de navegación y de la Estación identificada con perturbación ligera constante.

Sitio 3 Perturbación reciente: En este sitio se observó durante las colectas que en las cercanías, se han realizado obras pequeñas de dragado para accesos adicionales a la zona (Figuras 15).



Figura 15. Ubicación de la Estación con perturbación reciente en Santiago Sipigio.

Sitio 4 en reposo, perturbación en tiempo remoto: Como se observa en las figura 16, el humedal que se ha formado en éste ambiente litoral es extenso, reflejando el fuerte azolve ocasionado por la erosión y el aporte de nutrientes que favorecen el crecimiento de la vegetación acuática.



Figura 16. Ubicación de la Estación en reposo, cercana a Erongaricuaró.

7.2. ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE SEDIMENTOS Y AGUA

7.2.1. ANÁLISIS FÍSICO DE SEDIMENTOS

En el análisis de sedimentos no se encontraron diferencias significativas en la mayoría de los parámetros entre los sedimentos superiores e inferiores en el estrato de 25 cm colectados con la draga tipo Eckman, en tres de los sitios solamente en el sitio con perturbación ligera permanente, que reflejo ciertas diferencias en los análisis de textura y densidad. De manera general se aprecia que la estructura del suelo se rompe en los sitios en donde se ha aplicado el proceso de dragado. Las arenas más gruesas se encuentran presentes en la superficie de los sedimentos de la estación que se considera en reposo (Tabla 2). En éste sitio es particularmente evidente que el sustrato superficial contiene un porcentaje de arenas hasta en un 77.85 % en el estrato superior y de 74.46 % en el estrato inferior en comparación con las proporciones de arena inferiores encontradas en los sitios sometidos al dragado.

Por comparación, si se considera la proporción de arcillas de la zona limnética que nunca ha sido operada por dragado y el resto de los sitios, se observa un porcentaje mayor de arcillas de 13.9% en el estrato superior y de 8.96% en el inferior contra los valores alrededor de 3 y 4 % de los sitios con operación de dragado con exposición más reciente. Salvo en el estrato inferior del sitio recientemente dragado en el que se registró un 10.28 % de arcilla. En general en los sitios dragados, se registraron porcentajes más altos de limos, de entre 21.15% y 38.38% en comparación con los valores alrededor del 18% del sitio en la zona limnética y del sitio en reposo. Con relación al tamaño de las partículas de arena encontradas en los sitios de dragado reciente, éstos presentan arenas más finas en mayor proporción que en la zona limnética y en la estación de Erongarícuaro (en reposo) en las cuales se encontraron partículas de arena más gruesas del orden de 0.24 a 0.71 mm. (Tabla 2).

RESULTADOS

Tabla 2. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE TEXTURA Y DENSIDAD EN SEDIMENTOS DE LAS ESTACIONES MUESTREADAS EN EL LAGO DE PÁTZCUARO.								
	SITIOS DE COLECTA							
TIPO DE PARTÍCULA	Limnétic Superior	limnétic Inferior	Pert.lig Super	Pert. lig. Inf	Pert rec.Sup	Pert rec Inf.	Repos Super	Repos Infer
Arena gruesa 0.52 a .71 mm (%)	0.82	1.73	1.29	1.9	3.51	0.7	20.87	13.26
Arena fina 0.38-0.24 mm (%)	31.8	14.14	13.43	19.76	14.45	10.25	38.16	40.35
Arena muy fina > 0.0062 (%)	33.54	52.46	37.19	50.29	51.18	58.54	18.82	20.85
Total de arena	66.26	68.33	58.24	71.95	69.14	69.49	77.85	74.46
Limo < 0.0062 a 0.002 (%)	16.1	19.7	38.38	24.59	21.15	24.33	16.62	18.69
Arcilla < 0.002 (%)	13.19	8.96	3.58	2.79	10.28	4.35	3.32	3.96
Densidad (grcm ³)	0.91	0.91	0.51	0.51	0.66	0.67	0.81	0.86

RESULTADOS

En relación con el análisis de densidad, los resultados sugieren suelos menos densos ($0.51 - 0.67 \text{ g cm}^{-3}$) en los sitios sometidos a acción de dragado y suelos más densos ($0.81-0.91 \text{ g cm}^{-3}$) en los sitios menos perturbados de la zona limnética y de Erongarícuaro.

Con relación al color de los sedimentos, en los sitios no perturbado y en reposo, presentaron un color café. En tanto que los sitios con perturbación ligera y recientemente perturbado, el color fue oscuro, negruzco, particularmente en el sitio de dragado reciente en Santiago Sipigio.

En el análisis de textura por tamizado se pudo apreciar que en el caso de los sedimentos de la zona limnética y en reposo, hubo un mayor número de fracciones que se pudieron separar en un suelo más estructurado y una mayor proporción de arcillas. Sobretudo, el mayor número de fracciones de arenas de diferentes tamaños. En la estación considerada en reposo es en la que se encontraron porcentajes mayores de arena y las arenas como partículas de tamaño más grandes.

De acuerdo con el triángulo de texturas, los sedimentos se clasificaron de la manera siguiente. La zona limnética que es el sitio sin perturbación, tiene un tipo de sedimento Franco arenoso en ambos estratos. En el caso del sitio con perturbación ligera permanente, los resultados refieren sedimentos franco arenoso para el estrato superior y areno francoso para el estrato inferior. En el sitio con perturbación reciente, en ambos estratos muestreados el análisis lo sitúa como areno francoso al igual que en la estación del sitio en reposo.

7.2.2. ANÁLISIS QUÍMICO DE SEDIMENTOS

En relación con la concentración de materia orgánica, se observó que en los sitios sometidos a la actividad del dragado es mayor la concentración encontrada entre 8.0 y 11.0 % de MO. En los sitios de la zona limnética y en reposo se registraron concentraciones entre 3.0 y 4.0% de acuerdo con el método de Walkley Black (ver Tabla 3, Fig. 17). En los sitios, no perturbado y en reposo, se observó el desarrollo de vegetación acuática sobretodo en Erongarícuaro, se detectó la presencia de algas en las muestras de fondo y en la columna de agua. Particularmente en este sitio en reposo, es significativa la presencia de algas en las muestras de superficie sobretodo en los meses de colecta con el avance de la temporada de lluvias ambos sitios. En la zona limnética se detectaron organismos incluyendo caracoles bentónicos (Gasteropoda) y acociles (Crustacea), en la toma de muestra de sedimentos, elementos que no se encontraron en los sitios dragados. En el sitio en reposo, Erongarícuaro, se detectó en la toma de muestra de sedimentos, la presencia de macrofauna bentónica, así como algas filamentosas como vegetación sumergida y algas planctónicas flotantes abundantes en superficie.

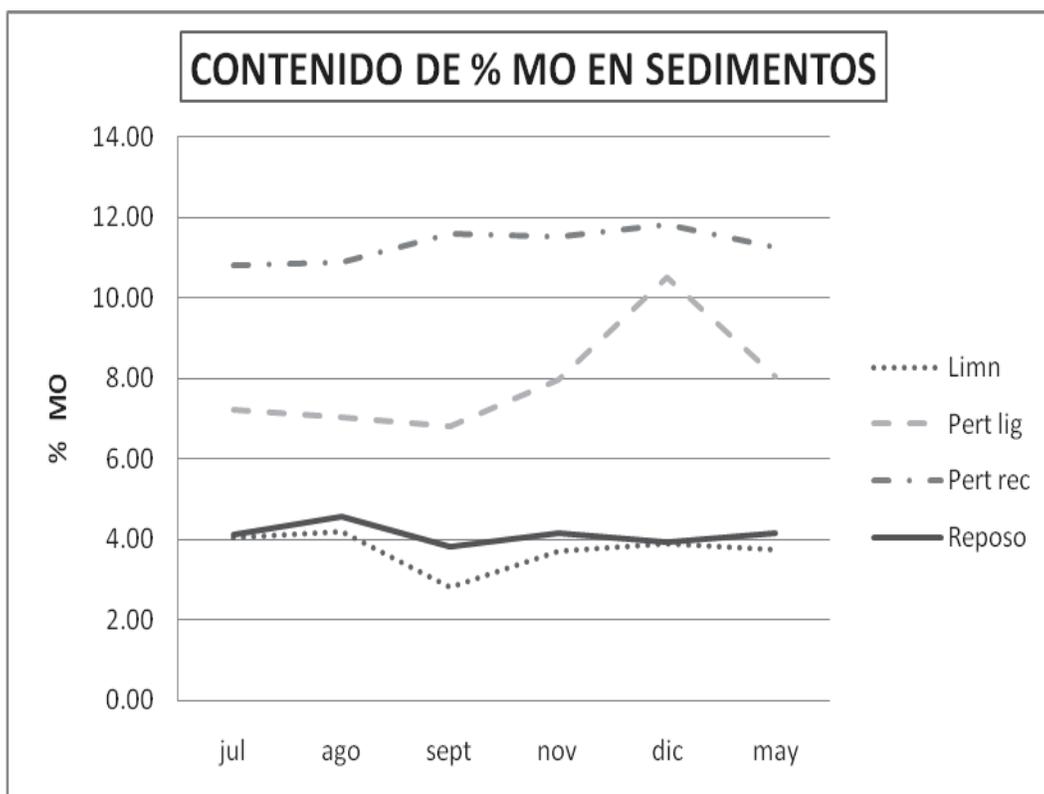


Fig. 17. Concentración de materia orgánica en los sitios muestreados. Los registros más altos corresponden con los sitios más perturbados

RESULTADOS

Con relación al análisis químico de nutrientes en sedimentos, el fósforo y nitrógeno en las formas que se analizaron, se encuentran presentes en concentraciones más elevadas en los sitios bajo la acción del dragado que en aquellos sitios en condiciones sin alteración (Tabla 3). El fósforo medido como fósforo total y como fracción de fósforo soluble u ortofosfato, registró valores menores de 38.04 µg/L ó 40.33 µg/L en la zona limnética y un valor mínimo de 27.02 µg/L en la estación considerada en reposo. En los sitios perturbados, se obtuvieron valores altos de alrededor de 75.03 µg/L en el sitio con perturbación ligera constante e incluso en el sitio recientemente dragado, los valores fueron de hasta 99.25 µg/L (ver tabla 3 y figs. 18 y 19).

RESULTADOS

TABLA 3. ANÁLISIS QUÍMICO DE SEDIMENTOS (VALORES PROMEDIO DE SEIS MUESTREOS)								
VARIABLES	limn sup	limn inf	Pert li sup	Pert li inf	Pert re sup	Pert re inf	Reposo sup	Reposo inf
Potencial de Hidrógeno	8.9	8.8	8.1	8.1	8.6	8.6	8.7	8.7
Materia orgánica (%)	3.89	3.20	8.49	7.60	11.13	11.75	4.02	4.15
Fósforo total (mg/kg)	38.04	40.33	75.03	73.24	98.44	99.25	29.73	27.02
Ortofosfatos (mg/kg)	31.88	32.38	60.77	64.74	85.30	86.71	24.89	21.94
Amonio (mg/kg)	1.11	1.36	2.54	3.08	1.64	1.94	1.17	1.91
Nitritos (mg/kg)	5.55	5.12	5.50	3.65	4.80	5.94	5.04	5.39
Nitratos (mg/kg)	2.23	2.81	2.95	3.47	1.64	2.1	1.21	2.00

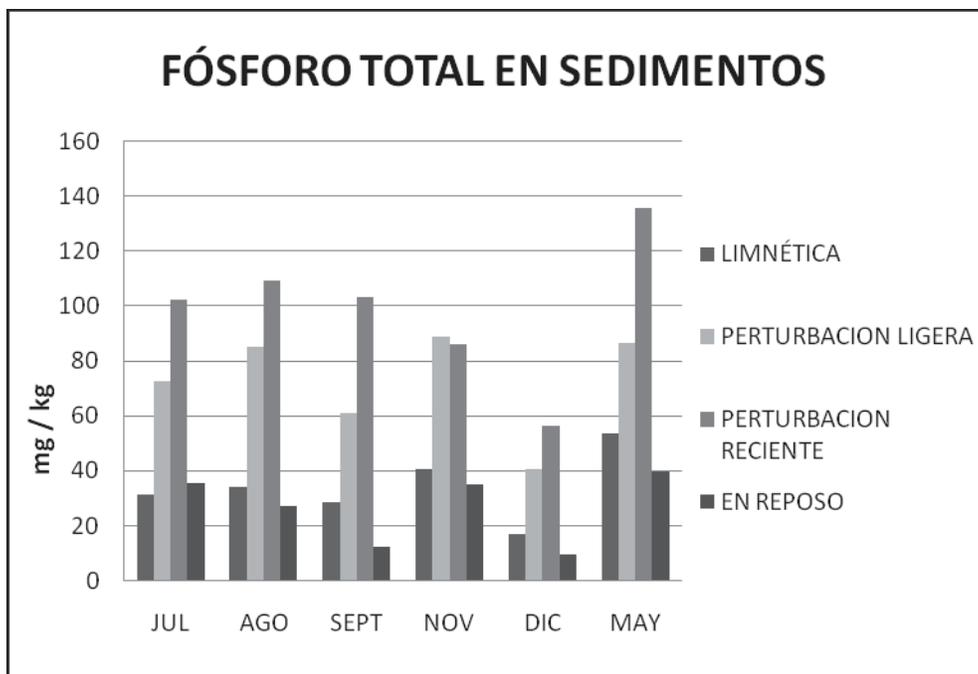


Fig.18. Promedios por estación de las concentraciones de fósforo total en los meses de colecta

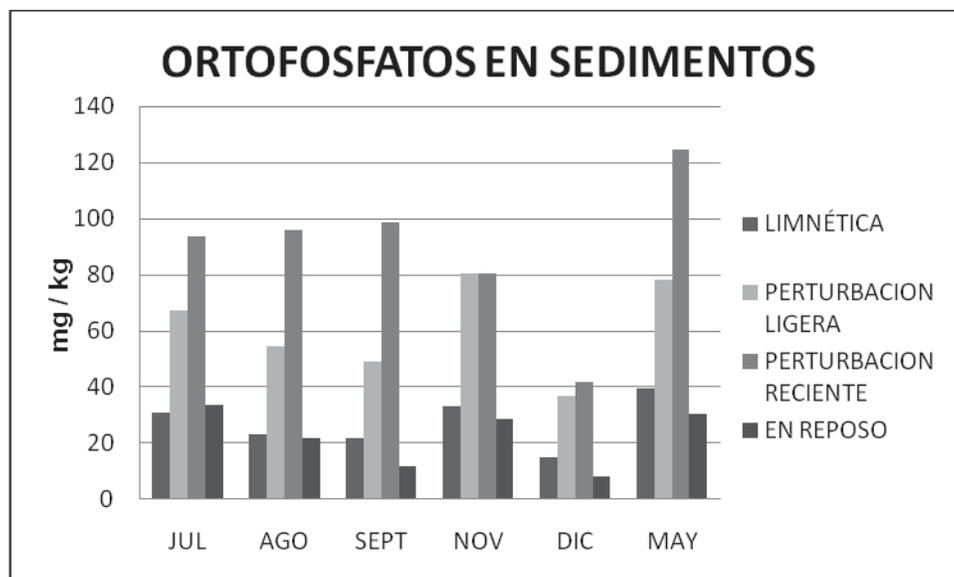


Fig.19. Promedios por estación de las concentraciones de ortofosfatos en los meses de colecta

RESULTADOS

El amonio se registró en una concentración más alta en los sitios bajo la acción reciente de dragado, particularmente en el sitio con perturbación ligera constante, en el canal de la reserva del pez blanco que está dentro de las inmediaciones de la isla de Urandén con 2.54 mg/kg en el estrato superior y 3.08 mg/kg en el estrato inferior, en comparación con 1.11 y 1.17 mg/kg encontrados en la zona limnética y el sitio en reposo respectivamente. El sitio recién dragado presentó valores cercanos al de los sitios sin perturbación, con 1.64 y 1.94 mg/kg respectivamente en estratos superior e inferior (ver tabla 3).

En relación con las concentraciones de nitritos, se registran valores similares en las cuatro estaciones muestreadas con valores promedio cercanos a los 5 mg/kg al considerar los estratos superior e inferior en conjunto. Con referencia a los nitratos, se observan valores más altos en la estación del canal de la reserva del pez blanco, igual al comportamiento de los valores de amonio. Se registraron concentraciones de 2.95 y 3.47 mg/kg en los estratos superior e inferior respectivamente (ver la Tabla 3). En tanto los valores más bajos se encontraron en la estación en reposo y en el sitio recién dragado con registros de entre 1.21 y 2.00 mg/kg. Valores intermedios se ubicaron en la zona limnética con concentraciones de entre 2.23 y 2.81 mg/kg (tabla 3).

En los valores de salinidad es posible apreciar una variación entre todas las estaciones de muestreo. Con relación a los valores de calcio los resultados indican que la mayor concentración se encontró en La Tecuenita en el estrato superior y en el estrato inferior del canal, con 141.0 mg/kg en ambos casos. En el sitio recién dragado, en el estrato superior, se determinó la mínima salinidad encontrada en los ocho estratos muestreados, con solo 16.6 mg/kg, en tanto que en el estrato inferior, se determinaron 83.3 mg/kg, siendo también una de las salinidades más bajas al igual que los 75.0 mg/kg, registrados en el estrato inferior de Erongarícuaro. En el resto de los estratos, la variación osciló entre 110.0 mg/kg y 141.6 mg/kg como ya se indicó. De este modo, el sitio con menor contenido de calcio es el de la estación Santiago Sipigio con dragado reciente (Tabla 4).

RESULTADOS

Con relación a la concentración de sodio, el sitio ubicado en el canal de navegación en las islas Urandén fue el que menores concentraciones presentó en estratos. En el sedimento superior, el valor fue de 89.7 mg/kg y de 92.0 mg /kg en el inferior. De los tres sitios restantes las mayores concentraciones para ambos estratos se midieron en el sitio con perturbación reciente con 204.7 y 211.6 mg/kg siendo la estación con los menores registros de calcio (Tabla 4). La estación limnética registró 124.0 mg/kg en el estrato inferior y 220.8 mg/kg en el superior. En el sitio 4, Erongarícuaro, también el valor más bajo se encontró en el estrato inferior con 140.3 mg/kg mientras que en el estrato superior fue de 241.0 mg/kg.

La concentración de potasio en los dos sitios bajo acción de dragado registró las menores concentraciones, mientras que en los sitios en reposo se registró la mayor concentración. En el caso del sitio con perturbación reciente, se encontraron los menores valores de potasio, con 24.18 mg/kg en el estrato superior y 31.59 mg/kg en el inferior. En el sitio con perturbación ligera, las concentraciones fueron similares con 40.17 mg/kg en el estrato superior y 56.94 mg/kg en el inferior. De las estaciones estudiadas, la zona limnética y el sitio en reposo, tuvieron registros similares entre 52.26 mg/kg y 83.85 mg/kg.

RESULTADOS

Tabla 4. CONCENTRACIÓN DE SALES EN SEDIMENTOS (mg/kg)			
ESTACIONES	CALCIO	SODIO	POTASIO
Limnética (superior)	141.6	220.8	83.85
Limnética (inferior)	110	124.2	60.84
Con perturb. ligera (superior)	133	89.7	40.17
Con perturb. ligera (inferior)	141.66	92	56.94
Con perturb. reciente (superior)	16.6	204.7	24.18
Con perturb. reciente (inferior)	83.33	211.6	31.59
En reposo (superior)	133	241	80.34
En reposo (inferior)	75	140.3	52.26

7.2.3. RESULTADOS DEL ANÁLISIS FÍSICO DEL AGUA

Con relación a la visibilidad, los registros de lectura promedio son bajos en los cuatro sitios de muestreo. En general se obtuvo un promedio con valores cercanos a los 0.20 m (Tabla 5). Considerando características particulares de cada sitio de muestreo, se observó que en los sitios sometidos a la acción del dragado se registraron valores de transparencia de 0.12 a 0.18 m, en tanto que en la zona limnética se registró el mayor valor de transparencia de 0.30 m (ver fig. 24). La turbidez es alta incluso en el ambiente de aguas abiertas y profundas, el color predominante es café claro. En el sitio en reposo, hay una tonalidad ligeramente verdosa y se apreció claramente el desarrollo de algas planctónicas flotando en la superficie y parte de la columna de agua al tomar las muestras. En los meses de septiembre, noviembre y diciembre, en algunas de las estaciones no se pudo tomar la lectura debido a la falta de luz solar necesaria para el proceso de medición, como consecuencia de nublados o presencia de niebla.

RESULTADOS

Tabla 5. VALORES DE VISIBILIDAD MEDIDOS EN METROS DEL DISCO DE SECCHI

ESTACION/MES	JUL	AGO	SEPT	OCT	DIC	MAY	PROMEDIO POR ESTACION
Limnética	25	20	Nublado	30	25	30	26
Perturb. Ligera	27	15	18	Nublado	12	18	18
Perturb. Reciente	14	15	Nublado	15	Neblina	17	15
En reposo	10	22	24	16	20	25	22

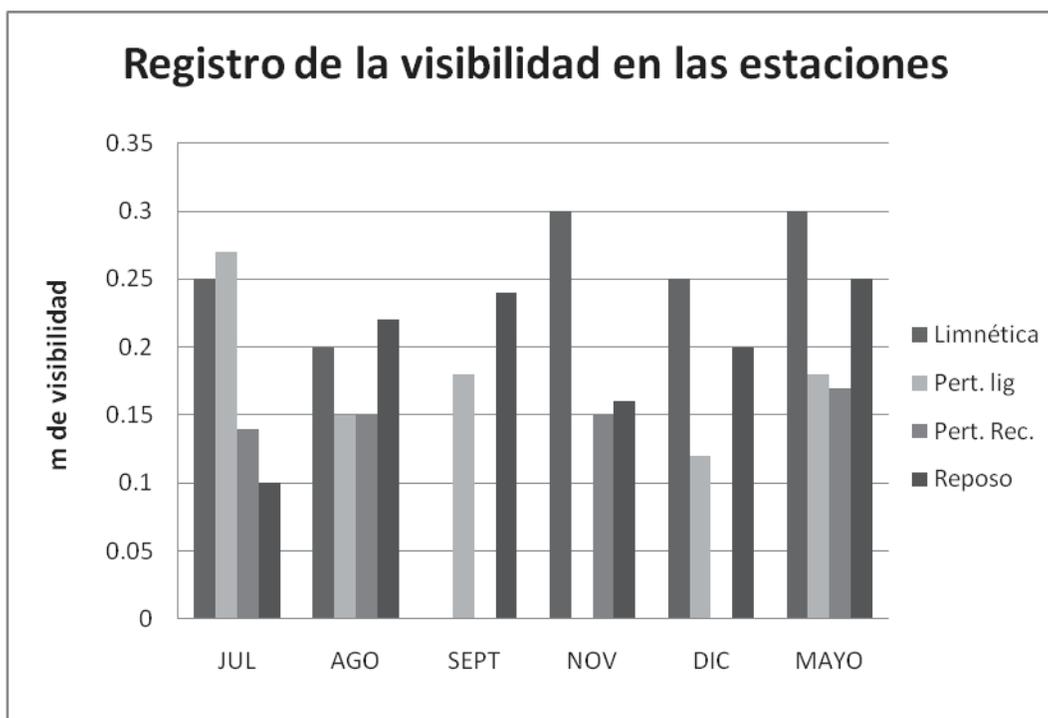


Fig. 20. Registro de promedios de visibilidad en las estaciones en los meses de colecta. Los valores faltantes fueron por luz solar insuficiente.

RESULTADOS

Con referencia al análisis de sólidos en el agua, de manera general se midieron las mayores concentraciones de las diferentes variantes consideradas de sólidos, en las estaciones de mayor perturbación. En el análisis de la concentración de sólidos totales, el valor promedio mínimo correspondió a una sola muestra de superficie del sitio con perturbación ligera constante registrada en el mes de julio con 280.5 mg/L, sin embargo también se encontró un registro de 1,280 mg/l en el mismo estrato muestreado en el mes de septiembre y con un promedio de 635 mg/L.

Las concentraciones más altas se encontraron en las muestras de superficie y fondo de la estación con dragado reciente (sitio más perturbado). En ésta estación, en la muestra de superficie del mes de septiembre, se midió un valor máximo de 1,490 mg/L. En las muestras de fondo, los datos oscilaron entre 920 mg/l y 2,550 mg/ L, que fue el valor más alto encontrado en el mes de agosto. Los registros menores se ubicaron en la zona limnética, con valores de 70 mg/L y 92 mg/L, en muestras de superficie hasta 2,010 mg/L en una muestra de profundidad media en el mes de septiembre y de 1,740 mg/L en la muestra de fondo del mismo mes. En la tabla 6, se muestran los valores promedios de los estratos de la columna de agua monitoreados en los meses de colecta en cada estación.

De manera general para las cuatro estaciones, las mayores concentraciones de sólidos se encontraron en las muestras colectadas en los meses que correspondieron a la temporada de lluvias o en relación con el arrastre propio de la temporada. Las concentraciones más altas de sólidos totales se registraron en los meses de agosto, septiembre y octubre para todas las estaciones. Se detectó que las concentraciones mínimas en las cuatro estaciones de muestreo se registraron durante el mes de diciembre con temperaturas bajas y sin precipitación pluvial.

RESULTADOS

TABLA 6. VALORES PROMEDIO DEL ANÁLISIS DE SÓLIDOS EN AGUA POR ESTRATO DE LA COLUMNA MUESTREADO (6 MESES DE COLECTA)

PARAMETROS / ESTACION.	limne superficie	limne media superf	limne fondo	perturb ligera superf	perturb ligera fondo	perturb recien superf	perturb recien fondo	reposito superf	reposito fondo
Sólidos sedimentables ml/L	4.0	2.6	4.6	3.0	4.0	3.5	2.75	1.5	3.0
Sólidos totales mg/L	988.3	993.3	981.6	691.3	748.3	903.3	1,532	948.3	996.6
Sól. suspendidos total mg/L	37.9	38.9	28.7	55.0	100.6	88.5	128.16	59.9	91.4
Sólidos disueltos total mg/L	11.2	3.03	3.5	2.7	7.05	14.8	11.9	3.1	20.6
Sólidos volátiles mg/L	13.11	10.88	9.26	17.65	27.01	16.02	39.5	18.38	20.48

En los análisis de sólidos sedimentables, solo se obtuvieron valores menores en la estación en reposo en ambos estratos. En el resto de las estaciones, los valores mayores se registraron en fondo y en las estaciones con mayor perturbación los valores fueron similares en ambos estratos (Tabla 6). Al analizar los sólidos totales encontrados en los muestreos, se observa que las dos estaciones menos perturbadas por el dragado, presentan concentraciones similares alrededor de 988 mg/L. En los sitios con mayor perturbación los valores oscilaron entre los 691.3 y los 748.3 mg/L para la zona con perturbación ligera y de 903.3 y 1,532 mg/L (Tabla 6). Se aprecia el sitio con perturbación ligera constante presentó los menores valores en este parámetro. En relación con los sólidos totales suspendidos, los valores más altos correspondieron con los dos sitios con mayor perturbación.

Un comportamiento similar se observa en relación con los sólidos totales disueltos, las mayores concentraciones de manera general, se ubicaron en el sitio con mayor perturbación reciente y en es estrato inferior de por el dragado (fig. 21, 22, 23 y 26) con las mayores concentraciones en el estrato de superficie y menores en las muestras de fondo. En el análisis de los sólidos volátiles, se registraron valores que reflejan mayores concentraciones en las muestras de fondo de los sitios con mayor perturbación por dragado, sobretodo en el sitio recién dragado (figuras 24 y 25). Para el sitio del canal de navegación de las Islas de Urandén considerado sitio con perturbación ligera constante, se detectó una concentración de 27.01 mg/L y para el sitio recién dragado, fue de 39.5 mg/L. En el caso de la estación considerada en reposo en las inmediaciones de Erongarícuaro, se detectó una concentración promedio de 20.48 mg/L en la muestra de fondo que también se considera alta. En la zona limnética, el valor fue de 10.88 mg/L en muestra de fondo y 13.11 mg/L en la muestra de superficie. Las concentraciones más altas de los sitios dragados, corresponden con valores de la concentración de MO igualmente más altos. En la muestra del sitio en reposo, los valores de sólidos volátiles se presume tienen relación con la notable presencia de

RESULTADOS

desarrollo algal que se apreció durante las colectas, significativamente notoria en comparación con los otros sitios (ver tabla 6).

No fue posible realizar colectas durante el inicio de la temporada de estiaje en 2010 debido a la presencia de abundantes lluvias irregulares que se presentaron en los meses de enero, febrero y parte de marzo. A finales del mes de marzo durante y aún en el mes de abril, se observaron escurrimientos significativos. Por lo anterior, la colecta se pospuso hasta el mes de mayo, con el propósito de observar cambios asociados con la época de estiaje.

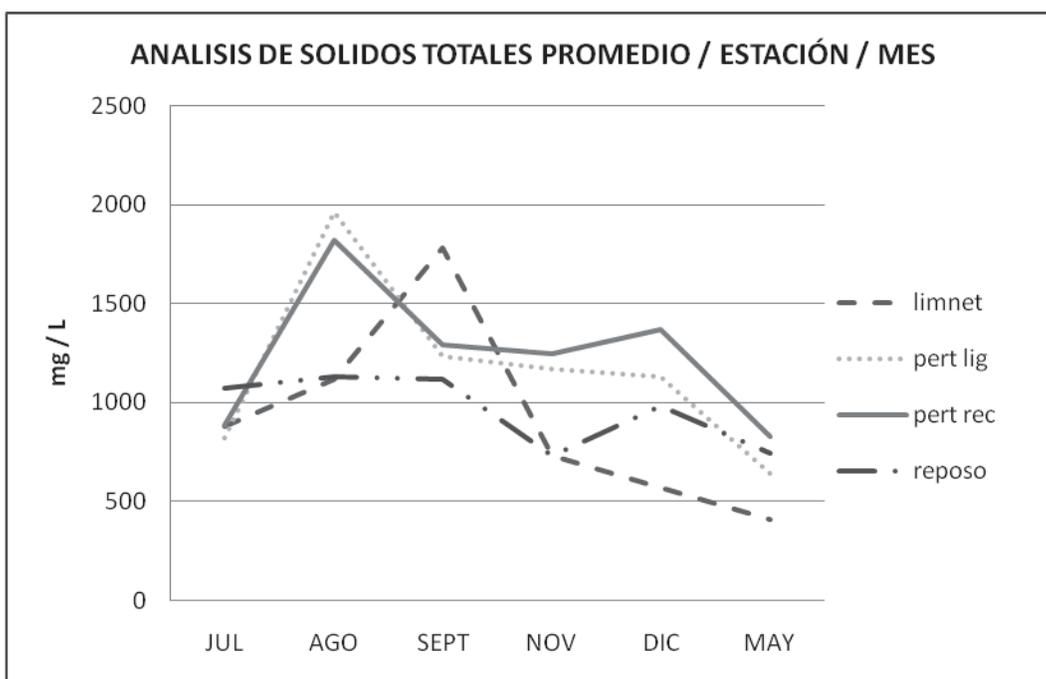


Fig. 21 Análisis de sólidos totales en promedio de los estratos Muestreados mensualmente por estación

RESULTADOS

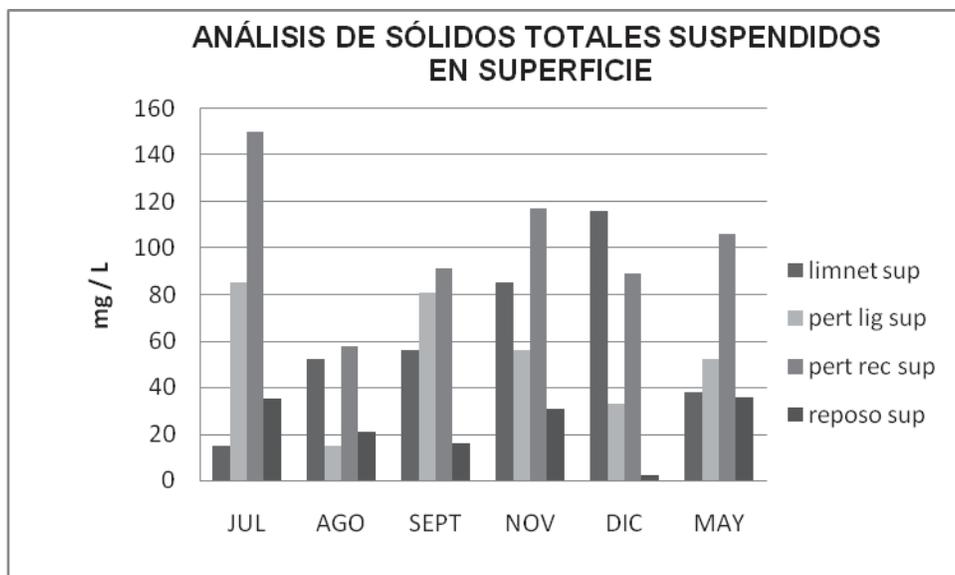


Fig. 22 Análisis de sólidos totales suspendidos en superficie.
Valores promedio por estación

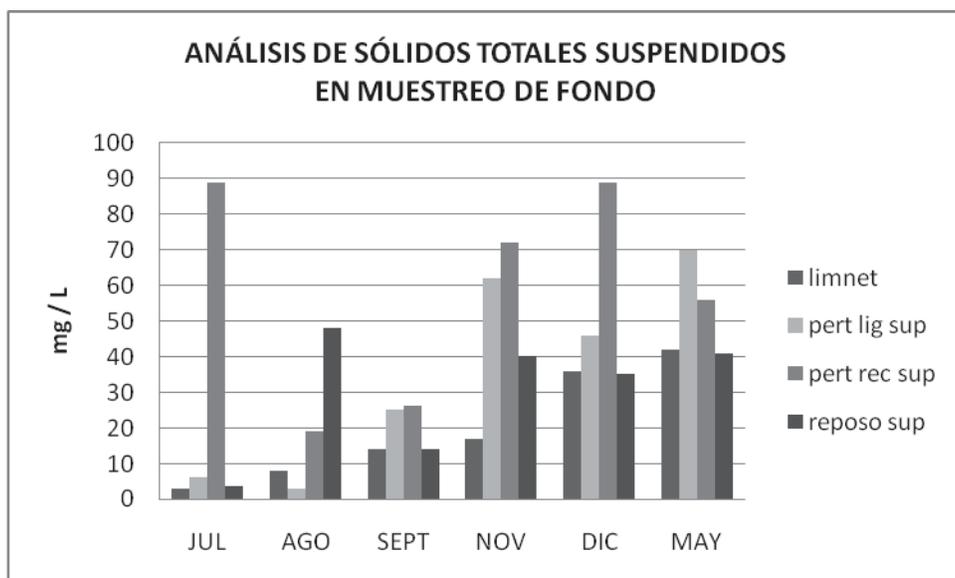


Fig. 23 Análisis de sólidos totales suspendidos en fondo.
Valores promedio por estación

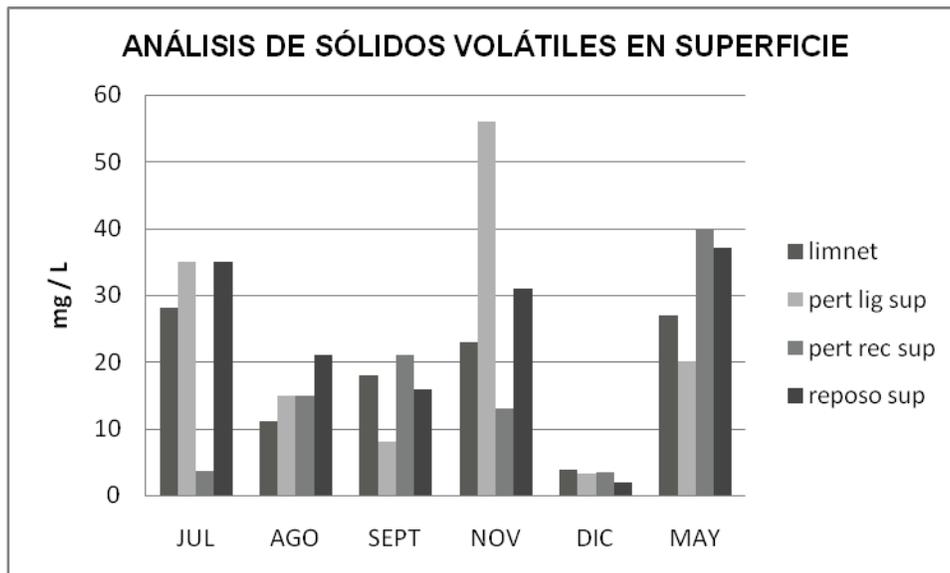


Fig. 24 Análisis de sólidos volátiles en superficie. Valores promedio por estación

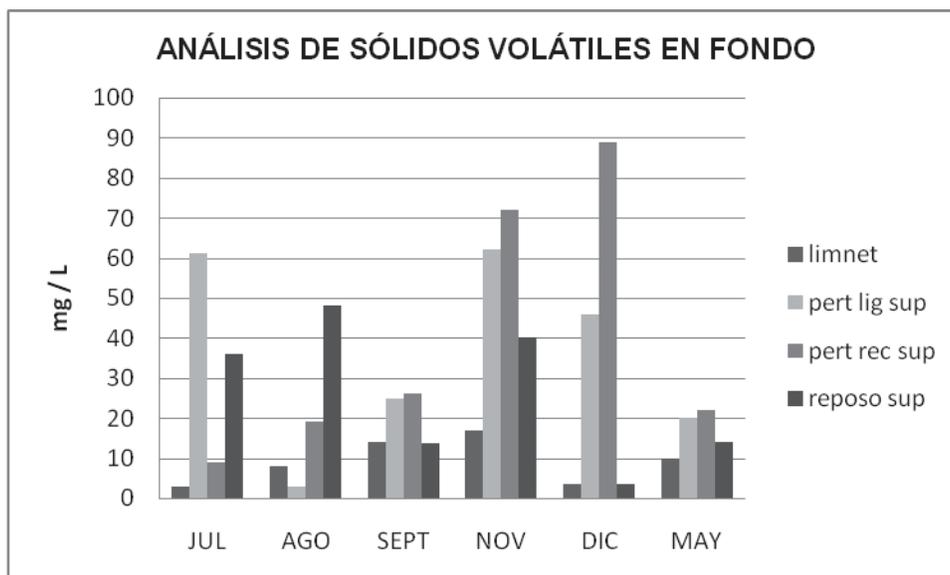


Fig. 25 Análisis de sólidos volátiles en muestras de fondo. Valores promedio por estación

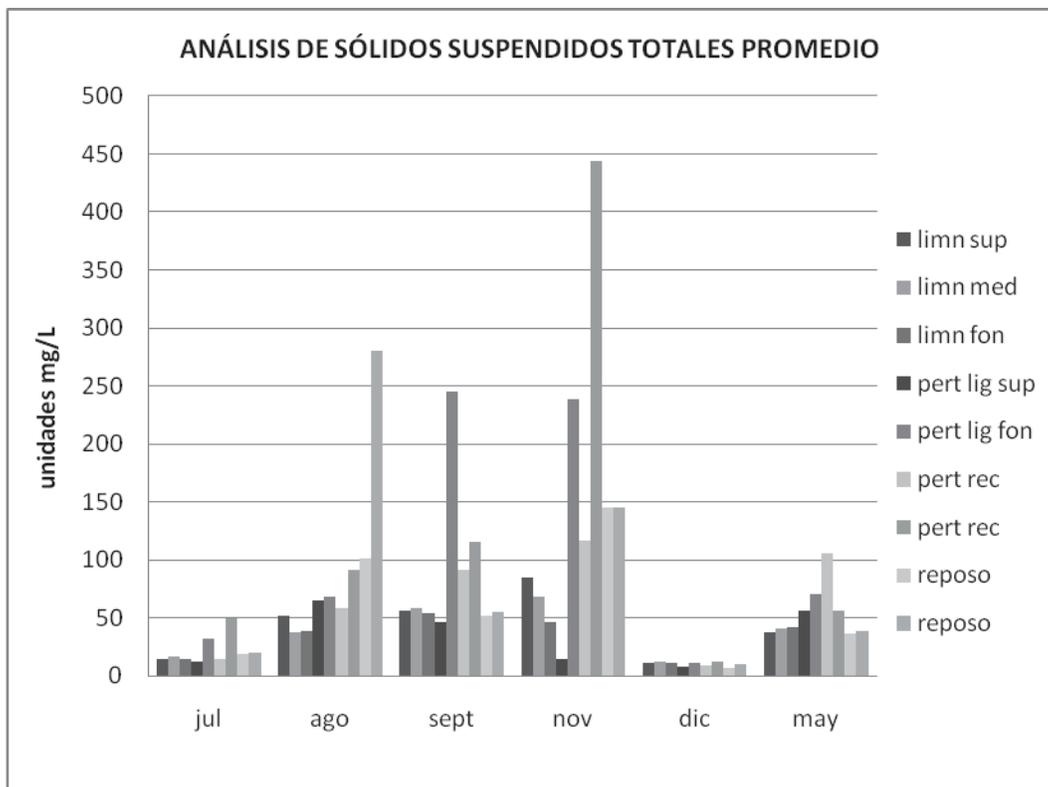


Figura 26. Análisis de sólidos suspendidos totales de las nueve muestras, en los meses de colecta. Los valores mayores corresponden con las muestras de fondo de los sitios dragados.

7.2.4. QUÍMICA DEL AGUA

El comportamiento del potencial de Hidrógeno en las cuatro estaciones, indica que se trata de aguas alcalinas con registros de 9.0 unidades de pH en promedio. En las muestras colectadas en la zona limnética, se encontraron valores de 9.5 en los meses de noviembre y diciembre que fueron los más altos de las muestras. El registro más alto se reporta para el canal, sitio con perturbación ligera, de 9.0 en la muestra de superficie y de 8.9 en el fondo, ambos en la colecta del mes de diciembre; en tanto que los valores más bajos, fueron de 8.3 en muestra de superficie del mes de septiembre y de 8.2 en la muestra de fondo, en la colecta del mes de agosto de 2009.

En el sitio con perturbación reciente, los registros más altos correspondieron con la muestra de superficie del mes de diciembre con 9.4 y de 9.5 para la muestra de fondo, el valor menor de 8.9, se encontró en la colecta del mes de mayo. Los valores promedio de las estaciones se presentan en la Tabla 7. La figura 27, ilustra el comportamiento del pH a lo largo de los meses de muestreo, se aprecia que los sitios dragados, registraron valores ligeramente menores que las otras dos estaciones las cuales tuvieron un comportamiento similar con valores altos de pH. Especialmente, el sitio considerado con perturbación ligera constante.

RESULTADOS

Tabla 7. VALORES PROMEDIO DE PH ESPACIAL Y TEMPORAL						
ESTACIÓN	JUL	AGO	SEP	NOV	DIC	MAY
Estación limnética	9.0	9.1	9.4	9.45	9.35	9.0
Estación perturb. ligera	8.65	8.45	8.3	8.65	8.95	8.06
Estación perturb. reciente	9.1	9.05	9.3	9.2	9.45	8.95
Estación reposo	9.05	9.05	9.45	9.55	9.45	9.0
Estación fondo	9.1	9.1	9.5	9.5	9.4	9.0

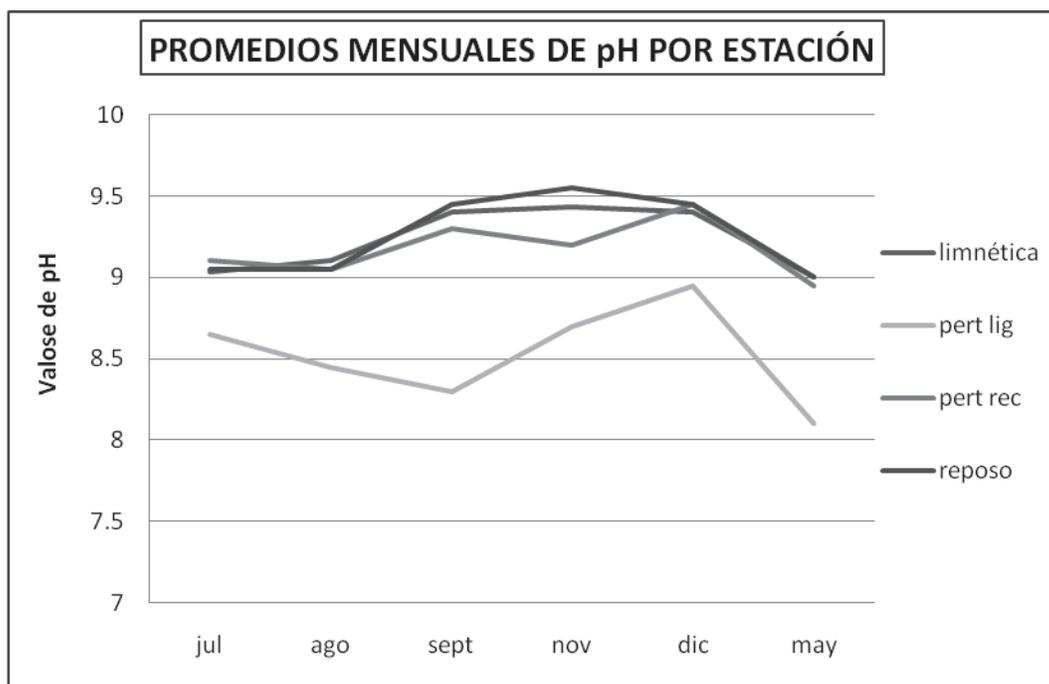


Figura 27. Comportamiento temporal de los valores promedio de pH

La conductividad eléctrica presentó valores constantes en las estaciones limnética y en reposo, se manifestó variación en un intervalo desde 900 hasta 1090 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Generalmente se presentaron valores por arriba de 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en las tres muestras colectadas de la zona limnética. Se registró una moderada variación en Santiago Sipigio el sitio recién dragado, alcanzando valores desde 800 hasta 1070 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En el canal de navegación, el sitio con perturbación ligera constante, se registraron valores mínimos de 200 hasta 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En general los valores máximos se encontraron durante el mes de julio en tres de las estaciones muestreadas, con excepción del canal de navegación de las Islas de Urandén.

Al observar el comportamiento de registros en el canal de navegación que es el sitio con perturbación ligera, se nota que las concentraciones menores a los 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$, se midieron durante el mes de julio, es decir, previo a la incidencia de los escurrimientos. Durante el año de 2009, la temporada de lluvias se presentó con un atraso de manera que los meses de mayo y junio presentaron lluvias muy escasas o esporádicas. En los meses de agosto y septiembre, los valores máximos de conductividad eléctrica se presentaron en la superficie mientras que los valores menores se registraron en el fondo, sin embargo durante el mes de mayo, en el estiaje, esta condición fue inversa, la conductividad eléctrica máxima se registró en el fondo (ver Tabla 8, figura 28 con promedios de conductividad eléctrica por estación).

RESULTADOS

Tabla 8. VALORES DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN ($\mu\text{S}/\text{cm}$)						
ESTACIÓN/MES COLECTA	JUL	AGO	SEP	NOV	DIC	MAY
Limnética sup.	1090	1020	1000	1040	1050	900
Limnética media	1090	1060	1000	1040	1050	900
Limnética fondo	1070	1060	1000	1050	1040	900
Pert. ligera sup.	200	710	520	650	680	570
Pert. ligera media	200	490	360	650	750	470
Pert. reciente sup.	1070	840	890	930	1050	880
Pert. reciente fondo	1070	1000	890	930	1020	880
Reposo sup.	1070	1060	1040	1050	1050	920
Reposo fondo	1070	1070	1040	1050	1040	910

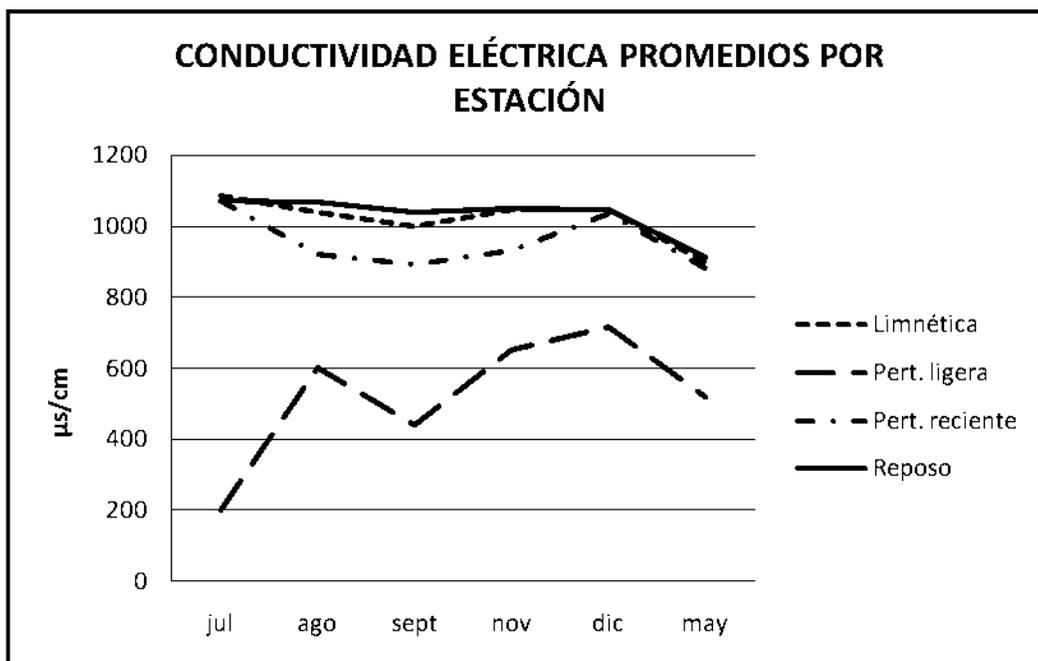


Fig. 28 Comportamiento de la conductividad eléctrica (promedios mensuales por estación)

RESULTADOS

En relación con la concentración de las sales de calcio, sodio y potasio en las distintas estaciones de muestreo, se observa que los valores mínimos se ubicaron en el sitio con perturbación ligera, se registraron los valores más bajos de conductividad eléctrica (Tabla 9). Los valores de concentración de calcio fueron similares en las cuatro estaciones, variando desde los 12.0 mg/L en las muestra de fondo del canal de navegación de las Islas de Urandén hasta los 16.8 mg/L registrado en la superficie de las estaciones 3 y 4 (Tabla 9).

El sodio registró los valores máximos en la zona limnética, disminuyendo la concentración en relación con la profundidad; con una variación mínima desde los 190.9 mg/L en superficie, hasta 188.6 mg/L en el fondo. En el sitio con perturbación ligera, se registraron los valores más bajos en la concentración de sodio, con un intervalo de 92.0 mg/L en el fondo y 108.1 mg/L en superficie. El sitio con dragado reciente en Santiago Sipigio, registró valores de 186.3 mg/L en la superficie y de 181.7 mg/L en el fondo. Finalmente, en Erongarícuaro el sitio en reposo hubo valores similares ente la superficie y el fondo de 179.4 mg/L y 171.1 mg/L respectivamente (tabla 9).

Con relación a la concentración de potasio los valores fueron similares entre las estaciones con variaciones desde el registro menor de 22.23 mg/L en la zona limnética en superficie, hasta 57 mg/l en la muestra de superficie del sitio con perturbación reciente por dragado, oscilando los valores alrededor de los 45 mg/L de manera general en las muestras.

RESULTADOS

Tabla 9. CONCENTRACIÓN DE IONES EN mg/L (ANÁLISIS ÚNICO) POR MUESTRA					
Limnética superficie	Calcio	13.6	Pert. reciente superficie	Calcio	16
	Sodio	190.9		Sodio	186.3
	Potasio	22.23		Potasio	57.72
Limnética media	Calcio	16	Pert. reciente fondo	Calcio	16.8
	Sodio	181.7		Sodio	181.7
	Potasio	44.07		Potasio	45.63
Limnética fondo	Calcio	14.4	Reposo superficie	Calcio	16
	Sodio	188.6		Sodio	179.4
	Potasio	53.43		Potasio	44.07
Pert. ligera superficie	Calcio	12.8	Reposo fondo	Calcio	16.8
	Sodio	108.1		Sodio	177.1
	Potasio	45.24		Potasio	46.41
Pert. ligera fondo	Calcio	12			
	Sodio	92			
	Potasio	27.69			

RESULTADOS

La concentración de Oxígeno disuelto presentó una variación tanto espacial como temporal. Los valores mínimos se registraron en el orden de los 2.23 mg/L en la muestra de fondo en el sitio con perturbación ligera cercano a las Islas de Urandén. Durante el mes de noviembre, los registros fueron de 2.52 y 2.73 mg/L para esta misma estación de muestreo. En el sitio con perturbación reciente en Santiago Sipigio, se obtuvieron valores mínimos de 2.73 mg/L durante el mes de noviembre tanto de superficie como en fondo y de 2.73 mg/L en la muestra de superficie durante el mes de mayo. Los registros de valores máximos se ubicaron en la zona limnética durante el mes de julio con 9.8 mg/L en la superficie, en el mes de julio, con 7.091 mg/L de OD en superficie en el mes de noviembre en esta misma estación (Tabla 10 y figura 29).

RESULTADOS

Tabla 10. VALORES EN LA CONCENTRACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO (mg/L) POR ESTACIÓN

ESTACIONES /MESES	JUL	AGO	SEP	NOV	DIC	MAY
Limnética superficie	9.60	5.67	5.37	7.09	4.66	3.39
Limnética media	6.13	4.98	5.06	6.08	5.06	3.44
Limnética fondo	5.87	4.86	5.37	6.08	4.99	3.39
Perurbación ligera superficie	6.20	5.67	2.73	2.52	4.32	2.48
Perturbación ligera fondo	4.57	3.24	3.04	2.73	3.14	2.23
Perturb. reciente superficie	4.57	3.24	3.04	2.73	3.14	2.23
Perturbación reciente fondo	6.38	3.6	4.66	4.41	5.32	2.73
Reposo superficie	6.28	5.39	5.06	8.10	5.67	3.39
Reposo fondo	4.78	4.05	5.37	6.48	5.88	3.04

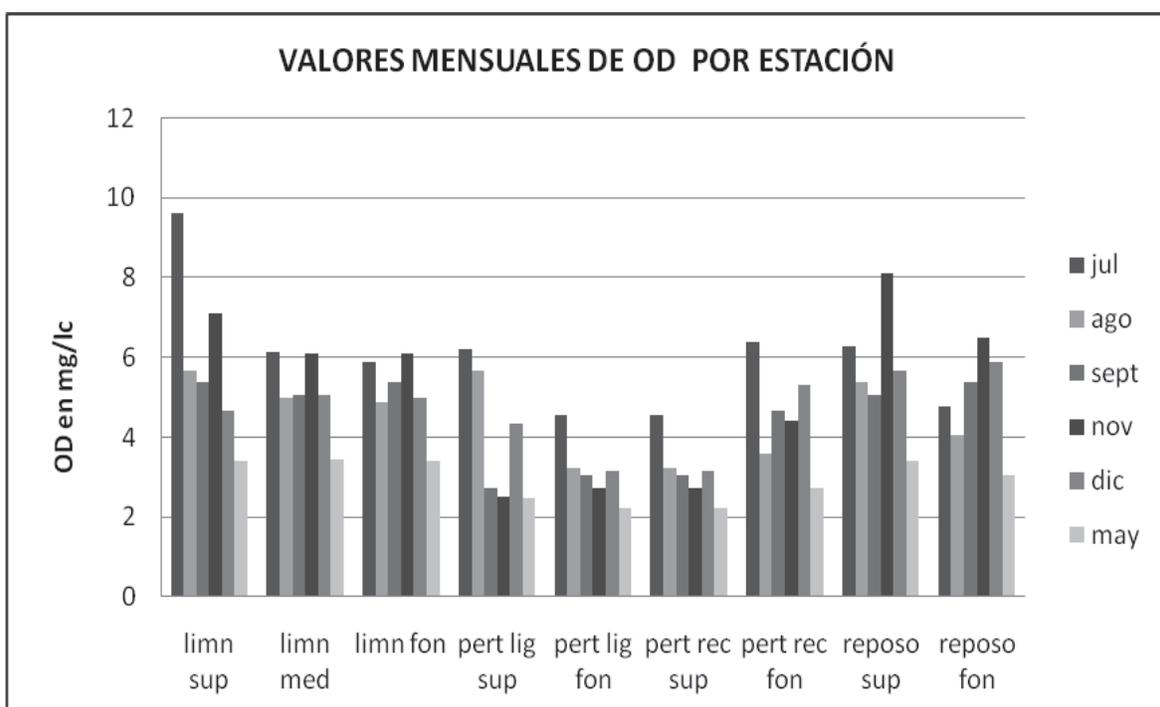


Figura 29. Valores mensuales de Oxígeno disuelto (mg/L) por estrato muestreado en cada estación

RESULTADOS

Los resultados obtenidos para alcalinidad, sugieren condiciones similares para los sitios de la zona limnética, con dragado reciente y en reposo, similar a los resultados de potencial de Hidrógeno, con una condición alcalina del agua del lago.

Los valores más altos de alcalinidad en unidades de carbonato de Calcio (a la fenolftaleína CaCO_3) registrados, fueron de 47.6 mg/L en promedio para la superficie del sitio en reposo, cercano a Erongarícuaro y de 46.23 mg/L en la superficie de la zona limnética. Valores promedio inferiores, correspondieron a Santiago, el sitio recién dragado con 35.26 mg/L. Valores significativamente inferiores se registraron en el canal, sitio con perturbación ligera, registrando 11.33 mg/L promedio en la superficie y 9.16 mg/L en el fondo (Tabla 11). La alcalinidad total, manifestó un comportamiento similar.

RESULTADOS

Tabla 11. PROMEDIOS MENSUALES DE ALCALINIDAD EN LAS CUATRO ESTACIONES DE MUESTREO EN mg/L				
MES DE COLECTA /ESTACIONES	Zona Limnética	Sitio con perturbación ligera	Sitio con perturbación reciente	Sitio en reposo
Julio alcalinidad CaCO ₃ (fenolftaleína)	47.3	14.5	42.7	44.3
Julio alcalinidad total HCO ₃	282.4	22	170.4	179.7
Agosto alcalinidad CaCO ₃ (fenolftaleína)	44.66	21.5	25	39.5
Agosto alcalinidad total HCO ₃	286.8	221	334	305.5
Septiembre alcalinidad CaCO ₃ (fenolftaleína)	44.3	0	22.5	42
Septiembre alcalinidad total HCO ₃	279.3	127.9	260.35	276.7
Noviembre alcalinidad CaCO ₃ (fenolftaleína)	55	10	42	63
Noviembre alcalinidad total HCO ₃	257.2	241.05	236.7	235.25
Diciembre alcalinidad CaCO ₃ (fenolftaleína)	34	10.5	35	41
Diciembre alcalinidad total HCO ₃	279.6	222.6	268.1	259.3
Mayo alcalinidad CaCO ₃ (fenolftaleína)	36.3	6.5	40.5	42
Mayo alcalinidad total HCO ₃	305.3	246.9	288	285.1

RESULTADOS

Los valores de dureza del agua obtenidos sugieren un tipo de agua con límites de clasificación como muy dura, para la zona limnética y el sitio en reposo cercano a Erongarícuaro. Los valores variaron en un intervalo de 189.3 mg/L y 187.66 mg/L de dureza total en superficie y fondo fueron detectados en Erongarícuaro y valores ligeramente menores se obtuvieron la zona limnética, con 183.0 y 182.3 mg/L en promedio en superficie y fondo.

En los sitios sometidos a la acción de dragado la condición de la dureza, observa valores menores. Particularmente, en el sitio dragado recientemente, los valores fueron de 176.66 mg/L y de 174 mg/L en superficie y fondo respectivamente. En la estación con perturbación ligera, se registraron los valores menores de 117.4 mg/L y 110 mg/L (ver fig. 30) referidas como aguas moderadamente duras de acuerdo con la escala estándar (Lind, 1985).

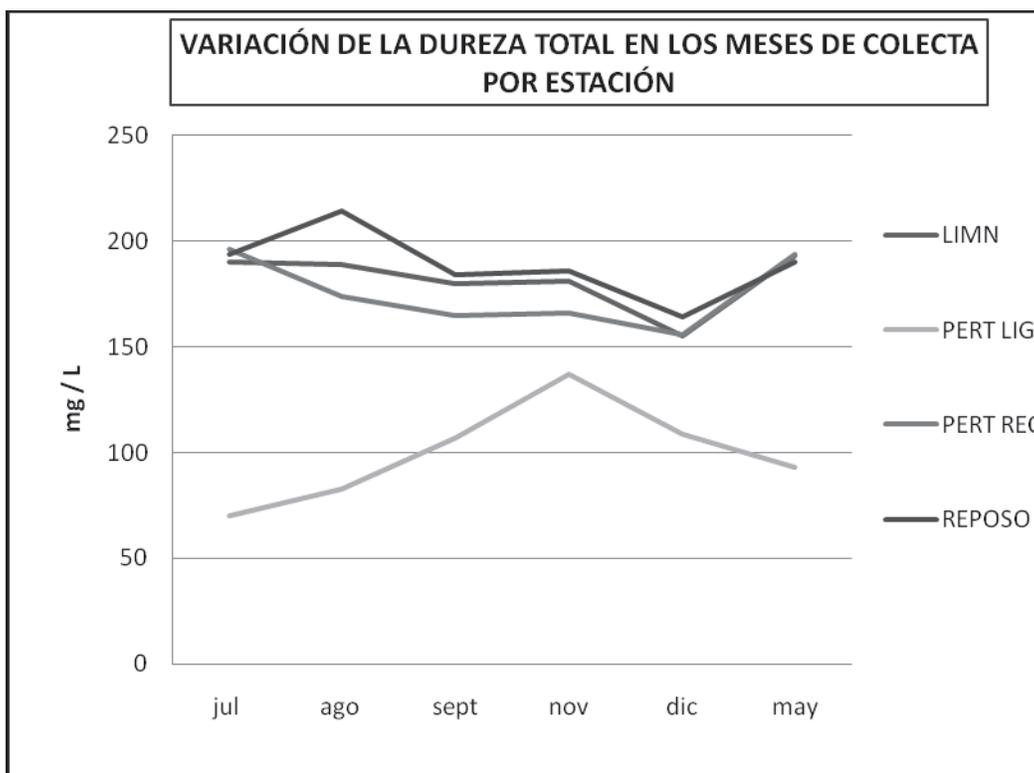


Fig.30 Valores promedio de dureza total en las estaciones registradas durante el análisis de los meses de colecta.

RESULTADOS

En los análisis de dureza por calcio y magnesio, de manera general, la dureza se debió en mayor medida a la presencia del magnesio y en menor proporción a concentraciones de calcio. Una situación inversa, se registró en el mes de julio en la muestra de superficie en el sitio con perturbación ligera de las Islas de Urandén, en la que el Calcio se detectó en una concentración de 10.4 mg/L en tanto el Magnesio registró una concentración similar ligeramente inferior de 8.35 mg/l (Tabla 12).

En las estaciones de la zona limnética y del sitio en reposo, se observaron valores similares en la concentración de calcio, en un intervalo de 15.23 mg/L y 20.84 mg/L respectivamente. En lo referente al magnesio, la variación se presentó entre los 23.31 mg/L y los 38.36 mg/L. En la estación con dragado reciente, particularmente, la dinámica de la concentración de estos iones fue similar a las estaciones descritas anteriormente. Los valores de calcio fluctuaron entre 16.03 mg/L y 20.04 mg/L; en tanto el magnesio se presentó entre 26.23 mg/L y 37.89 mg/L. Esta relación fue una similar durante el mes de mayo, después de diez meses de actividades de dragado (tabla 12).

RESULTADOS

Tabla 12. ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD DUREZA POR Ca Y Mg EN LAS ESTACIONES						
ESTACIONES /MES	JUL	AGO	SEPT	NOV	DIC	MAY
Limnética						
Dureza Ca mg/l	17.76	15.22	20.31	18.16	20.3	17.63
Dureza Mg mg/l	35.7	36.59	31.81	33.68	24.28	36.45
Perturbación ligera						
Dureza Ca mg/l	10.82	16.03	16.33	18.83	16.03	16.03
Dureza Mg mg/l	13.14	28.18	16.08	21.86	16.51	21.16
Perturbación reciente						
Dureza Ca mg/l	16.83	18.43	19.64	20.04	18.03	21.44
Dureza Mg mg/l	37.41	31.09	23.17	28.17	27.2	33.98
Reposo						
Dureza Ca mg/l	17.63	19.93	19.64	16.83	18.04	19.64
Dureza Mg mg/l	36.44	34.66	31.6	35.22	28.9	34.23

RESULTADOS

Como se puede apreciar en los resultados del análisis de fósforo total en las cuatro estaciones, las concentraciones más bajas con promedios de 200.0 µg/L y 250.0 µg/L, se registraron en la zona limnética y en el sitio en reposo, respectivamente. En el sitio con perturbación ligera el valor promedio de fósforo total fue de 300.0 µg/L, en tanto que el mayor valor promedio se registró en el sitio con dragado reciente, alcanzando 350 µg/L. De manera similar, los valores más bajos de concentración de ortofosfato, correspondieron a las estaciones menos perturbada y sin alteración mecánica por dragado con 150.0 µg/L y 165.0 µg/L. Concentraciones mayores se registraron en los sitios más perturbados con 200.0 y 235.0 µg/L respectivamente (en la tabla 13 se presentan los valores de la mediana que permiten una apreciación más precisa de los registros encontrados).

La concentración de nitratos se presentó en valores de la mediana que fueron similares en la zona limnética y en reposo de 0.0045 mg/L y 0.0055 mg/L a 0.0059 mg/L respectivamente. Una concentración de 0.0042 mg/L a 0.0051 mg/L se registraron como mediana en el sitio dragado recientemente. La concentración más alta se registró en el sitio con perturbación ligera constante, con un valor de entre 0.0057 mg/L a 0.010 mg/L.

En el análisis de los nitritos se observó un comportamiento similar al de los otros nutrientes, los sitios con los valores más bajos fueron detectados en aquellas zonas no perturbadas con un intervalo de valores de 0.0049 mg/L y 0.0051 mg/L. y hasta 0.0059 mg/L en la estación en reposo. En tanto que los sitios con mayor acción de dragado, registraron concentraciones de 0.00766 mg/L hasta 0.0086 en el sitio más perturbado recientemente y de 0.008 en la estación con perturbación ligera constante.

Con relación a los valores de amonio encontrados, en la zona limnética se registró el promedio más bajo 0.412 mg/L. El sitio considerado en reposo, alcanzó un promedio de 0.517 mg/L, mientras que los valores más altos se encontraron en las estaciones con mayor perturbación, en el sitio con perturbación reciente el registro fue de 0.627 mg/L y en el área con perturbación ligera fue de 0.702 mg/L.

RESULTADOS

Tabla 13. VALORES DE LA MEDIANA DE LOS ANÁLISIS DE FÓSFORO Y NITRÓGENO EN LAS MUESTRAS DE AGUA (6 MESES DE COLECTA)

PARAMETROS / ESTACIONES	limn sup	limn med	limn fondo	pert lig sup	pert lig fon	pert rec sup	pert rec fon	reposito sup	reposito fon
Fósforo total µg/L	192.08 5	177.52 5	213.75	337.05	320.33	288.88	354.45	236.09	261.56
Ortofostfatos µg/L	130.94 5	142.91 0	154.09	224.38	205.91	234.53 5	249.12	158.74	198.34
Nitratos mg/L	0.0046 1	0.0056	0.0057	0.0101	0.0086	0.0043	0.0051	0.0055	0.0059
Nitritos mg/L	0.0049 6	0.0054	0.006	0.0081	0.008	0.0077	0.0086	0.0056	0.0063

VIII DISCUSION

8.1 EFECTO DEL DRAGADO EN LA CALIDAD DE SEDIMENTOS Y AGUA

Uno de los objetivos principales de este trabajo fue evaluar la calidad fisicoquímica de sedimentos y de agua. La operación de los equipos, la draga, la versidraga, el despalotizador y el aquadozer generan un volumen importante de materia vegetal fina y una significativa concentración de sólidos de origen terrígeno y biológico que ocasionan una perturbación derivada de éste proceso mecánico del dragado.

Relacionado con estos efectos, Hakanson & Jansson (2002) han estudiado que el movimiento horizontal de los sólidos suspendidos es hasta 10 veces mayor que el movimiento vertical. Solamente tras un largo periodo de reposo, la sedimentación ocurre y la turbidez, consecuentemente disminuye dejando de ocasionar impacto por las diferentes formas de relación con otros parámetros (Bray, 2008).

En éste lago, además de la resuspensión de partículas por el dragado, en algunos sitios, se hacen labores de mantenimiento que incluyen corte y extracción de vegetación. El análisis de textura demostró que en la zona limnética, que es un sitio nunca sometido al dragado, hay un porcentaje más alto de arcillas con respecto de los sitios con perturbación (tabla 2, 13% en comparación con valores alrededor de 4%). Estas arcillas fácilmente se integran a la columna de agua con las operaciones de la draga, el despalotizador y el trabajo mecánico del resto de los equipos, ocasionando la menor visibilidad encontrada en los sitios perturbados, sobre todo en aquellos con perturbación reciente (0.30 cm de visibilidad en zona limnética, alrededor de 0.12 m en sitios dragados Tabla 5).

Este fenómeno también se asocia a que los contenidos de nutrimentos y materia orgánica de los sedimentos se ven liberados en la columna de agua como lo demostraron los niveles más altos de fósforo total, ortofosfatos, nitritos y nitratos

encontrados en sitios perturbados en comparación con la zona limnética y el sitio en reposo. El análisis de sólidos en la columna de agua, también denota que hay una mayor cantidad de terrígenos en los sitios perturbados. Este mismo evento se refiere en otros lagos en donde se ha implementado el dragado para diferentes fines y que comprobaron que los nutrientes son liberados a la columna de agua y que el rompimiento de la estructura de la comunidad bentónica provoca la acumulación de materia orgánica, procesos de fermentación y descomposición y baja en la concentración de OD, disminución en la tasa de fotosíntesis por una menor penetración de la luz e incluso, bioacumulación de metales pesados (Royet, P. En: Fora, 1995; Van Der Westhuizen, en Fora, 1995; Armengol, 1998; Brengtsson *et. al.* 1975, En: Zarull, Hartig & Lisa, 1999 Zarull, Hartig, & Lisa, 1999; Ruley & Rusch, 2002; Zabaleta y Bremer, 2006; Bray, 2008).

En otros estudios llevados a cabo en este lago, en las inmediaciones de los sitios considerados en esta investigación, incluidos el sitio con perturbación ligera constante y la zona limnética y el sitio en reposo, se reportan algunos parámetros o comportamientos similares de las estaciones como se observa en la tabla 14.

DISCUSIÓN

Tabla 14. VALORES PROMEDIO, MÍNIMOS O MÁXIMOS DE ESTUDIOS EN EL LAGO DE PATZCUARO						
VARIABLES/ ESTUDIOS	*1 prom 1993	*2 mín/máx 1985	*3 mín/máx 2006	*4 mín/máx 2007	*5 mín/máx 2009	6* proms 2010
Visibilidad m	0.29 - 0.50	0.30 -1.8	0.13 a 0.52	0.10 a 0.39		0.15 - 0.25
Sólid. suspen mg/L	21.1		33 – 243	18.33 - 35.26	5 - 48.56	28.5 - 98.5
Ph	9.3	8.1 - 8.5	8.1 - 8.9	8.5 - 9.25	6.74 - 8.69	8.4 - 9.25
Alcal fenolft mg/L	118.6		8.6 - 12.1		0 - 14.25	10.45 - 44.5
Alcalin total mg/L	390.7	270 – 420			149 - 365	195 - 372
Dureza total mg/L	125.6	130 – 170	120- 214		82 - 226	113 – 189
Dureza Ca mg/L			13 - 24		14 – 46	14.25 - 18.83
Dureza Mg mg/L					11 - 27	18.22 - 34.85
Cond eléc µS/cm	820		263 - 917	738 - 820	330 - 755	610 – 1050
OD mg/L	7.1	0.6 - 7.2		8.34 - 9.25	1.88 - 11.0	3.09 - 5.53
Fósforo total µg/L	64.4	50 – 300	60 - 324	42 - 71	114 - 454	162 – 602.5
Ortofosfatos µg/L	39.2		5 - 34	29 - 52	17 - 239	35.4 - 234.5
Amonio mg/L	0.022			0.072 - 0.112	0.06 - 0.4	0.49 - 0.798
Nitritos mg/L	0.018			0.1 - 0.3	0.003 - 0.21	0.0049 - 0.0086
Nitratos mg/L	0.012			0.87 - 1.32	0.59 - 1.87	0.0046 - 0.10

*1 Chacón, 1993. Estudio realizado considerando diversos sitios en el lago, se presentan valores promedio.

*2 Rosas et al., 1985. Estudio realizado en sitios en seno sur y la zona limnética para determinar microorganismos relacionados con la contaminación.

*3 Alcocer & Bernal-Brooks, 2006. Estudio realizado considerando zona limnética y litoral sur

*4 Ayala, 2007. Estudio realizado en los humedales del litoral sur, considerando humedal natural y humedal manejado

*5 Chacón et al 2009. Estudio realizado considerando varias zonas incluidas, el seno norte, zona limnética y el litoral del sur en las inmediaciones de Urandén.

*6 Presente estudio

De manera similar a éste estudio según las referencias, la alcalinidad aumentó en la zona limnética y disminuyó hacia el seno sur al igual que la conductividad eléctrica. Los valores más altos de alcalinidad en unidades de carbonato de Calcio (a la fenolftaleína CaCO_3) registrados fueron de 47.6 mg/L en promedio para la superficie de Erongarícuaro y de 46.23 mg/L en la superficie de la zona limnética. Valores promedio inferiores, correspondieron a Santiago, el sitio recién dragado con 35.26 mg/L. Valores significativamente inferiores se registraron en el canal, sitio con perturbación ligera, registrando 11.33 mg/L promedio en la superficie y 9.16 mg/L en el fondo (Tabla 11). La alcalinidad total, manifestó un comportamiento similar.

En estudios como el llevado a cabo en 2009 (Chacón, et al), se refiere que los nutrientes son más altos en la zona del litoral sur en general variando un poco entre los sitios colectados y menores en la zona limnética.

Comportamiento similar se encontró en los resultados de éste estudio, la conductividad eléctrica fue menor en el sitio cercano al canal de la reserva del pez blanco en Urandenes en el área que en este estudio se consideró el sitio con perturbación ligera constante. De igual forma en el sitio recién dragado, se midieron valores ligeramente menores de conductividad eléctrica en comparación con valores más altos registrados en la zona limnética y el sitio en reposo (Tabla 8).

Se hace especial apreciación al hecho de que el comportamiento de las variables consideradas en esta investigación si denotan que el proceso de dragado impacta la calidad del agua de manera negativa, en la concentración de nutrientes como las formas de fósforo y nitrógeno monitoreadas, especialmente la concentración de amonio. La materia orgánica también se midió en una mayor proporción en los sitios con mayor perturbación, tanto en sedimentos como en la columna de agua.

En las cuatro estaciones de muestreo se encontraron diferencias en la conductividad eléctrica, transparencia, análisis de sólidos, pH y nutrientes incluso

algunas diferencias menores entre dureza y análisis de sales. De manera general, los sitios no perturbados como la zona de aguas abiertas del sitio en reposo y la Zona limnética se comportaron de manera similar. Los sitios dragados, a diferentes temporalidades con relación a la fecha de colectas de este estudio, se comportaron de manera diferente de los anteriores; pero así mismo disímiles entre sí. Los sitios con perturbación ligera y con dragado reciente, fueron coincidentes en los análisis de transparencia, sólidos y nutrientes, principalmente, resaltando que el canal de la reserva en su caracterización si presenta condiciones muy particulares que lo definen por estar en un sitio reacondicionado de una zona antes pantanosa y prácticamente desecada o por estar muy cercano a una isla poblada y con escasa profundidad (1 m) que es la fuente de una alteración antropogénica pero sobre todo por la presencia de 3 manantiales en la zona. Por comparación, el sitio de la zona limnética también cercano a un desarrollo rural en la isla Tecuena y cercano a un manantial, en un área con profundidades de hasta cuatro metros ubicado en aguas abiertas no en litoral.

Comparando los resultados de ésta investigación con otros estudios previos se puede referir que al igual que en los resultados reportados por Alcocer y Bernal-Brooks (2006) se puede observar claramente que el lago es heterogéneo en las condiciones ambientales y su caracterización fisicoquímica pese a la escasa profundidad en varios de los sitios sobretodo los litorales de la región suroeste y a su condición meromíctica, la temperatura es un parámetro poco variable debido a la constante recirculación del agua.

Como se ha indicado a partir de varios documentos consultados, la remoción y disturbación de los sedimentos provoca la liberación de fósforo resultando en un contaminante orgánico por su exceso, así como, la falta de vegetación, significa deficiencia de organismos que consuman nutrientes, y, finalmente, no se encuentran sedimentos estructurados que sean medios para bacterias anaerobias que transformen los nitratos en formas inertes. Este mismo rompimiento de la

estructura de sedimentos, es un y falta de medio de anclaje para las plantas. Incluso los altos registros de amonio en estos sitios vienen resultando en una menor concentración de formas oxidadas de nitrógeno como son los nitritos y nitratos.

La liberación paulatina de nutrientes al agua principalmente a partir de las arcillas, se relaciona con que, en referencia al fósforo, éste tiene un potencial de fuerte impacto en la calidad del agua. Cuando está presente en concentraciones mayores, provoca la proliferación de algas. La liberación del fósforo está relacionada con varios factores como pH, temperatura, abundancia de oxígeno, hierro y materia orgánica. Más allá de estos, la disturbación de las partículas de sedimento por tormentas o más aún por dragado, impulsan su rápida liberación (Alcocer et al., 1988; Armengol, 1998; Ruley & Rusch, 2002, Bray, 2007).

Debido a que en el lago de Pátzcuaro no se ha hecho una evaluación del dragado, tomando en cuenta las referencias de este proceso en otros lagos, se han observado y registrado datos con referencia al aumento de algunas concentraciones de nutrientes ocasionadas por la resuspensión de sólidos, como se indicó en párrafos anteriores. Relacionado con éstos cambios, la concentración de oxígeno disuelto registrada, de igual forma que las referencias bibliográficas, disminuyó en los sitios recién dragados, fenómeno que puede estar ocasionado por dos factores principales. Por una parte, el aumento de materia orgánica libre y su proceso fermentativo que puede abatir el oxígeno disponible. Por otra parte, la disminución en la penetración de la luz, relacionada con la escasa visibilidad encontrada en los sitios dragados, que resultaría en una tasa fotosintética inferior. Particularmente en Pátzcuaro, el proceso de dragado y las operaciones relacionadas como el corte de vegetación y su cosecha, provocan un disturbio por el rompimiento de la estructura del suelo provocada por el desenraizamiento y el dragado mismo. El manejo de los lodos a través de los succionadores, su deposición en bordos a la orilla del lago y la cosecha de vegetales cortados,

provocan resuspensión de partículas, aumento de turbidez y de materia orgánica libre. Estos mismos procesos se refieren como de efecto negativo en otros estudios (Van Der Westhuizen, en Fora, 1995; Armengol, 1998; Brengtsson *et. al.* 1975, *En*: Zarull, Hartig & Lisa, 1999 Zarull, Hartig, & Lisa, 1999; Ruley & Rusch, 2002; Zabaleta y Bremer, 2006; Bray, 2008).

Uno de los efectos positivos del dragado, que se pueden relacionar con la apertura de los manantiales y la entrada constante de agua limpia de los tres manantiales de la zona de perturbación ligera constante, es el hecho de que algunas concentraciones pueden diluirse con la entrada de estas fuentes de agua limpia. Los valores de sodio encontrados en este sitio, son menores así como la conductividad eléctrica. Sin embargo, la concentración de fósforo y amonio no logran la dilución y mantienen valores más altos, presumiblemente relacionados con su liberación a partir de los sedimentos y en particular, con referencia al amonio, afectado por la baja de oxígeno disuelto y la baja tasa de sedimentación que se provoca por el mantenimiento constante.

Particularmente, en el sitio que se consideró de perturbación ligera constante, hay navegación y desmalezado continuo con dragados ocasionales ya que la población ubicada en las islas de los Urandenes, necesita de la navegación libre en el canal que escasamente alcanza un metro de profundidad. Por tanto este es un sitio que entra en periodos muy cortos de reposo y la sedimentación no se logra, sabiendo que hay partículas finas como lo muestran los análisis de textura de éste y otros estudios y por la misma condición meromítica del lago (Chacón, 1993; Alcocer-Durand & Bernal-Brooks, 2006, Ayala, 2007), el proceso de sedimentación se dificulta y la turbidez se mantiene alta.

El material vegetal así como los sedimentos extraídos, invariablemente se colocan cercanos a la orilla, protegidos contra el retorno por medio de bordos que se

construyen con los mismos materiales extraídos en el lugar y acomodados con los equipos complementarios a la draga.

En general, las concentraciones más altas de sólidos en la columna de agua, en las estaciones se encontraron en los meses de lluvia y disminuyeron en diciembre, mayo y el inicio de la temporada lluviosa en julio de 2009 (ver fig. 25). La afectación directa del dragado pudo apreciarse claramente ya que en los sitios con perturbación por dragado, las concentraciones de sólidos suspendidos fueron mayores. Al considerar los promedios encontrados en este estudio comparado con los registros en otras investigaciones, de igual manera se aprecia que las concentraciones registradas en los sitios dragados, es mayor que las concentraciones promedio encontradas en zona limnética y aún en humedales en esas investigaciones anteriores. Si se considera la totalidad de los registros de sólidos, las concentraciones de sólidos totales alcanzaron valores de hasta 1,940 mg/L y hasta de 2,550 mg/L en la zona de dragado reciente, concentración más alta que en las diversas estaciones de muestreo. Los valores mayores se registraron en los meses de máxima lluvia, septiembre y octubre.

No fue objeto de ésta investigación el analizar el impacto de los sólidos suspendidos en la ictiofauna del lago. Los únicos registros encontrados son los reportados por Corona (2003) quien al trabajar con la exposición de larvas a diferentes concentraciones de sólidos (25-50-100-150 y 200 mg/L de sólidos suspendidos tomados de muestras de sedimento del lago) reporta que no aparentan efecto alguno las concentraciones trabajadas ya que la mortalidad registrada en los alevines cultivados no se debió a la mayor concentración sino a otras causas que no se determinaron con claridad. Particularmente los registros encontrados en este estudio, son de hasta 128 mg/L, 286 mg/L y aún 389mg/L, de valores promedio en los sitios dragados, que están por arriba de los considerados en los ensayos de Corona (2003).

Newcombe (1994) por su parte, en el análisis comparativo del efecto de sólidos suspendidos en peces, como resultante de un análisis de 140 referencias y de 1200 datos tratados estadísticamente mediante un análisis de correlación, reporta que, atherinidos marinos expuestos a 58 mg/L / 24 h, presentaron una mortalidad del 10 % de la población. Incluso, poblaciones de zooplancton sometidas a 100 mg/L por 24 h, presentaron importante afectación de la dinámica poblacional concluyendo que las altas concentraciones de sólidos suspendidos afectan a las poblaciones bentónicas e incluso planctónicas además de la fauna íctica en los diferentes estadios de desarrollo. Se concluyó a partir del análisis integral de la serie de experiencias que el efecto letal o negativo en embriones, larvas y adultos de diferentes especies, depende de la susceptibilidad de cada una se da un comportamiento diferente de tal forma que hay especies más o menos tolerantes a la concentración de sólidos. Así mismo hay diferencias de vulnerabilidad en los diferentes estadios de desarrollo de cada una de ellas.

8.2 ANÁLISIS DEL EFECTO MECÁNICO DEL PROCESO DE DRAGADO

Antes del dragado, el desmalezado es por medio del despalotizador que puede hacer cortes de vegetación hasta de 1.20 m de profundidad mismos que afectan la estructura y el desenraizamiento mismo de la vegetación acuática altera el fondo. Las dragas y versidragas por su propia operación provocan la resuspensión de partículas finas con los efectos subsecuentes ya referidos de los compuestos que se encuentran concentrados o incluso retenidos en las arcillas. Otra de las desventajas es que al resuspenderse las partículas y entrar en contacto con el agua o con oxígeno, pueden incluso formar otros compuestos diferentes e indeseables (Hearn, Flanders & Phillips, 2002; United States Environmental Protection Agency & Us Army Corps of Engineers, 2004; Bray, 2008).

Se ha referido en diversos estudios de dragado, que el manejo de los sedimentos es parte importante y complementaria del proceso de extracción de desazolve de los lagos ya que las reacciones que ocurren en estos, según su composición química, representa un riesgo de toxicidad y otros efectos indeseables no solo en la calidad del agua sino en el impacto sobre el ambiente (Hearn, Flanders & Phillips, 2002; United States Environmental Protection Agency & Us Army Corps of Engineers, 2004; Bray, 2008).

Según las referencias bibliográficas encontradas, particularmente en Pátzcuaro no se han hecho los estudios completos necesarios sobre los sedimentos extraídos o sobre el manejo óptimo de los mismos. Aún más, se refiere que parte de las maniobras incluye el manejo de vasos filtrantes, que, son depósitos dentro del lago mismo (Comisión de Dragado del Lago de Pátzcuaro, 2009). Con referencia a éste proceso se ha expuesto en otras investigaciones que cuando el área de descarga es construida parcial o totalmente en el agua, generalmente recibe las descargas de material en el depósito preparado hasta el nivel más alto sobre el nivel del agua y las escorrentías tienen diferentes cursos. El material que se coloca en el área de descarga, se inunda o se satura. Cuando termina el llenado, la superficie se empieza a deshidratar y ocurre en las capas inferiores que hay inmovilidad de los de los contaminantes. El agua fluye hacia abajo con lixiviados y hacia arriba y hacia la superficie de drenaje de la escorrentía incluso hacia los lados ocurre una infiltración a través del dique. El material que se deseca por evapotranspiración se vuelve un medio aerobio y oxidado que libera y moviliza ciertos componentes, entre ellos los contaminantes.

Cercano al Muelle General principal ubicado en la ciudad de Pátzcuaro, se acondiciono un vaso filtrante que tiene un área aproximada de 20 ha de dimensión. Es una zona reacondicionada, rodeada por un canal perimetral, elevada sobre el espejo de agua mediante la construcción de un bordo hecho con vegetación y sedimentos extraídos. El vaso ha sido rellenado por etapas de

trabajo y actualmente se encuentra casi lleno hasta su capacidad en un 90% aproximadamente.

Por otro parte, el manejo de los sedimentos en las cercanías de la orilla se hace mediante la construcción de bordos. Ambos procesos promueven que los lixiviados se incorporen al lago de manera rápida y continua. Si bien, estas prácticas de manejo están permitidas como parte de los procesos de dragado y son técnicas de disposición de residuos empleadas en otros países, se aclara que deben ser empleadas solo después de haber hecho un estudio minucioso de la caracterización fisicoquímica de los sedimentos y sus efectos potenciales en la calidad del agua además de la evaluación de su impacto en el ambiente.

Durante el proceso de descarga y llenado de la zona de confinamiento, los complejos orgánicos se descomponen. Los compuestos sulfatados se oxidan hasta formar sales de sulfato. Las transformaciones químicas pueden liberar tanto a complejos metálicos contaminantes hacia los poros de agua como los lixiviados de diversa composición. Además, de esta forma, las plantas y animales que habitan en las zonas de descarga pueden absorber los contaminantes e incluirlos en la cadena alimenticia.

Dependiendo del tipo de contaminantes, estos pueden traspasarse de sedimentos en tierra al aire, de sedimentos al agua o del agua al aire. El fondo en el área de descarga permanece saturada y anaerobia lo cual provoca insolubilidad de contaminantes y su atracción hacia las partículas de suelo. El mayor riesgo es que los contaminantes y lixiviados al liberarse, ejerzan un mayor impacto contaminante en el agua y en los mismos lodos cuyo uso quedará restringido para algunas de las actividades a partir de ellos como sería la producción agrícola (United States Environmental Protection Agency & Us Army Corps of Engineers, 2004).

Los efluentes de la descarga pueden contener contaminantes ya sea disueltos o asociados a las partículas. Una de las intenciones principales es medir la cantidad de contaminantes que pueden ser liberados y su grado relativo de liberación en masa (United States Environmental Protection Agency & Us Army Corps of Engineers, 2004). En el caso de las partículas de sedimentos en el lago, se encontró una concentración de arcillas, de 13.86 y 8% en la zona limnética, en tanto que en los sitios dragados, el porcentaje de arcillas fue menor debido al rompimiento de la estructura de suelo y como era de esperarse, las finas partículas permanecen en suspensión, con la subsecuente liberación de los compuestos que logran retener. Aunque se desconoce la presencia y posible concentración de contaminantes y metales pesados en general en el lago, o en los sedimentos que no fueron objeto de estudio de este trabajo.

Debido al elevado arrastre de sedimentos que se ha dado en el Lago de Pátzcuaro desde hace ya varios años, y que se ha calculado en 3.0 y hasta 50 t/ha anuales (Gómez-Tagle, 1994; Comisión de Dragado del Lago de Pátzcuaro, 2009), el azolvamiento es un problema muy fuerte que está rellenando la cubeta lacustre aceleradamente. Más aún se refiere en un documento reciente que la erosión es de 2.76 y 432.00 t ha⁻¹ año⁻¹, siendo de 5.0 t ha⁻¹ año⁻¹ la máxima permisible como efecto normal de la erosión natural (Gómez-Tagle, Chávez, Gómez-Tagle, & Zepeda, 2009).

Al respecto, uno de los principales objetivos del programa de dragado ha sido el desazolve para la apertura y mantenimiento de canales para navegación. Este proceso ha tratado también de solventar la problemática generada en relación con la disminución de la zona limnética y la baja producción pesquera que enfrentan las comunidades ribereñas quienes por esta causa, han visto mermada su economía.

La erosión elevada es el resultado de la deforestación, la ganadería extensiva, el uso de agroquímicos y prácticas agrícolas inadecuadas, entre otros factores (Gómez-Tagle, Chávez, Gómez-Tagle, & Zepeda, 2009), eventos que pudieron observarse en las colectas de campo. El uso de agroquímicos es una fuente importante de nutrientes que son arrastrados hacia el cuerpo de agua.

8.3 ASPECTOS LEGALES

Es muy probable que incluso de existir una legalidad en cuanto a los problemas que genera el proceso de dragado, se cuestionaría la manera, sobretodo, del manejo de los sedimentos dragados que están teniendo necesariamente un efecto tanto en agua como en suelo y en el ecosistema general de la ribera del lago, al manejarse dentro del cuerpo de agua o en la cercanía de la orilla.

En las leyes Mexicanas, la **NMX-AA-119-SCFI-2006**, bajo vigilancia de la SEMARNAT, aclara que esta es una ley voluntaria y solo se refiere a las operaciones de acondicionamiento que establece los requisitos y criterios de protección ambiental para selección del sitio, diseño, construcción y operación de marinas turísticas.

Y cita *“La presente norma mexicana incluye medidas ambientales para las actividades de las marinas turísticas en México en materia de selección de sitio, diseño, construcción y operación, basadas en buenas prácticas de manejo ecológico de las marinas”*.

La aplicación de la presente Norma permite diseñar, promover y desarrollar voluntariamente una serie de acciones que facilitan y hacen más eficiente el desempeño ambiental de las actividades de las marinas y estandariza su calidad de servicio, desarrollo y aplicación”

En las definiciones, en el inciso 3.5 dice que el dragado no se llevará a cabo en una profundidad mayor a la profundidad natural autorizada. En relación con el

apartado 4, de las Disposiciones específicas, en el inciso 4.1.3 se hace referencia a que si en el área del proyecto existen especies listadas en la NOM-059-SEMARNAT-2001, Protección ambiental, Especies nativas de México de flora y fauna silvestres. Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio. Lista de especies en riesgo, se debe establecer una estrategia de rescate y reubicación, según sus características, funciones ambientales y la especificidad de su hábitat, a excepción de lo dispuesto en el numeral anterior.

Además señala en el inciso 4.1.4, que se debe considerar una ubicación de la marina que minimice el azolve de manera que se reduzcan los dragados de mantenimiento. Indicando, en incisos posteriores, que antes del dragado se contará con los listados de flora y fauna que pueden afectarse y que el dragado no se llevará a cabo en temporadas que afecten la población de aves migrantes. Se debe contar con un plano de ubicación del proyecto de la obra de dragado y el manejo de maquinaria contemplando el suministro de combustible, aceite y el manejo de la maquinaria a fin de evitar la contaminación asociada a estos eventos.

Aún más, en el apartado 4.3 sobre la Construcción, aclara que con el fin de evitar la dispersión de los sedimentos, se deben tomar medidas y realizar acciones tendientes a la prevención y mitigación de la afectación de la resuspensión del material y su afectación al ecosistema. En el inciso 4.3.2 se refiere a la disposición del material dragado en sitios apropiados según su naturaleza y considerando la normatividad que le aplica. En el inciso 4.3.1.2, con relación a las medidas de prevención, menciona la utilización de mallas geosintéticas para prevenir la dispersión de sedimentos (SEMARNAT:, 2006).

No obstante las restricciones mencionadas que se refieren en ésta Norma, en particular para este tipo de acciones, no hay leyes vigentes que regulen los procesos o sancionen los impactos negativos en relación con el dragado en lagos o ríos. Debe considerarse, de manera relevante, que en Pátzcuaro hay especies

protegidas, en peligro de extinción, endemismos de alto valor ecológico y económico además de aves migrantes.

De acuerdo con la Ley Orgánica de la Función Pública, cuya última reforma se publicó en 2003, en el Artículo 32 Bis. (Capítulo II del Título segundo) se indica que a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, le corresponde el despacho de asuntos que se encuentran relacionados con: Fomentar la protección, restauración y conservación de los ecosistemas y recursos naturales y bienes y servicios ambientales, con el fin de propiciar su aprovechamiento y desarrollo sustentable, señalado en la fracción I.

En la fracción II se señala que la Secretaría debe Formular y conducir la política nacional en materia de recursos naturales, siempre que no estén encomendados expresamente a otra dependencia; así como en materia de ecología, saneamiento ambiental, agua, regulación ambiental del desarrollo urbano y de la actividad pesquera, con la participación que corresponda a otras dependencias y entidades.

La fracción XI hace referencia a la facultad de Evaluar y dictaminar las manifestaciones de impacto ambiental de proyectos de desarrollo que le presenten los sectores público, social y privado; resolver sobre los estudios de riesgo ambiental, así como sobre los programas para la prevención de accidentes con incidencia ecológica.

En la fracción XVII se señala que la Secretaría debe Promover la participación social y de la comunidad científica en la formulación, aplicación y vigilancia de la política ambiental, y concertar acciones e inversiones con los sectores social y privado para la protección y restauración del ambiente.

En relación con la fracción XXI, le compete Dirigir los estudios, trabajos y servicios meteorológicos, climatológicos, hidrológicos y geohidrológicos, así como el sistema meteorológico nacional, y participar en los convenios internacionales sobre la materia En estrecha relación con esta fracción, en la correspondiente

fracción número XXIII, se señala que debe Organizar, dirigir y reglamentar los trabajos de hidrología en cuencas, cauces y álveos de aguas nacionales, tanto superficiales como subterráneos, conforme a la ley de la materia.

De acuerdo con la Ley de Navegación y Comercio Marítimos (2006), según el artículo 41, fracción E, los navieros extranjeros de dragado, necesitaran un permiso para trabajar en tanto que la fracción II, C, señala que los navieros mexicanos de dragado no necesitaran del permiso

En la propuesta para incluir en la Norma Oficial Mexicana de Marinas y Puertos Turísticos, resultado del taller de trabajo convocado por la SEMARNAT (Consultores de Educación, 2003) se propone en la sección 3.2.2 de Procesos, sistemas, información e infraestructura en el apartado 3.2.2.7 que la Norma deberá considerar que: El dragado para la construcción de infraestructura no deberá afectar los ecosistemas frágiles o protegidos; además prever medidas para la dispersión de contaminantes ya sea por medios naturales o artificiales.

Considerando éstas disposiciones y la gran inferencia de organizaciones civiles, dependencias y cuerpos de investigación científica, en Pátzcuaro están dadas las condiciones para estructurar e implementar proyectos integrales que fomenten un verdadero desarrollo y proyectos remediales que permitan mejorar la dinámica del ecosistema acuático. El dragado en si mismo no es ventajoso para mejorar la calidad del agua en Pátzcuaro en donde se ha referido el desarrollo de un proceso de eutrofización al menos en una amplia área del seno sur que es el sitio principal donde se aplica mente el programa de dragado (Rosas et al, 1985; Chacón, 1993; Alcocer-Durand y Bernal-Brooks, 2006; Ayala, 2007; Chacón et al 2007, presente estudio)

Particularmente en Pátzcuaro, como se refiere en la ficha técnica de la inscripción del Humedal Sur en los sitios RAMSAR (Ficha Técnica, en Ayala, 2007), las especies de achoque y acúmara se encuentran en peligro ya que sus poblaciones han disminuido considerablemente. Es sabido también que las poblaciones de pez

blanco, charales (*Menidia spp.*) también enfrentan conflictos poblacionales y disminución en las tallas de captura al igual que las dos especies de godeidos que habitan en este lago. Sin que se encuentren las referencias acerca de estudios llevadas a cabo en estas especies.

8.4 IMPORTANCIA DEL SISTEMA DE HUMEDAL Y LA VEGETACIÓN EN LA CALIDAD DEL AGUA

Tal como refieren los sitios RAMSAR de acuerdo con la ficha técnica del Humedal del seno sur del lago de Pátzcuaro (en Ayala, 2007), estos ecosistemas son muy importantes en el mundo no solamente porque son sitio de anidación y refugio de diversas especies acuáticas, aves y otra fauna asociada, sino también por el beneficio que revisten en relación con la calidad del agua al hacer una dinámica muy eficiente en el proceso de retención de sólidos y control de las concentraciones de nutrientes orgánicos en los ecosistemas lacustres sobretodo cuando estos enfrentan problemas de eutrofización.

El ecosistema del humedal contribuye a mejorar la calidad del agua por su relación con la dinámica de los nutrientes. Se reporta que en relación con el nitrógeno y el fósforo, estos componentes son absorbidos tanto por los microorganismos como por la vegetación y son incorporados en compuestos orgánicos. El nitrógeno en superficie es reducido a sus formas gaseosas (NO , N_2O , N_2) y liberado a la atmósfera por el proceso de denitrificación que llevan a cabo las bacterias. El fósforo puede desarrollar una serie de reacciones químicas con hierro (Fe), aluminio (Al) y calcio (Ca) dependiendo del pH del agua, la disponibilidad de sitios de absorción, el potencial redox, entre otros factores. Estas reacciones biogeoquímicas son importantes al evaluar la calidad del agua en relación con los nutrientes y la condición trófica. Los humedales también son una fuente de carbono orgánico para el ecosistema acuático (EPA, 2006).

Considerar estas funciones y propiedades del ecosistema de humedal es muy importante si se consideran las elevadas concentraciones de amonio que se registraron sobretodo en los sitios dragados y desmalezados en comparación con la zona limnética y la zona de aguas libres del sitio en reposo de Erongarícuaro, en donde se apreció el desarrollo algal.

La dinámica poblacional de la vegetación de acuerdo con su importancia, puede ser manejada de forma que provoque mayores beneficios como subecosistema en el lago, que tratar de controlarla a través de su extracción. Se considera que parte de las medidas necesarias, sería disminuir la incorporación de nutrientes, por parte de las descargas urbanas y el arrastre de excedentes de agroquímicos de cultivos agrícolas. Para el control de agroquímicos que pueden representar la fuente principal de fósforo y nitrógeno, la ley debiera prohibir su uso en la agricultura de la ribera como ya se indicó (apoyándose en la literatura consultada Hearn, Flanders, & Phillips, 2002, Bray, 2008). Si el arrastre de sólidos y la afluencia de nutrientes disminuyen, la vegetación, llegará a un estado también de equilibrio aportando los beneficios que reviste para el sistema lacustre y que se señalaron en párrafos anteriores.

En el estudio de casos en los que se han tomado medidas que permiten disminuir el acarreo de sólidos hacia el lago o bien, el manejo de descargas residuales a través de plantas de tratamiento, la reducción de la incorporación de nutrientes, y de terrígenos, se relaciona con avances significativos mayores, que el manejo de dragado como medida remedial (Alcocer, Kato, Robles, & Vilaclara, 1988, Canali, en Fora, 1995).

En algunos otras investigaciones sobre la aplicación del dragado para el control de la vegetación se observó el mismo caso, la eliminación de la vegetación no contribuye a que se establezcan los ciclos biogeoquímicos por medio de los cuales los nutrientes, al incorporarse en las plantas, son controlados en concentraciones

adecuadas en el medio. Las bacterias y otras formas de vida contribuyen a que los nutrientes se mantengan en formas no tóxicas o inertes que no dañan la calidad de agua (Tema: control de potamogetón por medio del dragado, Tobiessen, Swart, & Benjamin, 1992, Tema: el establecimiento de la bióta acuática, permite resolver varios problemas persistentes de forma sostenible, Van Der Westhuizen; Tema: dinámica poblacional de algas y macrófitas en relación con la disponibilidad de nutrientes, Ruley & Rusch, 2002; citados en Fora, 1995).

De acuerdo con las experiencias concentradas en el reporte de taller de Manejo de Sedimentos y Dragado en lagos (Hearn, Flanders, & Phillips, 2002), se hace notar que las operaciones de dragado y la deposición de sedimentos pueden dañar los hábitats en suelos cercanos a los lagos y en el interior de los mismos. Los sedimentos firmes y estructurados sirven de anclaje y para el desarrollo de las plantas. Muchos procesos dependen de las plantas que son las que mantienen la dinámica del suelo y el agua. En tanto, los sedimentos sueltos, amorfos y regularmente perturbados, no proveen de un medio adecuado para el desarrollo de ésta biota.

Se reporta que los sedimentos de las orillas de las zonas litorales de los lagos, soportan el 90 % de la biodiversidad del ecosistema acuático (Hearn, Flanders, & Phillips, 2002). Esta es una zona particularmente importante para protección, sobretodo cuando hay pendientes en un perfil. Hacen una orilla de pendiente suave que protege los bancos de la orilla. El lecho de juncos, los pastizales húmedos y los hábitats que se desarrollan ahí, llegan a ser más importantes que la zona limnética misma para la mantener la calidad del agua.

Particularmente en estudios llevados a cabo en los humedales de Pátzcuaro, se argumenta que el lago esta en continúa recirculación, como refieren los diversos estudios sobre la hidrodinámica de éste cuerpo de agua. Ciertamente los manantiales son afluentes de agua de buena calidad sin embargo, las arcillas de los suelos de andosol de origen volcánico son naturalmente ricas en fósforo

(Ayala, 2007). Esta condición aunada a la erosión, permite que estos sedimentos sean arrastrados fácilmente a través de las escorrentías, con un aporte natural significativo de fósforo aún si no se considerará el ingreso continuo de aguas residuales.

Se señala que la hidrodinámica del humedal es baja de forma que las corrientes de viento y el movimiento del agua es por un bajo oleaje lo cual permite la sedimentación aún de las partículas finas de sedimento como limos y arcillas. A pesar de que los valores de nutrientes señalan un estado eutrófico, se observó a lo largo del año de estudio, una recuperación y una dinámica que mantiene bajos los niveles de nitrógeno y fósforo en la columna de agua, lo cual mejora su calidad.

Se reconoce que el dragado y desmalezado permiten aumentar la profundidad hasta en 3 metros de profundidad, incrementando también el flujo de aporte de agua de los manantiales cuando estos existen. La hidrodinámica del ambiente se modifica, al eliminar la vegetación los vientos se asocian a un mayor flujo de agua (Ayala, 2008) y también a una dinámica en la que la menor fricción del oleaje en contacto con la vegetación y los sedimentos en zonas de menor profundidad, permite que la energía del ecosistema fluya más libremente (Bray, 2008). Las concentraciones de nutrientes al igual disminuyen incluso en mayor porcentaje que en el humedal natural.

Se argumenta también que los sedimentos son el sustrato para las bacterias anaerobias que transforman los nitratos en formas inertes en ausencia de oxígeno lo cual es característico de la dinámica de los sedimentos. De esta forma no hay excesos contaminantes de nitrato en el agua. Se considera por lo tanto que los sedimentos son amortiguadores y denitrificadores del agua. Además de que también ocurren otras y variadas reacciones químicas benéficas (Hearn, Flanders, & Phillips, 2002).

Hace falta reconocer que el dragado tiene un fuerte impacto sobre la evidencia arqueológica y paleoambiental (Hearn et al., 2002), para considerar soluciones alternativas. Tal como se ha reportado por varios autores, el lago de Pátzcuaro ha estado sujeto a variables climáticas y eventos meteorológicos cíclicos en los que los niveles se han recuperado y las condiciones fisicoquímicas son variables en relación con estos eventos (Chacón. 1993; Bernal-Brooks 2006; Gómez-Tagle, & Alcocer-Durand, 2006). Particularmente, a partir de las observaciones de campo durante las colectas se pudo constatar que efectivamente el nivel del agua varía hasta por aproximadamente 30 cm, que fue la variación apreciada en relación con el nivel en la formación rocosa del manatíal interno en la estación 1.

IX. CONCLUSIONES Y APORTACIONES

9.1 CONCLUSIONES

Directamente relacionados con el dragado, tres aspectos principales están impactando la calidad de los sedimentos y el agua del lago. Uno es el proceso mecánico y su efecto, los otros derivan de éste, la resuspensión de materiales y los cambios que se derivan en la dinámica del sistema en relación con la menor visibilidad, disminución de la concentración de oxígeno incremento en la concentración de materia orgánica y nutrimentos debido a su liberación.

A partir de los resultados del trabajo de 40 años de los programas de dragado, desmalezado y cosecha de maleza en el lago, los avances relacionados con la recuperación de la profundidad, no han sido de gran alcance. Diversas áreas desazolvadas en el primer canal perimetral hecho hace aproximadamente 12 años ubicado entre Pátzcuaro y Erongarícuaro, han sido nuevamente rellenas por azolve o se han convertido en parte del humedal. En las inmediaciones de los Urandenes, la vegetación es abundante, no ha podido ser controlada de forma que a ésta área se le da mantenimiento constante. Como refiere el expediente técnico de la Comisión de dragado (2008), la inversión en la compra de equipos y manejo del programa ha sido millonaria reflejando resultados de corto avance ya que este proceso solo es una medida emergente que no soluciona a largo plazo el grave azolvamiento que sufre el lago dados los volúmenes de arrastre de sólidos que se reportan en diversos estudios debido a la grave erosión y la falta de planeación en el manejo de la cuenca.

En atención al objetivo de éste estudio, se advierte que de manera general, no se refleja un beneficio en la calidad del agua en sitios dragados como se comprueba en los resultados de los análisis practicados tanto en los parámetros físicos como en los químicos. De manera relevante, se hace notar la concentración de sólidos en la columna de agua que ocasiona escasa visibilidad y como se ha discutido,

tiene fuertes implicaciones en la calidad del agua a la vez que desencadena otra serie de factores relacionados.

Con las partículas finas de arcilla resuspendidas, la liberación de nutrimentos, como el fósforo y el nitrógeno se encontraron en mayor concentración en los sitios más perturbados recientemente por dragado, en el presente estudio. Existen altas concentraciones de amonio y fósforo en estos sitios, la visibilidad es escasa y las concentraciones de oxígeno disuelto, de manera consecuente, disminuyen al igual que se alteran otras variables físico químicas que se reportan en resultados y que dan una idea clara del proceso acelerado de deterioro y salinización del lago coincidente con los reportes de otros estudios (Chacón, 1993; Chacón, 2005; Alcocer y Bernal-Brooks, 2006, Ayala, 2007, Chacón et al, 2008, presente estudio). Se considera muy importante que se estructure e implemente un programa completo de manejo del dragado en el Lago de Pátzcuaro

El dragado es una medida emergente que permite combatir la pérdida de profundidad del litoral, mantener la navegación y permite la recuperación de la capacidad de almacenamiento o volumen de agua. En una medida rápida que al recuperar la profundidad favorece la hidrodinámica del lago. Como proceso controlado el dragado puede permitir mayores beneficios si se planean las acciones de manera pertinente. Es un proceso que permite la entrada de flujos de agua limpia que diluye las altas concentraciones de nutrimentos u otros elementos. Cuando se opera en el desbloqueo de la afluencia de manantiales como se demostró en la mejoría de la calidad de agua del sitio considerado con perturbación ligera constante en las inmediaciones de las islas de los Urandenes en donde tres manantiales desbloqueados surten de agua limpia al lago y a la gente de la comunidad.

Un evento muy importante es que el dragado propicia la recuperación de zonas económicas. Evento relevante si se considera que el lago de Pátzcuaro ha sido sustento económico de numerosas comunidades ribereñas de pescadores. Además, de no ser por los trabajos de dragado, su valor como atractivo turístico

también hubiera disminuido al continuar desapareciendo las islas debido a que la navegación en lancha es uno de los atractivos principales en el cuerpo de agua.

Con relación a la vegetación ribereña y el humedal, se advierte que la fauna asociada ha sido afectada en su entorno y que la presencia de vegetación ha sido vista más bien por la obstaculización de navegación que representa y no ha sido valorada por su función como hábitat, como barrera contra el arrastre de sedimentos y como parte del valioso ecosistema de humedal que tiene la capacidad de intercambio catiónico o de sistema purificador de agua contaminada como lo han propuesto diversos investigadores (Ayala, 2008; IMTA, 2009), aún para establecer programas de apoyo para recuperación de suelos, manejo de aguas residuales comunales y apoyo para combatir la contaminación del lago

Finalmente, una repercusión benéfica es el combate de la pérdida de profundidad que se ha podido observar en los sitios dragados. Como ejemplo actual es el reciente trabajo en la zona de Ihuatzio mediante el desazolve del canal de navegación perimetral en el que se está operando. De no ser por la implementación de este proyecto de dragado, esta zona ya se hubiera empantanado y sería un área más de humedal con gran pérdida de aguas abiertas y ampliación del litoral somero. Esta condición provoca que al haber disminución en la profundidad, se facilite la evaporación de un volumen mayor de agua, haya estancamiento hidráulico, mayor colonización vegetal y el consecuente bloqueo de vías de navegación, entre otros factores que se encuentran interrelacionados.

9.2 APORTACIONES

La caracterización especial de cada orilla o sitio del lago en que se quiere trabajar, debe ser estudiada en su totalidad y en su individualidad. Es decir que la proyección de actividades para el programa de dragado, no puede ser aplicada indiscriminadamente en cualquier sitio del lago debido a las condiciones diversas de vegetación, vientos, cercanía con sitios poblacionales o terrenos de cultivo y

otras actividades antropogénicas, grado de erosión y tipo de suelo de las zonas de influencia, entre otros factores.

Es necesaria la implementación de un proyecto adecuado en el que haya un manejo efectivo que impida la lixiviación de materiales tóxicos, sobre todo en el seno sur, que de acuerdo con las experiencias de esta y otras investigaciones, se considera una zona con mayor impacto y menor calidad de agua (como se describió en la discusión) .

Pese a las experiencias y al vasto estudio limnológico, de pesquerías, entre otros campos de investigación en Pátzcuaro, no se ha evaluado hasta donde ha impactado este programa a lo largo de más de 40 años de aplicación. Se deben tomar las medidas necesarias para el manejo de la cuenca que es un proceso que si vendría a resolver de manera más efectiva el azolvamiento, la pérdida de profundidad y el deterioro acelerado de la calidad del agua. Se deben manejar adecuadamente los afluentes urbanos y de aguas residuales en general, para disminuir la carga de nutrientes que se han convertido en contaminación orgánica debido a las concentraciones en las que se encuentran.

El manejo de los sedimentos extraídos es insuficiente hasta este punto del trabajo con el dragado por lo que los sedimentos deben valorarse evaluando su composición química y su potencial uso en otras obras o actividades relacionadas con el beneficio de sus propiedades fisicoquímicas de modo que sean efectivamente utilizados y retirados de las orillas del lago.

Gracias a la experiencia que se tiene con el manejo de dragado en lagos, Canadienses y de Estados Unidos (Hearn, Flanders, & Phillips, 2002; United States Environmental Protection Agency & Us Army Corps of Engineers, 2004). parte importante de la Evaluación inicial de la contaminación de sedimentos es el estudio de algunos factores como los siguientes:

- Rutas potenciales por medio de las cuales los sedimentos pueden ser introducidos a otros procesos.

- Datos previos sobre la caracterización química de los sedimentos y otras pruebas del material o de otros materiales similares procedentes de la vecindad del sitio, que pueden ser empleados como punto de comparación apropiadamente.
- Probabilidades de encontrar fuentes de contaminación urbana o agrícola por escorrentías
- Derrames de contaminantes en el área a ser dragada
- Descarga de aguas residuales urbanas o industriales (pasadas o presentes)
- Fuente y uso preferente de los materiales dragados
- Depósitos naturales sustanciales de minerales y otras sustancias

En algunos países, las especificaciones para la deposición de los sedimentos se establecen en guías en las que se especifican las directrices de una revisión secuencial del proyecto propuesto. El primer paso es evitar el impacto adverso al medio acuático. A través de la aplicación de alternativas prácticas con las cuales se busca un menor impacto al ambiente. Incluyendo el análisis de impactos potenciales en las características físicas y químicas y los impactos biológicos en el ecosistema acuático, los efectos potenciales en cada área y los efectos en la actividad humana.

El mismo proceso al aplicarse debe considerando que puede provocar un impacto negativo mayor al beneficio que se pretende. Frecuentemente se hacen modelos para predecir el comportamiento del material durante el dragado y después de su deposición en el sitio, con estos estudios y su monitoreo, se hace una larga lista de experiencias que contribuyen a las proyecciones de manejo (Hearn, Flanders, & Phillips, 2002).

En el caso del estudio de la caracterización de aguas abiertas (Hearn, Flanders, & Phillips, 2002) se recomienda considerar una serie de factores antes de iniciar con el trabajo del dragado, relacionados en la siguiente lista:

- a) Corrientes y variación climática
- b) Profundidad del agua y batimetría

- c) Cambios potenciales en los patrones de circulación relacionados con la refracción y el oleaje próximo al sitio del montículo de depósito
- d) Características de los sedimentos del fondo incluyendo las diferencias en el tamaño de las partículas sedimentadas
- e) Deposición de sedimentos contra erosión
- f) Patrones de distribución de temperatura y salinidad
- g) Niveles normales y fluctuaciones de la turbidez del fondo
- h) Caracterización química y biológica del sitio y los alrededores (ej. Abundancia relativa de una diversidad de hábitats en la vecindad, adaptabilidad relativa del bentos a la deposición de sedimentos, presencia de vegetación acuática sumergida, presencia de poblaciones únicas, raras o amenazadas o aisladas, entre los más importantes).
- i) Potencial de recolonización del sitio
- j) Operaciones previas para eliminación de desechos
- k) Disponibilidad de del equipo adecuado en el sitio para el manejo de lodos
- l) Disponibilidad para monitoreo del sitio para el manejo de la toma de decisiones
- m) Capacidad técnica para implementar opciones de manejo que puedan surgir como opciones de aplicación
- n) Habilidad para manejar la disposición del material dragado
- o) capacidad de almacenaje (volumen) del sitio
- p) Otros usos del sitio y potencial de conflictos en relación con otras actividades (ej. actividades deportivas, pesquerías comerciales, navegación u otros)
- q) Manejo del sitio establecido y requerimientos de monitoreo
- r) Aceptación regulatoria y pública de uso del sitio

Revisando detenidamente estos factores y considerando los eventos de desarrollo de aplicación del programa de dragado en estos años, los vasos filtrantes que han sido parte del manejo de sedimentos no parece ser un manejo apropiado por ser una cuenca cerrada.

Para una implementación benéfica del dragado, se considera que una de las condiciones es que haya una entrada de un flujo de agua limpia proveniente de manantiales que puedan ser destaponados por el desmalezado y el mismo dragado y que la vegetación prevalezca en sitios específicos en la frontera terrestre para lograr los mejores beneficios. Al respecto se aclara que, para la eliminación del fósforo y nitrógeno disueltos en el agua principalmente, hay dos elementos fundamentales que son: vegetación y sedimentos, ambos parte componente del humedal. Así mismo, estos elementos generan un ambiente propicio para la acción de bacterias y otros microorganismos asociados a las raíces que interactúan sobre el detritus y que a su vez, las raíces mismas pueden propiciar la incorporación de oxígeno en los sedimentos (Ayala, 2008).

Considerando resultados anteriores y comparándolos con los resultados obtenidos en esta investigación, es importante observar que cuando la vegetación es eliminada del todo, no se cuenta con las condiciones necesarias para que los niveles de nutrientes disminuyan. De forma que el dragado será necesario para el mantenimiento de los humedales siempre y cuando se conserva la vegetación en franjas amplias para que se obtengan los beneficios del alto valor que representan los humedales y la presencia de vegetación que además, a través de la retención, transformación y remoción de sedimentos, nutrientes y contaminantes, cumplen un papel fundamental en los ciclos de la materia y en la calidad (Hearn, Flanders, & Phillips, 2002; Ayala, 2008; IMTA, 2008).

Las necesidades relacionadas con el crecimiento poblacional y la disminución de actividad pesquera, crean la necesidad de una mayor explotación de la cuenca que por lo tanto debe planificarse. Tal como se ha señalado, la actividad agrícola se ha incrementado hasta alcanzar el 40.80% de las 93,434.31 ha de la cuenca. Para uso forestal se refieren 29.98% , para uso de matorral y ganadería 14.70% en tanto que el uso para zonas habitacionales y el área del lago, abarcan un 14.52%. Resaltando que la agricultura y la

ganadería son prácticas de fuerte impacto cuyo manejo debe reorientarse hacia la práctica de sistemas agroecológicos de menor impacto ambiental.

Se debe prohibir el uso de agroquímicos ya que son fácilmente arrastrados al lago con las escorrentías, favorecido por los suelos erosionados por el viento, la falta de cobertura vegetal, la erosión pluvial y el rompimiento de la estructura del suelo por la acción mecánica de los animales de crianza. En tanto estas actividades no se regulen, a través de los planes de desarrollo gubernamentales, el problema no será resuelto y el dragado provocará los efectos adversos de la liberación de nutrientes por la resuspensión y oxigenación de las arcillas con el riesgo de que si existen metales pesados también estos puedan ser liberados.

En el caso de la disposición de materiales en diques a la orilla del lago, se deben considerar también una serie de factores que se encuentran relacionados con el manejo de los sedimentos y la dinámica de su transformación en los sitios de confinamiento. Se ha propuesto una serie de factores entre los cuales algunos de importancia relacionados con la situación en el lago son los siguientes:

- Capacidad volumétrica del sitio de confinamiento para retener el material dragado durante el periodo de vida del trabajo
- Configuración del sitio y acceso
- Proximidad con áreas ecológicas sensibles
- Topografía para medir el potencial de cambios de por la elevación en los patrones de las escorrentías y el drenaje adyacente
- Capacidad del material dragado para eventos de deshidratación y oxidación
- Niveles de agua subterránea, flujo y dirección, impacto potencial de la descarga y recarga de las aguas subterráneas
- Meteorología y clima
- Potencial de lateración de los hábitats existentes

- Potencial de impacto de de los efluentes, lixiviados, y escorrentías superficiales que impacten el suelo y los recursos del agua superficial
- Potencial directo de movilización de contaminantes y su inclusión en la cadena alimenticia
- Receptores subterráneos potenciales

Es necesario evaluar los impactos físicos potenciales directos. Se refieren a los cambios debidos a la construcción de diques o áreas de confinamiento, que provocan a su vez la alteración del hábitat, cambios en las condiciones hidrológicas y en los patrones de circulación, y la recarga de aguas subterráneas, evaluación del impacto en la navegación y en la sociocultura (Hearn, Flanders, & Phillips, 2002, Bray, 2008).

Estos manejos pueden se a través de sitios de deposito de materiales dragados que adicionalmente cuenten con filtros de piedra clasificada y arenas o sedimentos limpios que permitan el manejo de los lixiviados y evitar que el agua de la escorrentía de los sedimentos extraídos, llegue directamente al lago. El proyecto también implicaría que los sedimentos una vez deshidratados, pudieran transportarse hacia otros sitios, con la finalidad de darles un uso adecuado y benéfico de acuerdo con sus propiedades fisicoquímicas, en labores agrícolas, para relleno de terrenos para edificación, en humedales, entre otras actividades con el beneficio de impedir que sean arrastradas nuevamente al agua.

En cuanto a los equipos de dragado, las desmalezadoras o despaltizadoras, se propone que sean usados de manera conveniente según la estación o temporada del año, debido a las implicaciones señaladas con respecto al corte de vegetación. Evaluar adecuadamente el mayor beneficio al ambiente, ya que la vegetación tiene un alto valor ecológico y de depuración en la zona litoral del ecosistema, además de la biodiversidad y dinámica que soporta. Como se señalo en la discusión es importante evaluar, si los cortes y la eliminación de la vegetación representan un mayor beneficio o si su permanencia contribuye

para que se desarrollen mejores condiciones en la calidad de agua por la importancia cada vez más reconocida que se confiere a los humedales en su dinámica y aporte al amortiguamiento de los contaminantes orgánicos e incluso inorgánicos.

Finalmente, como se ha señalado por varios autores y considerando los casos de éxito del lago Trummen en Suiza, el lago Itaipú en Brasil (en Forstner, 1995) y algunos lagos de España, lo que es urgente y necesario es el trabajo efectivo en el manejo de la cuenca. Son indispensables las acciones de trabajos colaborativos con miembros de la comunidad que contribuyan a un mejor manejo de sus actividades productivas y las actividades de bioremediación y de restauración de hábitat (Bray, 2007). Se deben implementar proyectos de sistemas agrosilvopastoriles o agrosilvícolas con manejo y control biológico de plagas, prohibiendo del todo el uso de agroquímicos y pesticidas en las zonas propicias de acuerdo con un estudio de manejo integral de producción, de acuerdo con las técnicas recomendadas por Gómez-Tagle (Gómez-Tagle, Chávez, Gómez-Tagle, & Zepeda, 2009) en las que se refieren varias prácticas benéficas en la restauración y manejo de la cuenca del lago de Pátzcuaro, de acuerdo con las características del potencial del tipo de suelo encontrado.

Es urgente detener el arrastre de sólidos. Si no se organiza el manejo integral de cuenca y se evitan las descargas de aguas contaminadas y los grandes volúmenes de sedimentos arrastrados, las dragas no podrán solucionar el fuerte azolvamiento del lago.

Con referencia a las medidas de mitigación y compensación, Bray (2007), se debe considerar que los efectos adversos del proyecto de dragado tiene un potencial de afectaciones ambientales adversas:

- La alteración de la hidrodinámica del sitio y los cambios consecuentes en la erosión y los patrones de acumulación
- El ruido del equipo de dragado y su efecto en la comunidad local

- Los efectos temporales de la disposición de material dragado en el sitio de recuperación
- Pérdida del hábitat disponible en el área de dragado o en el sitio de recuperación.

Algunas de las alternativas para evitar el impacto negativo del dragado y de los sedimentos extraídos consiste en:

- Impedir que se origine el problema: Emplear equipos adecuados que minimicen el flujo de sedimentos a través de las máquinas de extracción y solo hacer el dragado en la estación pertinente.
- Reducir la generación: Implementando dispositivos para disminuir el ruido producido por las máquinas o bien emplear succionadores especiales que reduzcan la generación de fluidos.
- Se puede hacer un dique temporal que prevenga el retorno de aguas turbias del sitio. Después de un tiempo, el dique se remueve cuando el material suspendido se asienta.
- Compensación en especie: Cuando un sitio es alterado fuertemente y el hábitat es destruido, el material retirado u otro material puede ser empleado para recrear un hábitat en otra área del sitio. Sin embargo este tipo de medidas suele representar un incremento en los costos de operación.

Solo las medidas de utilizar los equipos de la manera más adecuada y en la estación del año de manera conveniente para evitar los excesos de escorrentías y flujos de aguas turbias, en la mayor medida. Además como ya se señaló, valorar el recurso de la vegetación por sus propiedades en relación con la calidad de agua.

En el estudio de casos en los que se han tomado medidas que permiten disminuir el acarreo de sólidos hacia el lago o bien, el manejo de descargas residuales a través de plantas de tratamiento, la reducción de la incorporación de nutrientes, y de terrígenos, se relaciona con avances significativos mayores, que el manejo de

dragado como medida remedial (Alcocer, Kato, Robles, & Vilaclara, 1988, Canali, en Fora, 1995

En el lago hay una comunidad efectivamente asociada a la vegetación del litoral, aves, anfibios, es albergue de crías de peces, y refugio de varias especies más, varias de ellas en peligro de extinción.

En caso de que el dragado sea una medida necesaria de tomar, se argumenta que el proceso debe considerar:

- Dejar una franja de vegetación litoral cerca del banco en proporción significativa.
- Asegurarse de formar una orilla degradada en el banco y evitar el corte abrupto
- Dejar franjas sin dragado para que los propágulos de la plantas puedan recolonizar rápidamente.
- Reconocer los mejores método y tiempo para hacer el proceso.

A partir de la observación y del registro de datos reportados en el informe técnico, es necesario resaltar que el programa de dragado implica fuertes gastos de manejo, mantenimiento de maquinaria, combustible y otros gastos implícitos. El movimiento o traslado de sedimentos hacia otras zonas de descarga o depósito o bien su utilización en terrenos agrícolas o para relleno de sitios para construcción (Hearn, Flanders, & Phillips, 2002; Ochoa, 2004, United States Environmental Protection Agency & Us Army Corps of Engineers, 2004, Bray, 2008), solo podrán llevarse a cabo si estos usos potenciales pueden costear los gastos de traslado y si los análisis fisicoquímicos y de metales pesados permiten proyectar el manejo de sedimentos extraídos.

Se deben evaluar las acciones de manejo del impacto físico y la capacidad de almacenamiento medidas de control de contaminantes, para los sitios de descarga. El material dragado posee de un 10 a un 50 % de sólidos, una de las

medidas iniciales consiste en dejar deshidratar los lodos para poder transportarlos a una reubicación o para que el volumen disminuya y no se ocupe un espacio adicional de almacén.

Se sugiere considerar un tratamiento de los efluentes para remover los sólidos adicionales y reducir la turbidez de la descarga. Implementar un área de disposición para el manejo de reuso del material para usos diversos usos benéficos para restaurar la capacidad de almacenaje del sitio de descarga. Medidas de mitigación para la creación de un hábitat alternativo y el manejo de recursos designados para el sitio. Modificación del sitio con la detección de viabilidad de paisajismo y de estética improvisada para proteger los recursos culturales.

Para el tratamiento de estos materiales sólidos, se han propuesto diversos tratamientos. Entre ellos están diversas medidas que recaen en las siguientes categorías: bioremediación con el uso de bacterias, hongos o enzimas para romper las estructuras orgánicas; tratamientos químicos como la oxidación, reducción, quelación, hidrólisis, detoxificación, procesos de tiorización y sustitución nucleofílica. Procesos de extracción para remover contaminantes por dilución en fluidos.

En el caso de los problemas con la infiltración algunos de los tratamientos utilizados que resultan ser efectivos, es la implementación de una cubierta para reducir los lixiviados al impedir la infiltración de lluvia, el aislamiento de la bioturbación e incorporación en plantas y animales, minimizar la volatilización de contaminantes de la superficie y eliminar el transporte de contaminantes por lluvia o escorrentía. Una capa de material limpio y compactado puede utilizarse para tener los beneficios señalados. Sin embargo estas medidas son difíciles de implementar.

El costo de los tratamientos alternativos, en relación al costo del tratamiento convencional puede tomarse como una restricción mayor. Una de las mejores acciones debe ser el implementar un tratamiento para lograr la inmovilización de los contaminantes como lixiviados, por filtración de agua de lluvia o esorrentías (Hearn, Flanders, & Phillips, 2002) e incluir a la comunidad y a los actores sociales relacionados en un desarrollo articulado que solvete los problemas del propio desarrollo sustentable de la cuenca.

X. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ALCOCER, J., KATO, E., ROBLES, E., & VILACLARA, G. (1988). *Estudio preliminar del efecto del drenaje sobre el estado trófico del Lago Viejo de Chapultepec*. Recuperado el 28 de marzo de 2010, de Revista Internacional de Contaminación Ambiental. UNNAM, Méx.año/vol. 4, No. 001: rvp@atmosfera.unam.mx
- APHA. (1999). *Standar Methods for the examination of water and wastewater*. Washington DC: American Public Health Association, 19th edition.
- Arango, V. (2007). *Escuela de Ingeniería de Antioquía. Laboratorio de suelos*. Recuperado el marzo de 2009, de http://ingenieria.udea.edu.co/programas/civil/links/.../ICL_314_Suelos.doc
- Bernal-Brooks, F., Gómez-Tagle, R., & Alcocer-Durand, J. (2006). *Lake Patzcuaro (Mexico): A controversy about the ecosystem water regime approached by field references climatic variables and GIS*. México: Tesis Doctoral Bernal-Brooks, F.W. UNAM.
- Bischoff, J., Israde-Alcántara, I., Garduño-Monroy, V., & Shanks III, W. (noviembre de 2004). *Science Direct. Applied Biochemistry*. Recuperado el julio de 2009, de The springs of Lake Patzcuaro: chemistry, salt-balance, and implications for the water balance of the lakeS: http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6VDG-4CG0PF4-1&_user=10&_coverDate=11%2F30%2F2004&_rdoc=1&_fmt=high&_orig=search&_sort=d&_docanchor=&_view=c&_searchStrId=1438284435&_rerunOrigin=google&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_us
- Bray, R. E. (2008). *Environmental aspects of dredging*. New York: Taylor & Francis Group.
- Centro de Desarrollo Municipal. (6 de 1 de 2005). *Enciclopedia de los Municipios de México. Michoacán. Pátzcuaro*. Recuperado el julio de 1999, de <http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/michoacan/mpios/16066a.htm>
- Centrogeo.org.mx. (2005). *Etapas 5 1981 - 1986*. Recuperado el 27 de junio de 2008, <http://www.centrogeo.org.mx/internet2/patzcuaro/05/0500%20Gestion/0500b5%20Etapas%205.htm>

-
- Chacón, T. A. (1993). *Pátzcuaro, un lago amenazado. Bosquejo Limnológico*. México: Editorial Universitaria,UMSNH
 - Chacón Torres, A. (2005). Aportes al Proyecto Pátzcuaro, estudios, propuestas y avances para la restauración de la cuenca del lago de Pátzcuaro. <http://tariacuri.crefal.edu.mx/sigapatz/estudios/aportes/dragado.html>. Recuperado el 9 de febrero de 2008.
 - Chacón, T. A., Ayala, R. G., Rendón, L., Rosas, M., & 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 de Lago de Pátzcuaro, Michoacán, México*. Morelia, Michoacán: Tesis Doctora inédita, INIRENA, UMSNH.
 - Comisión de Dragado del Lago de Pátzcuaro. (2009). *Rehabilitación y Mantenimiento del Lago de Pátzcuaro. Expediente Técnico 2008*. Morelia, Mich.: Comisión de Pesca del Estado de Michoacán (oficinas generales, Morelia, Michoacán).
 - CONABIO. (2008). *62.PATZCUARO Y CUENCAS ENDORREICAS CERCANAS*. Recuperado el 26 de NOV de 2008, de http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/rhp_062.html
 - Consultores de Educación Desarrollo y Capacitación (2003). *Taller de Análisis de Alternativas para la regulación de actividades portuarias para la regulación de instalaciones portuarias turísticas en la Bahía de la Paz*. Recuperado el 2010, de http://www.crc.uri.edu/download/21_WorkshopReport_ok.pdf
 - Corona, M. A. (2003). *Efecto de las operaciones de dragado en la calidad del agua y en la sobrevivencia de alevines de Pez Blanco (Chirostoma estor estor) del Lago de Pátzcuaro, Michoacán*. Morelia, Michoacán: UMSNH Tesis profesional.
 - EPA. (December de 2006). *Draft Nutrient Criteria Technical Guidance Manual. Wetlands*. Recuperado el 2010, de www.epa.gov
 - Fora, B. J. (abril de 1995). *Cuestiones del Congreso. Cuestión 69: Embalses en Explotación, Experiencias Ambientales*. Recuperado el 13 de marzo de 2010, de Revista de Obras Públicas/Abril 1995/no.3-342: http://ropdigital.ciccp.es/public/detalle_articulo.php?registro=17432.
 - García de Jalón, L., & et, a. (2008). *La opinión científica sobre el dragado. Informe sobre los impactos del canal de navegación y dragado del río Ebro en Zaragoza*. Recuperado el julio de 2008, de

<http://chesusyuste.wordpress.com/2007/09/19/la-opinion-cientifica-sobre-el-dragado/>.

- Gómez-Tagle, R. A. (noviembre de 1994). Tres niveles de erosión en la cuenca de Pátzcuaro, Michoacán como base para acciones y obras de conservación. Uruapan, Michoacán, México: SARH INIFAP.

- Gómez-Tagle, R., Chávez, H. Y., Gómez-Tagle, C. A., & Zepeda, C. H. (2009). *Diagnóstico de los suelos de la cuenca del Lago de Pátzcuaro*. Recuperado el diciembre de 2009.

- González-Sosa, E., Mastachi-Loza, C., Rivera-Vázquez, J., Lafragua, J., & Guevara-Escobar, A. (julio de 2010). *Tecnología y Ciencias del Agua, IMTA. vol. 1, núm. 3, julio-sept*, art. 2010-03-04.

- Great Lakes Dredge: Dock Corporation. (2008). *2008 Annual Report*. Recuperado el 26 de febrero de 2010, de http://www.environmentaldefence.ca/reports/ED_AnnualReport08_Oct6-web.pdf

- Hakanson, L., & Jansson, M. (2002). *Principles of Lake Sedimentology*. New Jersey. USA: The Blackburn Press.

- Hearn, K., Flanders, J., & Phillips, T. (March de 2002). *Sediment Managment & Dredging in Lakes*. Recuperado el febrero de 2010, de A report based on a workshop held at Arlington Court, Devon. Conservation Directorate, The National Trust, Cirencester: [www.nationaltrust.org.uk/.../w-sediment management dredging.pdf](http://www.nationaltrust.org.uk/.../w-sediment-management-dredging.pdf).

- IMTA. (2004). *Historial de Proyectos. Hidráulica. Proyectos de 2004*. Recuperado el 2 de diciembre de 2008, de <http://www.imta.gob.mx/instituto/historial-proyectos/listado-hc.php?anio=2004>.

- IMTA. (2008). *Programa para la recuperación ambiental de la cuenca del Lago de Pátzcuaro*. Recuperado el febrero de 2009, de Los humedales, recurso barato y eficaz para combatir la contaminación del del agua: http://www.imta.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=182:programa-para-la-recuperacion-ambiental-de-la-cuenca-del-lago-de-patzcuaro&catid=52:enciclopedia-del-agua&Itemid=80.

- IMTA. (2009). *Instituto Mexicano de Tecnología del Agua*. Recuperado el febrero de 2010, de Los humedales, recurso barato y eficaz para combatir la contaminación del agua: http://www.imta.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=175:los-

humedales-recurso-barato-y-eficaz-para-combatir-la-contaminacion-del-del-agua&catid=52:enciclopedia-del-agua&Itemid=80

- INE.GOB. (2009). *Plan de manejo del Lago de Pátzcuaro*. Recuperado el agosto de 2009, de http://www.ine.gob.mx/descargas/cuencas/2009_taller_subcuencas_patzcuaro.pdf

INEGI. (2010). *Guías para la interpretación cartográfica, Edafología*. Recuperado el 7 de abril de 2010, de http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/geografia/publicaciones/guias-carto/edafo/EdafIII.pdf.

- INEGI. (s.f.). *Guía para la Interpretación de Cartografía Edafológica*. Recuperado el enero de 2010, de http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/geografia/publicaciones/guias-carto/edafo/EdafIII.pdf

- Lafragua, C. J. (julio de 2004). *Políticas ambientales para el desarrollo sustentable de a cuenca del Lago de Pátzcuaro*. Recuperado el 25 de mayo de 2008, de www.imta.gob.mx/instituto/historial-proyectos/listado-th.php?anio=2004.

- Lind, t. O. (1985). *Handobook of common methods in Limnology*. USA: Kedall/Hunt Publishing Company.

Medina, H., Chacón, A., & Rendón, M. (2006). *Dinámica de nutrientes en el humedal lacustre del lago de Pátzcuaro, Michoacán*. Recuperado el junio de 2010, de http://www.uaemex.mx/Red_Ambientales/docs/memorias/Extenso/QA/EC/QAC-06.pdf.

- Mexicantextiles. (2008). *Purépechas*. Recuperado el 28 de noviembre de 2008, de <http://www.mexicantextiles.com/library/purepacha/cdipurepecha.html>

- Millán, M. G. (2005). *La comunicación en la gestión integral de cuencas*. *archivo pdf*. México: IMTA.

- Mueller, D., & Helsel, D. R. (noviembre de 2009). *National Water-Quality Assessment (NAWQA) Program*. USGS. Recuperado el mayo de 2010, de *Nutrients in the Nation's Waters--Too Much of a Good Thing?:* <http://pubs.usgs.gov/circ/circ1136/>.

- Museo de Historia Natural. (2008). *Aves de Michoacán. Bosquejo Geográfico de Michoacán*. Recuperado el 7 de diciembre de 2008, de <http://www.umich.mx/museo/hist-natural/zoologia/aves/geografia.html>.

- Newcombe, C. (1994). *Suspended sediments in aquatic ecosystems: ill effects as a function of concentration and duration of exposure*. Canada: Habitat Protection Branch. British Columbia Ministry of Environment, Lands and Parks. Victoria, British Columbia.

- Ochoa, P. A. (2004). *Construcción y operación de una terminal de carga de material dragado de importación y exportación a granel en el Puerto industrial de Altamira, Tamaulipas*. Recuperado el 2 de abril de 2010, de <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/tamp/estudios/2004/28TM2004ID039.pdf>

- Oliva, M. M., Rodríguez, R. A., Lugo, V. A., & Sánchez, R. M. (2008). *Composición y Dinámica del Fitoplancton en un lago urbano hipertrófico*. Recuperado el abril de 2010, de *Hidrobiológica*, año/vol.18, No. Suplemento 1. UAM Iztapalapa: rehb@xanum.uam.mx

- Pérez-Rojas, A., Tórrez-Orozco, B., Morales-Gutiérrez, E., & Pérez-Méndez, E. (2000). Textura, composición y contenido de materia orgánica en sedimentos recientes de un lago tropical de México. *Hidrobiológica* 10 (1). UAM , 41-50.

- PNUMA. (2004). *Situación mundial del agua. primera parte: el estado de los recursos hídricos*. Recuperado el 25 de abril de 2009, de <http://www.cambioclimaticoysseguridadnacional.org/biblioteca/43454739447216.pdf>

- Pulido-Flores, G. (1994). Helminthos de Rana dunni especie endémica del Lago de Pátzcuaro, Michoacán, México. *Anales Inst. Biol. Univ. Autón. México, Ser. Zool.* 65 (1) , 205-207.

- Rodríguez, G. (2001). *Interciencia*. Recuperado el junio de 2008, de EL LAGO DE MARACAIBO COMO CUENCA ANAERÓBICA NATURAL: USO DE LÍNEAS DE BASE HISTÓRICAS EN ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL: www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0378-18442001001000005&script=sci_arttext&tlng=es

Rosas, I., Mazari, M., Saavedra, J., & Báez, A. (1985). *Benthic organisms as indicators of water quality in Lake Patzcuaro, Mexico*. Recuperado el 2009, de *Water, Air and Soil Pollution*, 25 (401-414):

<https://springerlink3.metapress.com/content/v7l3076568384705/resource-secured/?target=fulltext.pdf&sid=gzbtm5e4tkavkffv2iytdi1&sh=www.springerlink.com>.

- Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., & Hill, M. (2004). *Propiedades Físicas de los Suelos*. Recuperado el junio de 2010, de Facultad de Agronomía, Universidad de la República: <http://www.fagro.edu.uy/~edafologia/curso/Material%20de%20lectura/FISICAS/fisicas.pdf>

- Ruley, J. E., & Rusch, K. A. (2002). An assessment of long-term pot-restoration water quality trends in a shallow, subtropical, urban hypereutrophic lake. *ELSEVIER. Ecological Engineering* 19 , 265-280.

- SAGARPA, S. C. (2003). *FICHATECNICA CH01*. Recuperado el 13 de ABRIL de 2010, de <http://www.cesaveg.org.mx/new/fichastecnicas/fichatecnicasphenariumpurpurascens.pdf>

- SEMARNAT:. (2006). *NMX-AA-119-SCFI-2006*. Obtenido de requisitos y criterios de protección ambiental para selección del sitio, diseño, construcción y operación de marinas turísticas : <http://www.semarnat.gob.mx/leyesy normas/normas/Normas%20Mexicanas%20Vigentes/nmx-aa-119-scfi-2006.pdf>.

- SEPLADE Michoacán. (2006). *Hidrografia de Michoacán*. Recuperado el 25 de abril de 2009, de <http://201.120.157.242/sig/documentos/hidrografia.pdf>.

- Tobiessen, P., Swart, J., & Benjamin, S. (1992). *NOTES: Dredging to control the Curly-Leaved Pondweed: A Decade Later*. Recuperado el 27 de marzo de 2010, de J.Aquat. Plant Manage. 30: 71-72: <http://www.apms.org/japm/vol30/v30p71.pdf>.

- Unimich.mx. (s.f.). *Universidad Michoacana. Panorama de Michoacán*. Recuperado el 27 de junio de 2008, de <http://www.umich.mx/mich/islas-patzcuaro/index.html>

- United States Environmental Protection Agency & Us Army Corps of Engineers. (mayo de 2004). *Evaluating Environmental effects of Dredged Material Management Alternatives - A Technical Framework*. Recuperado el agosto de 2009, de <http://www.epa.gov/owow/oceans/regulatory/dumpedredged/framework/techframework.pdf>.

- Valencia, I. D. (2005). *México designa 4 sitios Ramsar para el Día Mundial de los Humedales*. Recuperado el 2 de junio de 2008, de www.ramsar.org/wwd/5/wwd2005_rpt_mexico1s.htm -

-Vite, P. M., & Tapia, T. G. (noviembre-diciembre año/vol22, num. 146 de 2007). *Reflexiones sobre la pobreza en Michoacán*. Recuperado el noviembre de 2010, de El Cotidiano UAM: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/325/32514605.pdf>

- Zabaleta, V. C., & Bremer, M. C. (2006). *Volvere.Revista electrónica..* Recuperado el junio de 2008, de LA DEGRADACIÓN AMBIENTAL DE LOS RECURSOS PESQUEROS DEL LAGO POOPO: http://www.unap.cl/iecta/revistas/volvere_22/invest_22.htm

- Zarull, M. A., Hartig, J. H., & Lisa, M. (1999). *Contaminated Sediments. Great Lakes. Dredging Team*. Recuperado el 4 de abril de 2010, de Ecological Benefits of Contaminated Sediment Remediation in the Great Lakes Basin: <http://www.glc.org/dredging/sediment/>.