

Informe final* del Proyecto HL001
Plan para la recuperación ambiental de la Laguna de Bojórquez

Responsable: Dra. Maricarmen Espinosa Bouchot
Institución: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
Comisión Nacional del Agua
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
Dirección: Paseo Cuauhnahuac # 8532, Progreso, Jiutepec, Mor, 62550, México
Correo electrónico: maricarmen_espinosa@tlaloc.imta.mx
Teléfono/Fax: Tel.: 01 (777) 329 3600 ext. 881
Fecha de inicio: Septiembre 15, 2009.
Fecha de término: Junio 1, 2011.

Principales resultados: Informe final, fotografías, hoja de cálculo, Plan de recuperación ambiental.

Forma de citar el informe final y otros resultados:** Espinosa Bouchot, M. 2011. Plan para la recuperación ambiental de la Laguna de Bojórquez. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Comisión Nacional del Agua. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. **Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. HL001.** México D.F.

Forma de citar hoja de cálculo Espinosa Bouchot, M. 2010. Plan para la recuperación ambiental de la Laguna de Bojórquez. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Comisión Nacional del Agua. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. **Hoja de cálculo SNIB-CONABIO proyecto No. HL001.** México D.F.

Resumen:

Gracias a sus condiciones geográficas y atractivos naturales, Cancún es uno de los destinos turísticos más importantes del Caribe Occidental. Cancún nace como el Primer Centro Integralmente Planeado en 1970 bajo la firma de INFRATUR (ahora FONATUR). En ese tiempo, el Plan Maestro con un horizonte de vida de 25 años promovía e impulsaba su creación teniendo en la mira los siguientes propósitos:

- 1) La captación de divisas para financiar el desarrollo industrial del país.
- 2) La creación de empleos en una zona carente de alternativas económicas viables.
- 3) El estímulo a nuevas actividades económicas en la región.

Cuarenta años después de cumplirse el plazo establecido en el Plan Maestro, las expectativas han sido ampliamente rebasadas. Como polo turístico, Cancún respondió positivamente a los propósitos para los que fue creado (Plan Gran visión 2000-2025) y que son los siguientes:

- 1) La captación de divisas para financiar el desarrollo industrial del país.

Cancún es el principal receptor de turismo extranjero del país, recibiendo anualmente alrededor de 2 millones de visitantes extranjeros que derraman más de 1,600 millones de dólares. En cuanto al turismo nacional se refiere, recibe en promedio 800 mil visitantes al año que dejan en su visita alrededor de 3,500 millones de pesos.

- 2) La creación de empleos en una zona carente de alternativas económicas viables.

Constituye una de las ciudades más importantes del país generando al año alrededor de 100 mil empleos directos e indirectos. Cuenta con más de 145 hoteles con una capacidad instalada de más de 28,371 habitaciones hoteleras de alta calidad (Secretaría de Turismo del Estado 2009). Aporta el 7% del PIB turístico nacional y el 60% del PIB turístico del Estado de Quintana Roo.

- 3) El estímulo a nuevas actividades económicas en la región.

Cancún fue el detonador del desarrollo turístico del Estado. Se estima que en promedio el PIB per cápita de Quintana Roo es mayor a 60,000 pesos anuales y es el cuarto más alto de todas las entidades de la República Mexicana.

Como efecto de la gran dinámica de crecimiento demográfico y de infraestructura urbana y turística se ha generado a través del tiempo una presión constante sobre los distintos elementos que constituyen el medio ambiente de la zona entre los que figuran La Laguna de Bojórquez ubicada en el Estado de Quintana Roo.

Desde la creación de Cancún como Polo Turístico, La Laguna de Bojórquez, ha sido fuertemente impactada. De acuerdo con la literatura en sus orígenes la Laguna contaba con alrededor de 1 m de profundidad (Merino y Gallegos, 1986). Además del dragado y con fines de infraestructura, la Laguna fue rellenada en algunas zonas y el paso que permitía el intercambio de agua con el mar fue cerrado.

La zona hotelera descansa sobre un sistema de alcantarillado de asbesto que manifiesta la presión de la demanda de servicios a través de las múltiples fisuras, fugas y tramos colapsados que se han registrado.

En el marco de este estudio se llevó a cabo un diagnóstico ambiental sobre las condiciones en que se encuentra la Laguna de Bojórquez con el fin de definir las líneas base del Plan Estratégico de Recuperación Ambiental de la Laguna.

Derivado del diagnóstico ambiental se desarrolló una matriz de alternativas de acción analizando pros y contras de cada una de ellas, con el fin de seleccionar las acciones prioritarias a realizar.

Se gestionó la firma de un convenio de colaboración interinstitucional con la participación de los tres órdenes de gobierno y representantes de instituciones del sector educativo, social y empresarial con el fin de consensuar entre los representantes de las instituciones participantes a través de reuniones de trabajo las acciones prioritarias a realizar.

Estas acciones prioritarias se canalizaron en proyectos específicos incluyendo periodos de ejecución, tiempos de impacto, medios de verificación así como responsables de la ejecución y seguimiento.

Finalmente, se elaboró una memoria fotográfica de las actividades ejecutadas durante la realización del proyecto.

Durante el desarrollo de este estudio se identificaron 10 descargas clandestinas de agua residual conectadas, algunas de ellas, al sistema pluvial. Derivado del monitoreo de calidad de agua se encontró que la Laguna presenta alta concentración de nutrientes en su forma de nitritos y nitratos, altas concentraciones de detergentes así como baja concentración de oxígeno disuelto.

La problemática de la Laguna de Bojórquez se resume en un problema por un lado de infraestructura, porque es claro que el sistema de alcantarillado diseñado y proyectado hace 40 años ya fue fuertemente rebasado y por otro, la entrada de nutrientes a la Laguna mediante las descargas de aguas negras.

Existen dos maneras de atacar el problema: acciones a corto plazo, cuyo objetivo se centra en aliviar los síntomas de la Laguna pero sin atacar las causas originales de deterioro; y las acciones a largo plazo que son aquellas que consideran todos los aspectos, establecen prioridades de manejo y replantean soluciones basadas en los resultados.

Este estudio se orienta hacia las acciones a largo plazo, priorizando aquellas acciones tendientes a la reducción de las cargas externas, una vez que esta primera solución arroje resultados se deberán replantear nuevas soluciones.

De acuerdo con la literatura, muchos lagos y lagunas han podido recuperarse con la simple eliminación de la entrada de nutrientes, sin embargo, esto no es predecible ya que cada sistema cuenta con características específicas que lo hacen reaccionar de manera diferente.

Dentro de las acciones que propone este estudio se encuentran una serie de proyectos específicos que contemplan atacar la entrada de nutrientes hacia la Laguna de Bojórquez que es el problema prioritario. Cabe mencionar que la entrada de nutrientes se realiza a través del vertido directo de aguas residuales, de forma indirecta mediante las fugas, fisuras y tramos colapsados de la red de alcantarillado y posiblemente mediante las descargas de agua residual tratada a través de los pozos de infiltración.

-
- * El presente documento no necesariamente contiene los principales resultados del proyecto correspondiente o la descripción de los mismos. Los proyectos apoyados por la CONABIO así como información adicional sobre ellos, pueden consultarse en www.conabio.gob.mx
 - ** El usuario tiene la obligación, de conformidad con el artículo 57 de la LFDA, de citar a los autores de obras individuales, así como a los compiladores. De manera que deberán citarse todos los responsables de los proyectos, que proveyeron datos, así como a la CONABIO como depositaria, compiladora y proveedora de la información. En su caso, el usuario deberá obtener del proveedor la información complementaria sobre la autoría específica de los datos.



PROYECTO FB1408/HL001/09

**PLAN PARA LA RECUPERACIÓN AMBIENTAL DE LA LAGUNA DE
BOJÓRQUEZ**

INFORME FINAL

31 mayo al 31 de diciembre del 2010

INDICE GENERAL

I.- REFERENCIAS DEL PROYECTO	1
II. RESUMEN EJECUTIVO	2
III. ANTECEDENTES	4
3.1 Descripción física de la zona de estudio	4
3.1.1 Ubicación	4
3.1.2 Clima	5
3.1.3 Geomorfología	6
3.1.4 Edafología	6
3.1.5 Hidrología	7
IV. PROBLEMÁTICA	9
V. OBJETIVO GENERAL	14
VI. METODOLOGÍA.....	14
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	15
7.1 Elaborar un diagnóstico ambiental de la Laguna de Bojórquez	15
7.1.1 Calidad de Agua de la Laguna de Bojórquez	15
7.1.2 Batimetría.....	27
7.1.3 Análisis histórico de las características de la Laguna de Bojórquez	30
7.2 Matriz de alternativas de acción y consenso de las acciones prioritarias	36
7.3 Gestión de la firma de un convenio de colaboración interinstitucional	37
7.4 Canalización de las acciones prioritarias en los proyectos específicos.....	37
VIII. CONCLUSIONES	41
IX. BIBLIOGRAFÍA.....	42

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Imagen Satelital del Sistema Lagunar de Nichupté.	5
Figura 2. Pasto marino y manglar en la Laguna de Bojórquez.	5
Figura 3. Edafología en la Laguna de Bojórquez.	6
Figura 4. Regiones hidrológicas administrativas en la vertiente del Golfo de México. Fuente CONAGUA 2009.	7
Figura 5. Sub Regiones hidrológicas. Fuente CONAGUA 2009.	7
Figura 6. Representación esquemática del área dragada de la Laguna de Bojórquez.	9
Figura 7. Cambio de uso de suelo 1991-2004 en la periferia de la Laguna de Bojórquez.	11
Figura 8. Estaciones de muestreo de la primera campaña. Laguna de Bojórquez.	16
Figura 9. Representación esquemática de los sitios de toma de muestra.	16
Figura 10. Estaciones de muestreo de la segunda campaña. Laguna de Bojórquez.	18
Figura 11. Semáforo ambiental. Campaña de muestreo del mes de junio de 2010.	25
Figura 12. Semáforo ambiental. Campaña de muestreo del mes de septiembre de 2010.	25
Figura 13. Trayectoria de los transectos previos a obtener el Perfil Batimétrico de la Laguna de Bojórquez.	28
Figura 14. Perfil Batimétrico de la Laguna de Bojórquez.	29
Figura 15. Descargas tipo de aguas pluviales hacia la Laguna de Bojórquez (izquierda) y hacia el Sistema Lagunar de Nichupté (derecha).	31
Figura 16. Descargas 1 (izquierda) y 3 (derecha) de aguas residuales.	31
Figura 17. Descargas 4 (izquierda) y 5 (derecha) de aguas residuales.	32
Figura 18. Descargas 6 (izquierda) y 7 (derecha) de aguas residuales.	32
Figura 19. Descarga 8 de aguas residuales.	32
Figura 20. Distribuciones horizontales de temperatura (arriba) y salinidad (abajo).	34
Figura 21. Reunión interinstitucional para el consenso y validación de las fichas de proyectos específicos. (Cancún, Q. Roo. 9 de septiembre de 2010).	36
Figura 22. Estado de afectación de la vegetación aledaña a la descarga de aguas residuales del Hotel Presidente Intercontinental.	39
Figura 23. Estado de afectación de la zona Norte de la Laguna de Bojórquez. Coordenadas UTM NAD 83: 0525478 E, 2336787 N.	39
Figura 24. Estado de afectación de la zona Norte de la Laguna de Bojórquez. Coordenadas UTM NAD 83: 0524762 E, 2334673 N.	39
Figura 25. Muelles de atraque para embarcaciones y motos acuáticas en el perímetro de la Laguna de Bojórquez y Sistema Lagunar de Nichupté.	40
Figura 26. Bases de bombeo para los aireadores que se encuentran en la Laguna de Bojórquez.	40

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Distribución de la superficie del SLN. Fuente: Ayuntamiento de Benito Juárez. Dirección de Ecología.	4
Tabla 2. Hoteles localizados en la periferia de la Laguna de Bojórquez.	12
Tabla 3. Coordenadas geográficas de los puntos de muestreo de la primera campaña.	15
Tabla 4. Análisis fisicoquímicos y microbiológicos en agua en la Laguna de Bojórquez.	17
Tabla 5. Análisis fisicoquímicos y microbiológicos en sedimentos en la Laguna de Bojórquez.	17
Tabla 6. Coordenadas geográficas de los puntos de muestreo de la segunda campaña.	18
Tabla 7. Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996.	19
Tabla 8. Reglamento de prevención y control de la contaminación del agua.	19
Tabla 9. Criterios Ecológicos de la calidad del agua CE-CCA/001/89.	20
Tabla 10. Resultados analíticos de la campaña de muestreo del mes de junio de 2010.	22
Tabla 11. Resultados analíticos de la campaña de muestreo del mes de septiembre de 2010.	24
Tabla 12. Coordenadas UTM Datum NAD 83 de las descargas de aguas residuales vertidas a la Laguna de Bojórquez.	31
Tabla 13. Monitoreo ambiental histórico de la Laguna de Bojórquez.	33
Tabla 14. Información general de los Proyectos Específicos.	38
Tabla 15. Costos de los proyectos específicos.	38
Tabla 16. Tiempo de ejecución de los proyectos.	38

I.- REFERENCIAS DEL PROYECTO

Nombre del proyecto:

Plan para la Recuperación Ambiental de la Laguna de Bojórquez

Nombre del responsable:

Maricarmen Espinosa Bouchot
maricarmen_espinosa@tlaloc.imta.mx

Institución:

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
www.imta.gob.mx

Domicilio:

Paseo Cuauhnáhuac 8532. Col. Progreso. C.P. 6250. Jiutepec, Morelos
Tel. y fax (777) 329 3600 ext. 881

Institución financiadora:

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
www.conabio.gob.mx

Convenio Número:

FBI408/HL001/09

Fecha de inicio:

31 de mayo 2010

Fecha de término:

20 de diciembre 2010

II. RESUMEN EJECUTIVO

Gracias a sus condiciones geográficas y atractivos naturales, Cancún es uno de los destinos turísticos más importantes del Caribe Occidental. Cancún nace como el Primer Centro Integralmente Planeado en 1970 bajo la firma de INFRATUR (ahora FONATUR). En ese tiempo, el Plan Maestro con un horizonte de vida de 25 años promovía e impulsaba su creación teniendo en la mira los siguientes propósitos:

- 1) La captación de divisas para financiar el desarrollo industrial del país.
- 2) La creación de empleos en una zona carente de alternativas económicas viables.
- 3) El estímulo a nuevas actividades económicas en la región.

Cuarenta años después de cumplirse el plazo establecido en el Plan Maestro, las expectativas han sido ampliamente rebasadas. Como polo turístico, Cancún respondió positivamente a los propósitos para los que fue creado (Plan Gran visión 2000-2025) y que son los siguientes:

- 1) La captación de divisas para financiar el desarrollo industrial del país.

Cancún es el principal receptor de turismo extranjero del país, recibiendo anualmente alrededor de 2 millones de visitantes extranjeros que derraman más de 1,600 millones de dólares. En cuanto al turismo nacional se refiere, recibe en promedio 800 mil visitantes al año que dejan en su visita alrededor de 3,500 millones de pesos.

- 2) La creación de empleos en una zona carente de alternativas económicas viables.

Constituye una de las ciudades más importantes del país generando al año alrededor de 100 mil empleos directos e indirectos. Cuenta con más de 145 hoteles con una capacidad instalada de más de 28,371 habitaciones hoteleras de alta calidad (Secretaría de Turismo del Estado 2009). Aporta el 7% del PIB turístico nacional y el 60% del PIB turístico del Estado de Quintana Roo.

- 3) El estímulo a nuevas actividades económicas en la región.

Cancún fue el detonador del desarrollo turístico del Estado. Se estima que en promedio el PIB per cápita de Quintana Roo es mayor a 60,000 pesos anuales y es el cuarto más alto de todas las entidades de la República Mexicana.

Como efecto de la gran dinámica de crecimiento demográfico y de infraestructura urbana y turística se ha generado a través del tiempo una presión constante sobre los distintos elementos que constituyen el medio ambiente de la zona entre los que figuran La Laguna de Bojórquez ubicada en el Estado de Quintana Roo.

Desde la creación de Cancún como Polo Turístico, La Laguna de Bojórquez, ha sido fuertemente impactada. De acuerdo con la literatura en sus orígenes la Laguna contaba con alrededor de 1 m de profundidad (Merino y Gallegos, 1986). Además del dragado y con fines de infraestructura, la Laguna fue rellenada en algunas zonas y el paso que permitía el intercambio de agua con el mar fue cerrado.

La zona hotelera descansa sobre un sistema de alcantarillado de asbesto que manifiesta la presión de la demanda de servicios a través de las múltiples fisuras, fugas y tramos colapsados que se han registrado.

En el marco de este estudio se llevó a cabo un diagnóstico ambiental sobre las condiciones en que se encuentra la Laguna de Bojórquez con el fin de definir las líneas base del Plan Estratégico de Recuperación Ambiental de la Laguna.

Derivado del diagnóstico ambiental se desarrolló una matriz de alternativas de acción analizando pros y contras de cada una de ellas, con el fin de seleccionar las acciones prioritarias a realizar.

Se gestionó la firma de un convenio de colaboración interinstitucional con la participación de los tres órdenes de gobierno y representantes de instituciones del sector educativo, social y empresarial con el fin de consensuar entre los representantes de las instituciones participantes a través de reuniones de trabajo las acciones prioritarias a realizar.

Estas acciones prioritarias se canalizaron en proyectos específicos incluyendo periodos de ejecución, tiempos de impacto, medios de verificación así como responsables de la ejecución y seguimiento.

Finalmente, se elaboró una memoria fotográfica de las actividades ejecutadas durante la realización del proyecto.

Durante el desarrollo de este estudio se identificaron 10 descargas clandestinas de agua residual conectadas, algunas de ellas, al sistema pluvial. Derivado del monitoreo de calidad de agua se encontró que la Laguna presenta alta concentración de nutrientes en su forma de nitritos y nitratos, altas concentraciones de detergentes así como baja concentración de oxígeno disuelto.

La problemática de la Laguna de Bojórquez se resume en un problema por un lado de infraestructura, porque es claro que el sistema de alcantarillado diseñado y proyectado hace 40 años ya fue fuertemente rebasado y por otro, la entrada de nutrientes a la Laguna mediante las descargas de aguas negras.

Existen dos maneras de atacar el problema: acciones a corto plazo, cuyo objetivo se centra en aliviar los síntomas de la Laguna pero sin atacar las causas originales de deterioro; y las acciones a largo plazo que son aquellas que consideran todos los aspectos, establecen prioridades de manejo y replantean soluciones basadas en los resultados.

Este estudio se orienta hacia las acciones a largo plazo, priorizando aquellas acciones tendientes a la reducción de las cargas externas, una vez que esta primera solución arroje resultados se deberán replantear nuevas soluciones.

De acuerdo con la literatura, muchos lagos y lagunas han podido recuperarse con la simple eliminación de la entrada de nutrientes, sin embargo, esto no es predecible ya que cada sistema cuenta con características específicas que lo hacen reaccionar de manera diferente.

Dentro de las acciones que propone este estudio se encuentran una serie de proyectos específicos que contemplan atacar la entrada de nutrientes hacia la Laguna de Bojórquez que es el problema prioritario. Cabe mencionar que la entrada de nutrientes se realiza a través del vertido directo de aguas residuales, de forma indirecta mediante las fugas, fisuras y tramos colapsados de la red de alcantarillado y posiblemente mediante las descargas de agua residual tratada a través de los pozos de infiltración.

III. ANTECEDENTES

3.1 Descripción física de la zona de estudio

3.1.1 Ubicación

La Laguna de Bojórquez forma parte del Sistema Lagunar de Nichupté, ubicado en la Ciudad de Cancún, en el Municipio de Benito Juárez del Estado de Quintana Roo. El Sistema Lagunar de Nichupté (SLN), ubicado al noroeste del Estado ($86^{\circ} 46'$ y $86^{\circ} 50'$ de longitud oeste y $21^{\circ} 02'$ a $21^{\circ} 06'$ de latitud norte) es un complejo lagunar costero compuesto propiamente por la Laguna Nichupté siendo la más grande en extensión, y por cuatro lagunas periféricas; la Laguna de Bojórquez situada en la parte noreste del Sistema, otra en el extremo noreste denominada Río Inglés, y dos lagunas pequeñas Somosaya o del Amor situada en la parte oeste la cual contiene "cenotes" sumergidos que aportan agua dulce al Sistema y la Laguna La Caleta ubicada al extremo sureste (figura 1). La laguna de Bojórquez localizada en los $86^{\circ}50'$ longitud Noreste y $21^{\circ}08'$ latitud norte representa el 4.9% de la superficie total del SLN (tabla 1).

Cuerpo	Superficie (ha)	Superficie (%)	Profundidad media (m)	Volumen (hm ³)	Volumen (%)
Cuenca Centro	1,659.0	34.3	2.2	37.7	34.44
Cuenca Norte	1,441.3	29.8	2.5	37.9	34.62
Cuenca Sur	1,030.2	21.3	2.4	25.7	23.48
Río Inglés	464.3	9.6	0.8	3.7	3.38
Bojórquez	237.0	4.9	1.9	4.45	4.06
	4,831.8	100		109.45	100

Tabla 1. Distribución de la superficie del SLN. Fuente: Ayuntamiento de Benito Juárez. Dirección de Ecología.

La Laguna de Bojórquez se comunica con el complejo lagunar a través de dos canales: Canal Norte y Canal Sur. Las aguas de la Laguna de Bojórquez son prácticamente marinas, con gradientes de salinidad de 25 a 35 ppm. Los aportes subterráneos de agua dulce producen ciertas áreas salobres, sin embargo, su influencia no alcanza a modificar la salinidad de la Laguna. Los sedimentos son arenosos cubiertos por manchones de pasto marino constituido por *Thalassia testudinum* y sus márgenes se encuentran cubiertos por bosques de manglar (figura 2).



Figura 1. Imagen Satelital del Sistema Lagunar de Nichupté.



Figura 2. Pasto marino y manglar en la Laguna de Bojórquez.

La Laguna de Bojórquez al igual que todo el SLN brinda diversos servicios ambientales como protección de larvas y peces así como de distintos invertebrados marinos y estuarinos; zona de transición entre especies del mar y de agua dulce; zona de albergue de reptiles y aves por citar algunos.

3.1.2 Clima

El clima predominante es cálido subhúmedo en donde el régimen de lluvias marca el patrón climático. El periodo de "secas" se presenta de marzo a mayo; en verano, las lluvias se presentan en los meses de junio a octubre con una precipitación media anual de 1,381.3 mm, una evaporación potencial de 1593 mm y una evapotranspiración de 892 mm (Estadísticas del Agua, CONAGUA 2010).

Los fenómenos extremos como nortes aparecen de noviembre a febrero y la temporada de huracanes y tormentas tropicales va de agosto a septiembre (Herrera et al., 1998).

3.1.3 Geomorfología

La Laguna de Bojórquez así como todo el Sistema Lagunar de Nichupté pertenece a la provincia fisiográfica de la Península de Yucatán la cual se subdivide en tres subprovincias: Carso Yucateco, Carso y Lomeríos de Campeche y Costa baja de Quintana Roo. La Laguna de Bojórquez se encuentra dentro de la subprovincia Carso Yucateco la cual se distribuye a lo largo de la costa del Estado, desde Isla Mujeres hasta Tulum, para posteriormente internarse hasta Carrillo Puerto y José María Morelos. Esta subprovincia representa el 54% de la superficie del Estado de Quintana Roo y su conformación es distinta a la del resto del país pues en ella no aparecen montañas, grandes elevaciones de terreno o escurrimientos superficiales de importancia.

Las cuencas de la Península de Yucatán presentan una topografía cárstica y prácticamente carecen de corrientes superficiales. El agua se infiltra a través del suelo poroso o mediante sumideros, lo que origina un solo manto subterráneo de movimiento lento, es decir, el acuífero de Yucatán.

3.1.4 Edafología

Los suelos presentes en el Sistema Lagunar Nichupté derivan de las rocas calizas del terciario y cuaternario, por el aporte deluvio-aluvial de sedimentos terrígenos y por el depósito de arenas biogénicas y materia orgánica que provienen de la vegetación de hidrófilas. Lo anterior determina un mosaico edáfico conformado por los siguientes tipos de suelo: litosol (l), regosol (R), rendzina (E) y solonchak (Z) (APFFMN 2008).

En la Laguna de Bojórquez se presentan dos tipos de subunidades de suelos, el regosol calcárico y el regosol calcárico con asociación con el suelo rendzina, diferenciados a partir de sus propiedades, estructura y origen, ya que son perfiles jóvenes y muy poco desarrollados (figura 3).

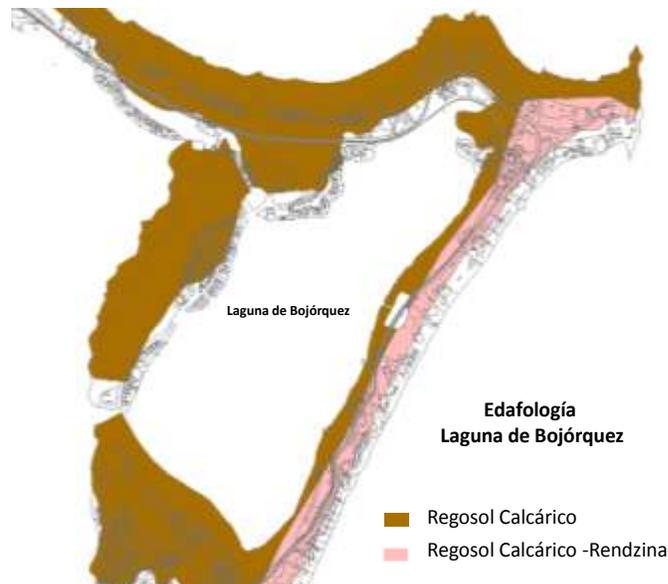


Figura 3. Edafología en la Laguna de Bojórquez.

3.1.5 Hidrología

Dentro de la regionalización que establece la Comisión Nacional del Agua, la Laguna de Bojórquez se encuentra dentro de la Región XII (Península de Yucatán), subregión 32 (Yucatán Norte) (figuras 4 y 5).

Regiones Hidrológico-Administrativas en la vertiente del Golfo de México



Figura 4. Regiones hidrológicas administrativas en la vertiente del Golfo de México. Fuente CONAGUA 2009.



Figura 5. Sub Regiones hidrológicas. Fuente CONAGUA 2009.

El acuífero de Yucatán es la principal fuente de agua para todos los usos y también el principal cuerpo receptor de la precipitación que se infiltra y de las aguas residuales. Su velocidad de flujo aproximada es de 40 m/h.

El equilibrio hidrológico de la Laguna Bojórquez depende de las aportaciones de agua dulce que recibe de los acuíferos que se encuentran en la Laguna de Nichupté, de la lluvia que se precipita directamente, de la evaporación y de las aportaciones de agua salada que se dan a partir del intercambio de agua con el mar a través de los canales que se interconectan con la Laguna de Nichupté, además de los canales de interconexión de Nichupté con el mar, como resultado del flujo y reflujos de la marea.

De acuerdo con un estudio realizado por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua en 1997 sobre la interacción de las aguas subterráneas con la Laguna Nichupté, las descargas de aguas subterráneas se realizan a través de más de 15 manantiales alineados en una franja con orientación Noreste-Suroeste con una aportación en época de lluvia superior a los 5 m³/s.

La Laguna de Bojórquez carece de intercambio directo de agua con el mar, no obstante interacciona con éste principalmente por el ritmo de las mareas a través del intercambio de agua con el Sistema Lagunar de Nichupté mediante sus canales norte y sur.

IV. PROBLEMÁTICA

En los márgenes de la Laguna de Bojórquez así como en gran parte del Sistema Lagunar del Nichupté se encuentra la zona turística de Cancún. Es en esta zona en donde se concentra la mayor parte de las playas y actividades turísticas por las que es reconocido este destino. Actualmente, tan solo la Laguna de Bojórquez alberga 43 hoteles, 10 conjuntos residenciales, 14 plazas comerciales, un centro de convenciones, un campo de golf y alrededor de 2 Km de playa, así como varias marinas, discotecas y restaurantes.

Desde la creación de Cancún como Polo Turístico, La Laguna de Bojórquez, ha sido fuertemente impactada. De acuerdo con la literatura en sus orígenes contaba con alrededor de 1 m de profundidad (Merino y Gallegos, 1986), sin embargo para formar los canales en sus orillas oriental y occidental fue necesario dragar el 20% de su fondo original hasta 3 o 4 m (figura 6).



Figura 6. Representación esquemática del área dragada de la Laguna de Bojórquez.

Además del dragado, la Laguna tuvo que ser rellenada en la parte sur a fin de crear la zona residencial de Isla Dorada, la parte occidental corrió con la misma suerte para crear la zona residencial de Pok Ta Pok y el campo de Golf, donde 14 de los 18 hoyos quedaron ubicados dentro de la Laguna. Finalmente, aunado al dragado y rellenado cabe hacer mención que el paso que permitía el intercambio de agua entre el mar y la Laguna, localizado originalmente en la parte norte, fue cerrado a fin de dotar de estacionamientos a Plaza Caracol y los comercios aledaños.



Figura 7. Localización de la zona Residencial Isla Dorada, Plaza Caracol y Campo de Golf de Pok Ta Pok.

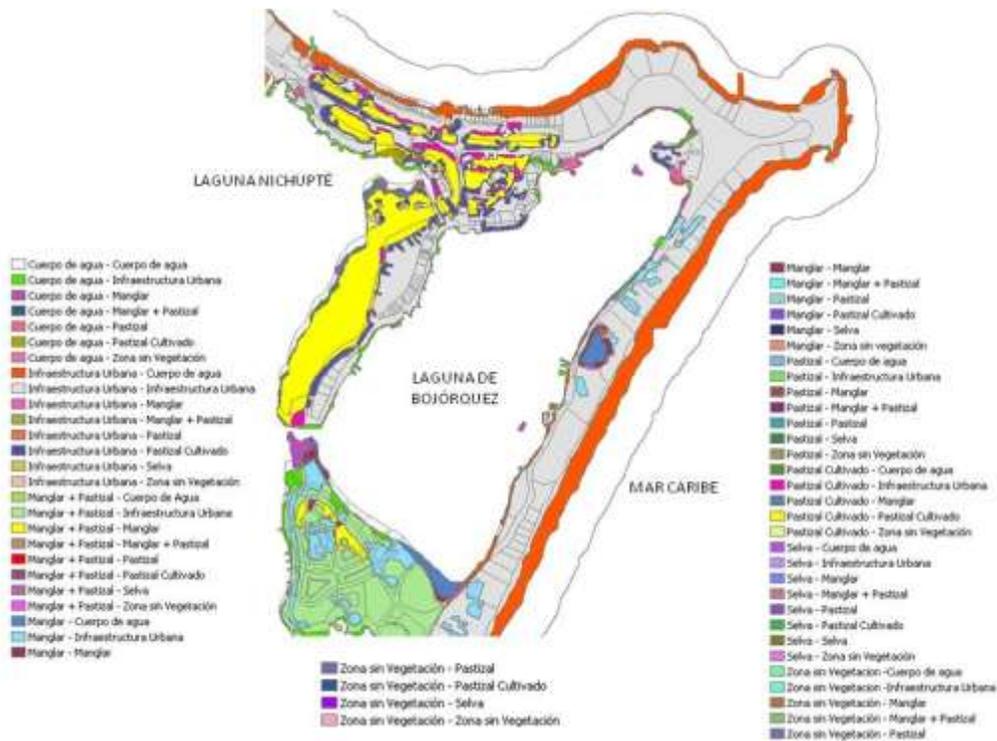
Es evidente que las actividades turísticas y la expansión urbana han ejercido una presión muy importante en la Laguna debido a la modificación del ecosistema.

Los rellenos de material y dragados así como la edificación de infraestructura sin duda han modificado el perímetro, las corrientes y la permeabilidad de sus barras, reduciendo tanto espacial como funcionalmente los ecosistemas. Estas modificaciones han traído como consecuencias las siguientes:

- 1) La disminución de la capacidad natural de amortiguamiento del sistema para autodepurarse y hacer frente a fenómenos naturales como tormentas o huracanes.
- 2) La fragmentación del hábitat que sirve como transición entre ecosistemas para diversas especies silvestres.
- 3) La alteración de los procesos naturales que sostienen a la población humana y otras especies.
- 4) La pérdida de numerosas poblaciones y el subsiguiente empobrecimiento genético de la región.
- 5) La disminución de la calidad del agua de la Laguna.

La cobertura vegetal ha corrido con la misma suerte. El análisis cartográfico realizado entre los años 1976 y 2000 en el SLN, revela que para 1976 al oeste del Sistema Lagunar dominaban las selvas perennifolias y subperennifolias mientras que en el este las dunas costeras eran predominantes. Para el año 2000 estas zonas fueron invadidas por la infraestructura turística (urbana y hotelera). Las tasas de deforestación indican que el 77% de las selvas y el 64% de la vegetación de dunas costeras pasaron a ser zonas urbanas, mientras que el 68% de los pastizales pasó a ser ocupado por infraestructura hotelera.

La relación del cambio del uso del suelo en la periferia de la Laguna de Bojórquez se presenta en la siguiente figura, en la que se muestra que los cambios más notables se han presentado en la infraestructura urbana, además del cambio de manglar por pastizal en la zona del club de golf de Pok Ta Pok y de manglar y pastizal por infraestructura urbana en lo que hoy corresponde a la zona residencial La Isla.



Fuente: Proyecto BQOO6. Centro EPOMEX 2004.

Figura 7. Cambio de uso de suelo 1991-2004 en la periferia de la Laguna de Bojórquez.

El éxito de la creación de Cancún tuvo un costo económico, pero sin duda el daño ambiental también tiene un costo que comienza a ser cuantificado.

La zona turística de Cancún cuenta con 3 plantas de tratamiento, Pok-Ta-Pok, Gucumatx y El Rey con una capacidad instalada de 245, 250 y 100 lps (Conagua, 2007). Las tres plantas de tratamiento tienen un proceso de lodos activados.

De acuerdo con la Asociación de Hoteles de Cancún el número de turistas que han visitado Cancún pasó de 1 millón 500 mil en 1990 a aproximadamente 2 millones 800 mil en 2009.

La Zona Hotelera de Cancún está conformada por un total de 89 hoteles, de los cuales 76 se encuentran del lado del mar con 25,136 habitaciones y los 13 restantes se encuentran del lado de la Laguna con 890 habitaciones (Asociación de Hoteles de Cancún 2010). En la Laguna de Bojórquez la infraestructura hotelera está conformada por un total de 43 hoteles de categorías 2, 3, 4 y 5 estrellas, Gran Turismo (GT) y 4 Diamantes (4D). La disponibilidad es de 7,759 habitaciones. De estos hoteles, 28 están ubicados del lado del mar con una disponibilidad de 7,066 habitaciones y 15 se encuentran ubicados del lado de la Laguna con una disponibilidad de 693 habitaciones. En cuanto a su clasificación uno es de 2 estrellas, 15 de 3 estrellas, 8 de 4 estrellas, 11 de 5 estrellas, 6 de GT y uno de 4D. La siguiente tabla muestra la relación de la infraestructura hotelera en la periferia de la Laguna de Bojórquez.

Nº	Ubicación	Nombre	Nº de habitaciones
1	LAGUNA	VILLA-HOTEL CORAL MAR - W.I.V.C	45
2		OCEAN CLUB	38
3		SUITE LAGUNA VERDE	48
4		HOTEL GREEN 16	125
5		HOTEL HOLIDAY INN EXPRESS	119
6		VILLAS BUGANBILIAS	22
7		QUINTAS LA JOYA	25
8		VILLAS TI-HO	30
9		SINA SUITES	33
10		VILLAS	25
11		HOTEL CELUISMA	25
12		HOTEL IMPERIAL LAGUNA	25
13		VILLAS LA MARINA	25
14		HOTEL GRAN ROYAL LAGOON	36
15		HOTEL BEST WESTERN CANCUN CLIPPER	72
16	MAR	HOTEL PRESIDENTE INTERCONTINENTAL CANCUN	289
17		HOTEL BEACH SCAPE KIN HA VILLAS & SUITES	150
18		HOTEL OLAS RESORT SPA CANCUN	276
19		HOTEL MAYA	52
20		HOTEL FIESTA AMERICANA CLUB	179
21		HOTEL RIU PALACE	372
22		HOTEL RIU CANCUN	569
23		HOTEL FIESTA AMERICANA GRAND CORAL BEACH	602
24		HOTEL DREAM'S CANCUN	381
25		HOTEL HYATT REGENCY CANCUN	295
26		HOTEL NH KRISTAL CANCUN	325
27		HOTEL SALVIA	84
28		HOTEL CONDOMINIO CARISMA Y PALMA	122
29		HOTEL GIRASOL	45
30		HOTEL SUN SET	204
31		HOTEL LE BLANC SPA RESORT	287
32		HOTEL CANCUN CARIBE PARK R.	311
33		HOTEL GRAN CARIBE REAL CANCUN	477
34		HOTEL THE ROYAL CANCUN & PLAYA DEL CARMEN	288
35		HOTEL FLAMINGO CANCUN RESORT	215
36		HOTEL LAS CUATRO CASAS	30
37		HOTEL AVALON BACCARA	27
38		HOTEL FUERA DE SERVICIO	-
39		HOTEL AVALON GRAN CANCUN	116
40		HOTEL BEACH PALACE WYNDHAM GRAN RESORT	287
41		HOTEL ME BY MELIA	446
42		HOTEL PARK ROYAL	288
43		HOTEL THE WESTING LAGUNAMAR OCEAN RESART VILLAS	379

Tabla 2. Hoteles localizados en la periferia de la Laguna de Bojórquez.

De acuerdo con el censo de población (INEGI, 2005) Cancún cuenta con alrededor de 526,701 habitantes, donde la gran mayoría residen en la zona urbana. Considerando que el agua residual producida es proporcional al número de habitantes y que en la zona hotelera y turística de Cancún la demanda de servicios es intensiva debido a las actividades inherentes del sector, entonces es de esperarse que no todas las aguas negras sean tratadas, peor aún, que la red de drenaje instalada hace 40 años sea por mucho rebasada en su capacidad. Por lo que el agua residual que no es captada, tratada o simplemente que se infiltra a través de las fugas y fisuras de las partes colapsadas de la red esté entrando de manera intermitente o constante a la laguna intencional o inadvertidamente.

Debido a lo anterior, la Laguna de Bojórquez es un cuerpo de agua con un alto grado de vulnerabilidad a la contaminación de sus aguas a causa de las actividades antropogénicas que en sus márgenes y en su interior se llevan a cabo trayendo como consecuencias la fragmentación, modificación y en el peor escenario destrucción de los hábitats naturales que sirven de sustento para muchas especies entre los que figuran los seres humanos.

V. OBJETIVO GENERAL

El proyecto tiene como objetivo general elaborar el Plan Estratégico para la Recuperación Ambiental de la Laguna de Bojórquez.

VI. METODOLOGÍA

El procedimiento para elaborar el Plan Estratégico comprende las siguientes actividades:

- 1) Elaborar un diagnóstico de las condiciones en que se encuentra la Laguna de Bojórquez, así como definir las líneas base del Plan Estratégico de recuperación ambiental.
- 2) Desarrollar una matriz de alternativas de acción analizando sus pros y contras de cada una de ellas, con el fin de seleccionar las acciones prioritarias a realizar.
- 3) Gestionar la firma de un convenio de colaboración interinstitucional con la participación de los tres órdenes de gobierno y representantes de instituciones del sector educativo, social y empresarial.
- 4) Consensuar entre los representantes de las instituciones participantes a través de reuniones de trabajo las acciones prioritarias a realizar.
- 5) Canalizar las acciones prioritarias en proyectos específicos incluyendo periodos de ejecución, tiempos de impacto, medios de verificación así como responsables de la ejecución y seguimiento.
- 6) Elaborar una memoria fotográfica de las actividades ejecutadas durante la realización el proyecto.

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se discutirán los resultados de cada actividad (1-6).

7.1 Elaborar un diagnóstico ambiental de la Laguna de Bojórquez

Durante la fase de diagnóstico ambiental se revisó, compiló y analizó la información bibliográfica disponible y localizable en bancos de datos, publicaciones en revistas especializadas, tesis de grado, reportes de proyectos, además de toda aquella proveniente de eventos de divulgación como congresos, simposios, mesas redondas, foros, etc., tal como información batimétrica, climatológica e hidrométrica, ordenamientos ecológicos, regionales y locales, inventarios de microflora y fauna, estudios de calidad del agua superficial y subterránea entre otros, además de revisar la información generada de proyectos anteriores relacionados con la temática.

A través de la recopilación bibliográfica se obtuvieron datos en bancos de información de instituciones oficiales como INEGI, CONAPO, CONAGUA por citar algunas. Estos datos sirvieron para estructurar el marco de referencia del Plan Estratégico. Así mismo se adquirieron estudios históricos sobre temas relacionados con el deterioro ambiental de la Laguna de Bojórquez.

Esta fase de diagnóstico ambiental no solo se refiere a la búsqueda de información bibliográfica, también fue necesario generar la propia, por lo que se realizaron visitas de campo que permitieron recabar evidencias reales del estado actual de la Laguna. Asimismo se llevaron a cabo análisis de calidad de agua superficial y de sedimentos, identificación de malezas acuáticas, y georeferenciación de descargas clandestinas.

7.1.1 Calidad de Agua de la Laguna de Bojórquez

Para monitorear la calidad de agua de la Laguna de Bojórquez se llevaron a cabo dos campañas de muestreo, una realizada en el mes de junio del año 2010 y la otra en el mes de septiembre del mismo año.

Durante la primera campaña se tomaron muestras de 4 estaciones de muestreo: 1, 2, 3 y 4 (figura 8). Las coordenadas geográficas de los puntos de muestreo se ilustran en la tabla siguiente.

PUNTO DE MUESTREO	LATITUD NORTE	LONGITUD OESTE	ALTITUD (m)
1	21°7'55.55061"	86 ° 45' 16.68764"	8
2	21° 7' 44.74925"	86° 45' 37.88802"	5
3	21° 7' 35.27424"	86° 45' 31.21229"	5
4	21° 7' 14.78868"	86° 45' 59.32556"	6

Tabla 3. Coordenadas geográficas de los puntos de muestreo de la primera campaña.



Figura 8. Estaciones de muestreo de la primera campaña. Laguna de Bojórquez.

Para la selección de estas cuatro estaciones de muestreo se tomó en cuenta la representatividad del sitio para abarcar tanto el entorno de la Laguna (norte-sur, este-oeste) así como para incluir todo tipo de escenarios (vertido de contaminantes, zonas de intercambio de agua, etc.).

En el punto 1 se tomó una muestra de agua de la superficie de la Laguna de Bojórquez. En los tres puntos de muestreo restantes (2, 3 y 4), además de obtener una muestra de agua en la superficie, se tomó también una muestra de agua a 50 cm del suelo. En el punto 1 no fue posible obtener la muestra de agua a 50 cm del suelo debido a lo somero del área (figura 9).

A todas las muestras de agua tanto de la superficie (puntos 1, 2, 3 y 4) como a 50 cm del fondo (puntos 2, 3 y 4) se les determinaron in situ la profundidad, transparencia, pH, temperatura, oxígeno disuelto, conductividad y % de saturación con un medidor multiparamétrico. Esto se hizo con el fin de comparar si existía una diferencia significativa entre los parámetros fisicoquímicos medidos in situ de la superficie y del fondo.



Figura 9. Representación esquemática de los sitios de toma de muestra.

Únicamente las muestras de agua tomadas en la superficie de todos puntos (1, 2, 3 y 4) fueron llevadas al laboratorio y analizadas física, química y microbiológicamente de acuerdo con los parámetros de calidad citados en la tabla siguiente.

CONCEPTO	MÉTODO
Demanda Bioquímica de Oxígeno	NMX AA 028 SCFI2001
Demanda Química de Oxígeno	NMX AA 030 SCFI 2001
Ortofosfatos	NMX AA 029 SCFI 2001
Fósforo Total	NMX AA 029 SCFI 2001
Nitrógeno total	POR SUMA
Nitritos	NMX AA099 SCFI 2006/EPA 353.2 1983
Nitratos	NMX AA079 SCFI 2001/EPA 353.2 1983
Nitrógeno Total Kjeldhal	NMX AA 026 SCFI 2001/EPA 351.2 1978
Grasas y Aceites	NMX AA 005 SCFI 2000
Alcalinidad total	POR SUMA
Alcalinidad a la fenoltaleína	NMX AA 036 SCFI 2001
Bicarbonatos	NMX AA 036 SCFI 2001
Carbonatos	NMX AA 036 SCFI 2001
Hidroxilos	NMX AA 036 SCFI 2001
Salinidad	SM 20th 2520B 1998
Sólidos Disueltos Totales	NMX AA 034 SCFI 2001
Sólidos Suspendedos Totales	NMX AA 034 SCFI 2001
Sustancias Activas al Azul de Metileno	NMX AA 039 SCFI 2001
Coliformes Fecales	NMX AA 042 1897
Coliformes Totales	NMX AA 042 1987

Tabla 4. Análisis fisicoquímicos y microbiológicos en agua en la Laguna de Bojórquez.

En las cuatro estaciones de muestreo (1, 2, 3 y 4) se tomaron muestras de sedimentos a las que se les realizaron los análisis que se muestran en la siguiente tabla.

CONCEPTO	MÉTODO
Nitrógeno total	POR SUMA
Nitritos	MSA 62-1
Nitratos	MSA 62-1
Nitrógeno total kjeldhal	EPA 351.2 1978
pH	EPA 9045D 2004
Alcalinidad total	POR SUMA
Fósforo Total	NMX AA 029
Alcalinidad a la fenoltaleína	MSA 91.4
Carbonatos	MSA 91.4
Bicarbonatos	MSA 91.4
Hidroxilos	MSA 91.4
Coliformes Fecales	EPA 9131 1986
Coliformes Totales	EPA 9131 1986
Materia Orgánica	AS 07 NOM 021 SEMARNAT 2000

Tabla 5. Análisis fisicoquímicos y microbiológicos en sedimentos en la Laguna de Bojórquez.

En la segunda campaña realizada en septiembre de 2010 y con base en los resultados de la campaña anterior se muestrearon siete estaciones (1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7) enfatizando en la zona visiblemente más afectada de la Laguna (figura 10).

Debido a que en la campaña anterior (junio 2010) se evidenció que no existe diferencia significativa entre las muestras tomadas en la superficie y a 50 cm del fondo se tomó la decisión de sólo muestrear en esta ocasión la superficie en los 7 puntos de muestreo. Además, para esta campaña se midieron in situ, los parámetros que de alguna manera se encontraban fuera de la normatividad tomada como referencia en este estudio.



Figura 10. Estaciones de muestreo de la segunda campaña. Laguna de Bojórquez.

La tabla siguiente muestra las coordenadas geográficas de los sitios de muestreo de la segunda campaña (septiembre 2010).

Punto	Latitud N	Longitud O	Altitud
1	21° 7' 58.45462"	86° 45' 22.95807"	4
2	21° 8' 4.94477"	86° 45' 12.33842"	2
3	21° 7' 49.69819"	86° 45' 41.24298"	3
4	21° 7' 12.22472"	86° 46' 3.48958"	2
5	21° 8' 6.82027"	86° 45' 4.74255"	2
6	21° 8' 7.40000"	86° 45' 0.82385"	2
7	21° 8' 7.97754"	86° 44' 55.44899"	2

Tabla 6. Coordenadas geográficas de los puntos de muestreo de la segunda campaña.

Para esta segunda campaña sólo se analizó en los siete sitios de muestreo el contenido de materia orgánica en sedimentos como un indicador de contaminación debido a la ausencia de normatividad que sirva de referencia.

Para el muestreo y análisis de los parámetros antes citados se contrató al laboratorio ABC S.A. de C.V. que se encuentra acreditado ante la Entidad Mexicana de Acreditación A.C. (EMA) por lo que tanto el procedimiento de muestreo como el de análisis está completamente estandarizado conforme a las normas citadas en las tablas 8 y 9 y a los estándares de calidad de la EMA.

Para valorar la calidad del agua de la Laguna de Bojórquez, se tomaran en cuenta como criterios de referencia aquellos que establece la normatividad vigente, NOM-001-ECOL-1996, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 06 de enero de 1997, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales con el objeto de proteger su calidad y posibilitar sus usos y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas (tabla 7). Cabe mencionar que esta Norma no es aplicable a las descargas de aguas provenientes de drenajes pluviales independientes.

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-001-ECOL-1996				
PARÁMETRO	UNIDADES	AGUAS COSTERAS		
		EXPLOTACIÓN PESQUERA	RECREACIÓN	ESTUARIOS
Temperatura	°C	40	40	40
Grasas y Aceites	mg/L	15	15	15
Materia flotante	mg/L	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos sedimentables	mL/L	1	1	1
SST	mg/L	150	75	75
DBO	mg/L	150	75	75
Nitrógeno total	mg/L	NA	NA	15
Fósforo total	mg/L	NA	NA	5

Tabla 7. Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996.

Además de la NOM-001 se tomarán en cuenta como documentos de apoyo el Reglamento de prevención y control de la contaminación del agua, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 29 de marzo de 1973, donde menciona el cumplimiento de las condiciones particulares de descarga de aguas residuales (tabla 8).

REGLAMENTO PARA LA PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS (D.O.F. 29 DE MARZO DE 1973)				
		AGUAS COSTERAS		
PARÁMETRO	UNIDADES	Recreación con contacto primario	Usos recreativos sin contacto primario	Explotación pesquera de especies de escama
pH	UpH	condiciones naturales más o menos 0.3 unidades	condiciones naturales más o menos 0.4 unidades	condiciones naturales más o menos 0.4 unidades
Temperatura	°C	condiciones naturales más o menos 10%, no exceder 32	condiciones naturales más o menos 10%, no exceder 32	condiciones naturales más o menos 10%, no exceder 32
Oxígeno Disuelto	mg/L	90% de las condiciones naturales, nunca menor de 5	90% de las condiciones naturales, nunca menor de 5	90% de las condiciones naturales, nunca menor de 5
Coliformes	NMP/100 mL	Menor a 1000	Menor a 2000	Menor a 10000
Materia flotante	mL/L	Ausente	Ausente	Ausente
Transparencia	m	La media mensual no podrá disminuirse en más de una desviación estándar de la media determinada en el mismo periodo para los niveles naturales	La media mensual no podrá disminuirse más de una media veces la desviación estándar de la media determinada en el mismo periodo para los niveles naturales	La media mensual no podrá disminuirse más de una media veces la desviación estándar de la media determinada en el mismo periodo para los niveles naturales

Tabla 8. Reglamento de prevención y control de la contaminación del agua.

Finalmente, también se tomará en cuenta el documento sobre los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA/001/89, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 13 de diciembre de 1989, que establecen, entre otros, los límites máximos permisibles para la protección de la vida acuática, para riego agrícola, para uso pecuario, para uso en la acuicultura y para el uso recreativo con contacto primario (Tabla 9).

CRITERIOS ECOLÓGICOS DE LA CALIDAD DEL AGUA (D.O.F. 13 DE DICIEMBRE DE 1989)		
		AGUA MARINA
PARÁMETRO	UNIDADES	Protección de la vida acuática
Alcalinidad total	mg/L	Condiciones naturales más o menos 25%
Fosfatos	mg/L	0.002
Nitratos	mg/L	0.04
Nitritos	mg/L	0.002
Nitrógeno amoniacal	mg/L	0.01
Oxígeno disuelto	mg/L	5
pH	UpH	No podrá haber variaciones mayores a 0.2 unidades del valor natural estacional
Sólidos Suspendedos	mg/L	Los sólidos suspendidos en combinación con el color no deben reducir la profundidad del nivel de compensación de la luz por la actividad fotosintética en más de 10% a partir del valor natural
Temperatura	°C	condiciones naturales más o menos 1.5
Coliformes	NMP/100 mL	200
Materia flotante	mL/L	Ausente

Tabla 9. Criterios Ecológicos de la calidad del agua CE-CCA/001/89.

Para los sedimentos no existe normatividad vigente que determine concentraciones máximas de este parámetro en sedimentos lagunares.

Los resultados de los análisis del primer y segundo muestreo de calidad agua y sedimentos se encuentran en las tablas 10 y 11 respectivamente. Cabe señalar que los resultados se presentan en forma de tabla empleando un código de colores que llamaremos Semáforo Ambiental, que indica el parámetro que está dentro o fuera de norma asignando un color para cada caso.

Además de la tabla sólo los parámetros que se encuentran fuera de alguna de las normas consideradas se esquematizan en una figura (figuras 11 y 12) que contiene los puntos de muestreo y únicamente los parámetros que exceden los límites máximos permisibles de las normas tomadas como referencia en este estudio. Para los parámetros que no están considerados en la normatividad vigente pero que sin embargo se analizaron no se consideran dentro del semáforo ambiental y por lo tanto no les corresponde color alguno.

Los resultados de los análisis de la primera y segunda campaña se pueden encontrar expresados bajo tres formas: como un valor numérico, como una leyenda que corresponde a ND que significa que el analito fue medido pero no fue detectado o bien como una leyenda que dice no medido que significa que el parámetro no fue medido.

El semáforo ambiental pone en evidencia que de acuerdo con los resultados de los dos muestreos de calidad de agua realizados en dos épocas (junio y septiembre 2010) la contaminación de la Laguna es mayoritariamente debida a la presencia de nitratos, nitritos y sustancias activas al azul de metileno. Para el caso de los nitritos la contaminación debida a ellos puede ir de moderada a extrema como es el caso del primer muestreo realizado en junio, mientras que en el mes de septiembre se encontró que la contaminación debida a nitritos fue extrema en todas las estaciones muestreadas. Los nitratos dependiendo de la estación de muestreo pasan de la escala moderada a severa de contaminación, mientras que para septiembre pasan de contaminación moderada a extrema.

RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS	
LUGAR:	Laguna de Bojórquez
ESTADO:	Quintana Roo
MUNICIPIO:	Benito Juárez
UBICACIÓN GEOGRÁFICA:	86°45' longitud Noreste 21°08' latitud norte
FECHA DE MUESTREO:	21-Jun-10

SEMAFORO AMBIENTAL	
	NO HAY IMPACTO
	BAJO IMPACTO
	IMPACTO MODERADO
	IMPACTO INTENSO
	IMPACTO SEVERO
	IMPACTO EXTREMO

VALOR PROMEDIO MENOR AL VALOR DE LA NORMA
VALOR PROMEDIO IGUAL AL DE LA NORMA
VALOR PROMEDIO 2 VECES ARRIBA DE LA NORMA
VALOR PROMEDIO 3 VECES ARRIBA DE LA NORMA
VALOR PROMEDIO 4 VECES ARRIBA DE LA NORMA
VALOR PROMEDIO 5 VECES ARRIBA DE LA NORMA

PARÁMETRO	MÉTODO ANALÍTICO	UNIDADES	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	NORMAS QUE EXCEDE		
COORDENADAS GEOGRÁFICAS							N	R	C
Latitud	GPS	m	21°7'55.55061"	21° 7' 44.74925"	21° 7' 35.27424"	21° 7' 14.78868"			
Longitud	GPS	m	86°45'1 6.68764"	86° 45' 37.88802"	86° 45' 31.21229"	86° 45' 59.32556"			
Altitud	GPS	m	8	5	5	6			
PARAMETROS MEDIDOS IN SITU (MUESTRAS DE AGUA)							N	R	C
				superficie	50 cm del suelo	superficie	50 cm del suelo	superficie	50 cm del suelo
Profundidad	multiparamétrico Hanna	m	1.1	2.8	2.8	2.1	2.1	1.63	1.63
Transparencia	multiparamétrico Hanna	m	1.1	2.8	2.8	2.1	2.1	1.63	1.63
pH	multiparamétrico Hanna	UpH	8.14	8.28	8.27	8.34	8.3	8.28	8.26
T	multiparamétrico Hanna	°C	33	32.8	33	33	33.4	33.23	33.28
OD	multiparamétrico Hanna	mg/L	2.51	3.33	2.97	3.39	3.29	3.05	2.78
Conductividad	multiparamétrico Hanna	microSiemens	40410	41350	41010	41090	41130	41010	41010
% Saturación	multiparamétrico Hanna	%	50.5	80.1	85.7	94.9	93.4	84.5	79
PARAMETROS ANALIZADOS EN LABORATORIO (MUESTRAS DE AGUA)							N	R	C
Coliformes fecales	NMX AA-042-1987	NMP/100 mL	ND	ND	no medido	ND	no medido	ND	no medido
Coliformes Totales	NMX AA-042-1987	NMP/100 mL	ND	ND	no medido	ND	no medido	ND	no medido
DBO total	NMX AA-028-SCFI-2001	mg/L	ND	ND	no medido	ND	no medido	ND	no medido
DQO total	NMX AA-030-SCFI-2001	mg/L	165	237	no medido	287	no medido	305	no medido
Fosfatos solubles (orto)	NMX AA-029-SCFI-2001/EPA 365.1-1984	mg/L	ND	ND	no medido	ND	no medido	ND	no medido
Grasas y aceites	NMX AA-005-SCFI-2000	mg/L	ND	ND	no medido	ND	no medido	ND	no medido
SAAM	NMX AA-039-SCFI-2001	mg/L	0.21	0.42	no medido	0.16	no medido	0.36	no medido
Salinidad	SM 20th 2520B-1998	g/kg	35.2	34.53	no medido	34.65	no medido	35.08	no medido
SDT	NMX AA-034-SCFI-2001	mg/L	36174	36256	no medido	36239	no medido	36310	no medido
SST	NMX AA-034-SCFI-2001	mg/L	ND	ND	no medido	6.8	no medido	32	no medido
Alcalinidad total	NMX AA-036-SCFI-2001	mg/L CaCO ₃	136	135	no medido	130	no medido	132	no medido
Alcalinidad a la fenolftaleína	NMX AA-036-SCFI-2001	mg/L CaCO ₃	ND	ND	no medido	ND	no medido	ND	no medido
Bicarbonatos	NMX AA-036-SCFI-2001	mg/L CaCO ₃	136	135	no medido	130	no medido	132	no medido
Carbonatos	NMX AA-036-SCFI-2001	mg/L CaCO ₃	ND	ND	no medido	ND	no medido	ND	no medido
Hidroxilos	NMX AA-036-SCFI-2001	mg/L CaCO ₃	ND	ND	no medido	ND	no medido	ND	no medido
Nitrógeno Total	SUMA DE N-NO ₃ +N-NO ₂ +NTK	mg/L	2.3	1.61	no medido	1.53	no medido	1.41	no medido
Nitritos	NMX AA-099-SCFI-2006/EPA 353.2-1983	mg/L	0.072	0.0806	no medido	0.0043	no medido	ND	no medido

PARÁMETRO	MÉTODO ANALÍTICO	UNIDADES	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	NORMAS QUE EXCEDE			
COORDENADAS GEOGRÁFICAS										
Latitud	GPS	m	21°7'55.55061"	21° 7' 44.74925"	21° 7' 35.27424"	21° 7' 14.78868"				
Longitud	GPS	m	86°45'16.68764"	86° 45' 37.88802"	86° 45' 31.21229"	86° 45' 59.32556"				
Altitud	GPS	m	8	5	5	6				
Nitratos	NMX AA-079-SCFI-2001/EPA 353.2-1983	mg/L	0.157	0.1542	no medido	0.1453	no medido	0.0336	no medido	X
NTK	NMX AA-026-SCFI-2001/EPA 351.2-1978	mg/L	2.0662	1.3774	no medido	1.3774	no medido	1.3774	no medido	
Fósforo total	NMX AA-029-SCFI-2001/EPA 351.1-1978	mg/L	ND	ND	no medido	ND	no medido	ND	no medido	
PARÁMETROS ANALIZADOS EN LABORATORIO (MUESTRAS DE SEDIMENTOS)										
Coliformes fecales	EPA 9131-1986/EPA 1680-1998	NMP/10 g	ND	ND	ND	ND				
Coliformes Totales	EPA 9131-1986/EPA 1680-1998	NMP/100 mL	ND	ND	ND	ND				
Materia orgánica	AS-07, NOM-021-SEMARNAT-2000	% B.S	13.4	10.7	15.9	29.5				
Nitratos	MSA 62-1	mg/kg	0.048	0.066	0.103	0.062				
Nitritos	MSA 62-1	mg/kg	1.836	1.825	1.922	1.991				
pH (suelos, residuos)	EPA 9045D-2004		7.46	7.65	7.76	7.79				
Alcalinidad total	MSA 91.4	m	1363.9	1082.4	1180.2	844.7				
Alcalinidad a la fenolftaleína	MSA 91.4	mgCaCO3/ kg	ND	ND	ND	ND				
Carbonatos	MSA 91.4	mgCaCO3/ kg	ND	ND	ND	ND				
Bicarbonatos	MSA 91.4	mgCaCO3/ kg	1363.9	1082.4	1180.2	844.7				
Hidroxilos	MSA 91.4	mgCaCO3/ kg	ND	ND	ND	ND				
NTK	EPA 351.2-1978	mg/kg	16.53	92.29	13.77	11.02				
Fósforo total	MSA 73-3	mg/kg	114.3	103.8	94.79	73.95				

Tabla 10. Resultados analíticos de la campaña de muestreo del mes de junio de 2010.

LUGAR:	Laguna de Bojórquez
ESTADO:	Quintana Roo
MUNICIPIO:	Benito Juárez
UBICACIÓN GEOGRÁFICA:	86°45' longitud Noreste 21°08' latitud norte
FECHA DE MUESTREO:	09-Sep-10

SEMÁFORO AMBIENTAL	
NO HAY IMPACTO	VALOR PROMEDIO MENOR AL VALOR DE LA NORMA
BAJO IMPACTO	VALOR PROMEDIO IGUAL AL DE LA NORMA
IMPACTO MODERADO	VALOR PROMEDIO 2 VECES ARRIBA DE LA NORMA
IMPACTO INTENSO	VALOR PROMEDIO 3 VECES ARRIBA DE LA NORMA
IMPACTO SEVERO	VALOR PROMEDIO 4 VECES ARRIBA DE LA NORMA
IMPACTO EXTREMO	VALOR PROMEDIO 5 VECES ARRIBA DE LA NORMA

PARÁMETRO	MÉTODO ANALÍTICO	UNIDADES	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	PUNTO 5	PUNTO 6	PUNTO 7	NORMAS QUE EXCEDE		
COORDENADAS GEOGRÁFICAS												
Latitud	GPS	m	21° 7' 58.45"	21° 8' 4.94"	21° 7' 49.69"	21° 7' 12.22"	21° 8' 6.82"	21° 8' 7.40"	21° 8' 7.97"			
Longitud	GPS	m	86° 45' 22.95"	86° 45' 12.33"	86° 45' 41.24"	86° 46' 3.48"	86° 45' 4.74"	86° 45' 0.82"	86° 44' 55.44"			
Altitud	GPS	m	4	2	3	2	2	2	2			
PARÁMETROS MEDIDOS IN SITU (MUESTRAS DE AGUA)												
										N	R	C
T	multiparamétrico Hanna	°C	31.8	33	31.8	32.6	32.7	32.2	32.3		X	
OD	multiparamétrico Hanna	mg/L	3.39	3.78	4.1	3.9	4.01	3.59	3.63		X	X
pH	multiparamétrico Hanna	UpH	7.3	6.63	7.01	7.07	6.62	6.32	7.2		X	X
PARÁMETROS ANALIZADOS EN LABORATORIO (MUESTRAS DE AGUA)												
Coliformes fecales	NMX AA-042-1987	NMP/100 mL	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND			
Coliformes Totales	NMX AA-042-1987	NMP/100 mL	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND			
DBO total	NMX AA-028-SCFI-2001	mg/L	ND	3	ND	4	4	ND	4			
DQO total	NMX AA-030-SCFI-2001	mg/L	91	95	87	95	109	100	95			
Fosfatos solubles (orto)	NMX AA-029-SCFI-2001/EPA 365.1-1984	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND			
Grasas y aceites	NMX AA-005-SCFI-2000	mg/L	2.8	3.3	ND	2.9	2.9	ND	ND			
SAAM	NMX AA-039-SCFI-2001	mg/L	0.11	0.23	0.28	0.16	0.04	0.06	0.09		X	X
Salinidad	SM 20th 2520B-1998	g/kg	35.98	35.86	35.98	35.75	36.22	35.86	36.1			
SDT	NMX AA-034-SCFI-2001	mg/L	33685	34678	34586	34119	34105	34083	34099			
SST	NMX AA-034-SCFI-2001	mg/L	19.3	11.8	7.8	7.5	19.5	18.8	13.3			
Alcalinidad total	NMX AA-036-SCFI-2001	mg/L CaCO ₃	143	143	141	140	143	143	142			
Alcalinidad a la fenolftaleína	NMX AA-036-SCFI-2001	mg/L CaCO ₃	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND			
Bicarbonatos	NMX AA-036-SCFI-2001	mg/L CaCO ₃	143	143	141	140	143	143	142			
Carbonatos	NMX AA-036-SCFI-2001	mg/L CaCO ₃	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND			
Hidroxilos	NMX AA-036-SCFI-2001	mg/L CaCO ₃	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND			
Nitrógeno Total	SUMA DE N-NO ₃ +N-NO ₂ +NTK	mg/L	10.8	10.27	1.2	0.98	0.94	0.99	1.09			
Nitritos	NMX AA-099-SCFI-2006/EPA 353.2-1983	mg/L	0.0473	0.0409	0.0454	0.0429	0.0198	0.0447	0.0396			X
Nitratos	NMX AA-079-SCFI-2001/EPA 353.2-1983	mg/L	0.0859	0.0697	0.0858	0.0841	0.0288	0.0795	0.0677			X
NTK	NMX AA-026-SCFI-2001/EPA 351.2-1978	mg/L	10.669	10.159	1.068	0.8576	0.8961	0.8679	0.9822			
Fósforo total	NMX AA-029-SCFI-2001/EPA 351.1-1978	mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND			

PARÁMETRO	MÉTODO ANALÍTICO	UNIDADES	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	PUNTO 5	PUNTO 6	PUNTO 7			
COORDENADAS GEOGRÁFICAS												
<i>Latitud</i>	GPS	m	21° 7' 58.45"	21° 8' 4.94"	21° 7' 49.69"	21° 7' 12.22"	21° 8' 6.82"	21° 8' 7.40"	21° 8' 7.97"			
<i>Longitud</i>	GPS	m	86° 45' 22.95"	86° 45' 12.33"	86° 45' 41.24"	86° 46' 3.48"	86° 45' 4.74"	86° 45' 0.82"	86° 44' 55.44"			
<i>Altitud</i>	GPS	m	4	2	3	2	2	2	2	NORMAS QUE EXCEDE		
PARÁMETROS ANALIZADOS EN LABORATORIO (MUESTRAS DE SEDIMENTOS)												
Materia orgánica	AS-07, NOM-021-SEMARNAT-2000	% B.S	6.1	8.3	17.1	13.1	20.1	17.8	13.5			

Tabla 11. Resultados analíticos de la campaña de muestreo del mes de septiembre de 2010.

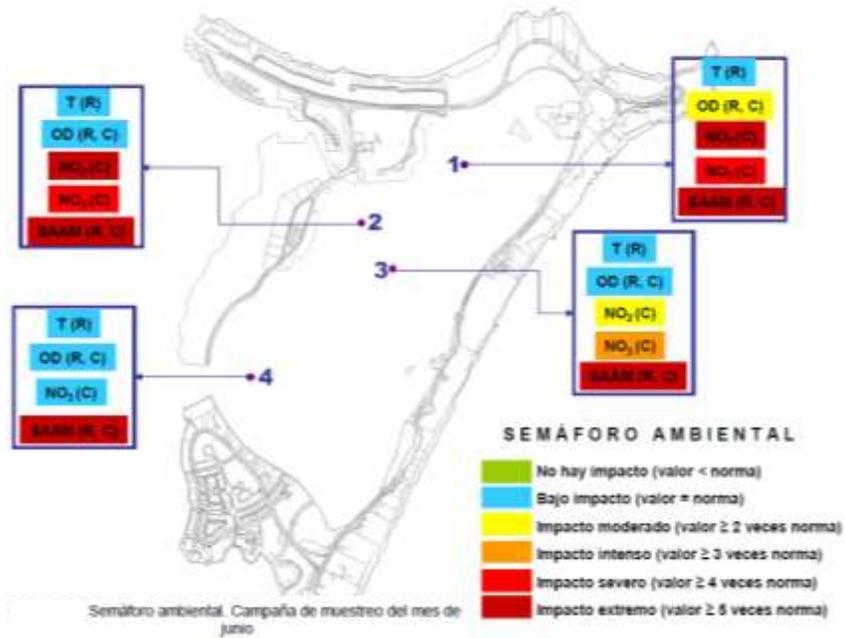


Figura 11. Semáforo ambiental. Campaña de muestreo del mes de junio de 2010.

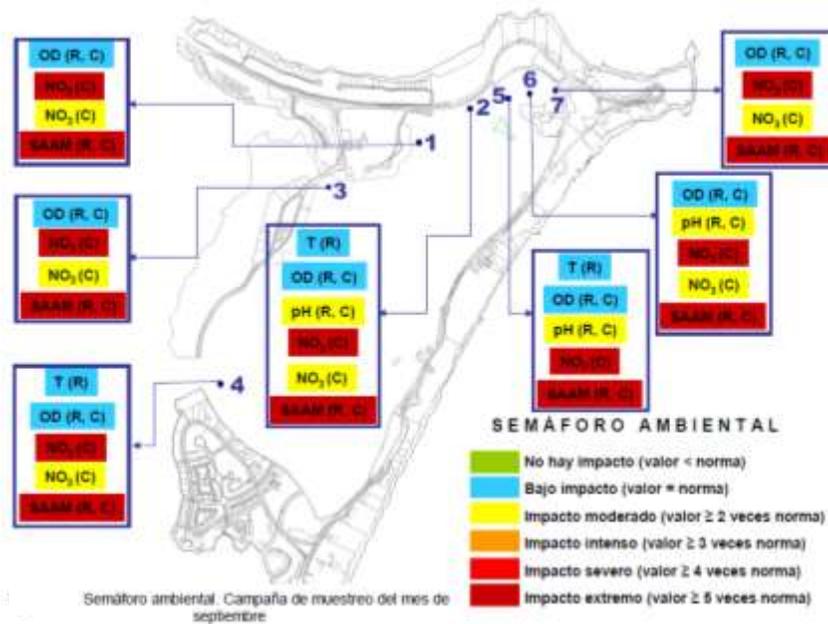


Figura 12. Semáforo ambiental. Campaña de muestreo del mes de septiembre de 2010.

El ciclo del nitrógeno en los cuerpos de agua costeros está determinado por un lado, por procesos biológicos básicamente, y por el otro, por procesos sedimentológicos. Según las condiciones de oxidación y reducción de la columna de agua, pueden desarrollarse procesos biológicos de amonificación, nitrificación, desnitrificación o fijación de nitrógeno molecular disuelto en el agua. Estos procesos se llevan a cabo gracias a microorganismos específicos para cada caso.

Los aportes de nitratos y nitritos en la Laguna de Bojórquez pueden deberse en gran medida a las descargas de aguas residuales en la periferia de la Laguna. Sin embargo, las aguas subterráneas también pueden ser una fuente importante de estas formas de nitrógeno que pueden conducir a una significativa desnitrificación en los sedimentos. Los sedimentos pueden convertirse en una fuente potencial e incluso crítica de nutrientes como el amonio y los ortofosfatos debido a su redistribución por procesos de disolución, desadsorción, autólisis y respiración. La morfología del cuerpo de agua así como la dinámica de circulación pueden jugar un papel determinante en la liberación de nutrientes. Existen sedimentos cuya capacidad de retención de nutrientes es baja pero su adsorción puede ser inmediata a bajas concentraciones, por el contrario, altas concentraciones pueden causar una disminución en la adsorción y provocar una acumulación en la fase acuática (Arenas y De la Lanza, 1990). La liberación de nutrientes depende de las condiciones locales como textura del sedimento, frecuencia de aportes de materiales orgánicos, tasas de sedimentación, corrientes y circulación, profundidad, tránsito de lanchas, además de factores ambientales. Cabe mencionar que la vegetación adyacente a las lagunas costeras contribuye con nutrientes a través de su descomposición en más de un 90%.

En lo que a las SAAM concierne en ambos periodos de muestreo y en todas las estaciones de muestreo la contaminación se encuentra en la escala de extrema.

Las SAAM mide la concentración de tensoactivos que contiene la muestra de agua. Éstos entran en las aguas limpias y residuales principalmente por descarga de residuos acuosos del lavado doméstico e industrial de ropa y otras operaciones de limpieza. Para el caso específico de la Laguna de Bojórquez se detectó una descarga de aguas residuales cuyas características de olor y color de agua correspondían a aguas residuales de lavandería, sin embargo, este estudio sugiere la caracterización fisicoquímica y microbiológica de la descarga para conocer a ciencia cierta el aporte de contaminantes a la Laguna. Un alto contenido de detergentes en agua puede provocar formación de espuma, toxicidad para la vida acuática y crecimiento desmesurado de la flora acuática por el aporte de fosfatos (NMX-AA-039-SCFI-2001). Cabe mencionar que la descarga clandestina que se encuentra frente al hotel Meliá corresponde de acuerdo a lo observado a aguas provenientes de lavandería, esto ratifica el hecho de que a la Laguna están entrando residuos acuoso de lavado que contribuyen al aporte de SAAM. Este estudio recomienda ampliamente la realización de un censo de descargas clandestinas tanto de día como de noche abarcando distintas épocas, así como su caracterización fisicoquímica y la medición del aporte de caudales para conocer el grado aporte a la contaminación de la laguna de estas descargas.

Este estudio recomienda igualmente realizar un estudio sobre la concentración de contaminantes así como el seguimiento de su ciclo en sedimentos con el fin de detectar la fuente principal de nutrientes a la Laguna.

El oxígeno disuelto (OD) por su parte, siempre se mantuvo por debajo de los límites máximos permisibles de las normas que es de 5 mg/L alcanzando un nivel de contaminación etiquetado como de bajo impacto. En la primera campaña los valores fueron cercanos a 3 mg/L mientras que en la segunda se acercaban más a 4 mg/L. Aunque estos valores se encuentran por debajo

de lo sugerido por la normatividad de referencia de este estudio, pueden ser “normales” para la Laguna de Bojórquez. Si se toma en cuenta que la Laguna presenta una alta productividad primaria y que se encuentra rodeada por manglar entonces es posible que estos bajos valores de oxígeno disuelto sean el resultado de respiraciones, generalmente nocturnas y al amanecer, y/o cargas orgánicas detríticas autóctonas de la vegetación como fanerógamas sumergidas, macroalgas y comunidad de manglar. Esto, sin dejar de tener presente que los aportes de las aguas residuales clandestinas vertidas a la Laguna representan un aporte crónico de materiales que en sistemas someros y de baja amplitud de marea como la Laguna de Bojórquez abaten el oxígeno disponible para los procesos metabólicos de la comunidad local.

Es importante señalar que diversos factores pueden estar involucrados en el contenido de oxígeno disuelto en la Laguna de Bojórquez, entre ellos figuran: la geomorfología asociada a la dinámica de circulación, los aportes de materiales de vegetación de manglar circundante que consumen oxígeno durante su descomposición, los fenómenos meteorológicos que afectan el litoral mexicano e incrementan el intercambio gaseoso, los aportes de aguas subterráneas con bajos contenidos de oxígeno, las tasas fotosintéticas y las descargas directas de aguas residuales. En la medida en que todos ellos actúen de manera sinérgica causaran efectos adversos en la concentración de oxígeno disuelto de la Laguna.

7.1.2 Batimetría

Debido a que se cuenta con escasa información reciente sobre la configuración del fondo de la Laguna de Bojórquez en este estudio se llevó a cabo el estudio batimétrico de la Laguna en el mes de noviembre del año 2010.

Para realizar el levantamiento de datos se empleó una lancha tipo Zodiac y una ecosonda marca Garmin Serie GPSMAP 551. Los transectos fueron trazados de este a oeste en forma de zigzag cubriendo lo largo de la Laguna como muestra la figura 13.

El procesamiento de los datos obtenidos se realizó con ayuda del software correspondiente para tal fin obteniendo el perfil que se muestra en la figura 14.

De los datos de batimetría se desprende que la Laguna de Bojórquez tiene un volumen de 4.4536 km³, un área de 236.9325 ha y una profundidad promedio de 1.94 m tomando en cuenta todos los puntos de medida sobre la Laguna (1,839 puntos).

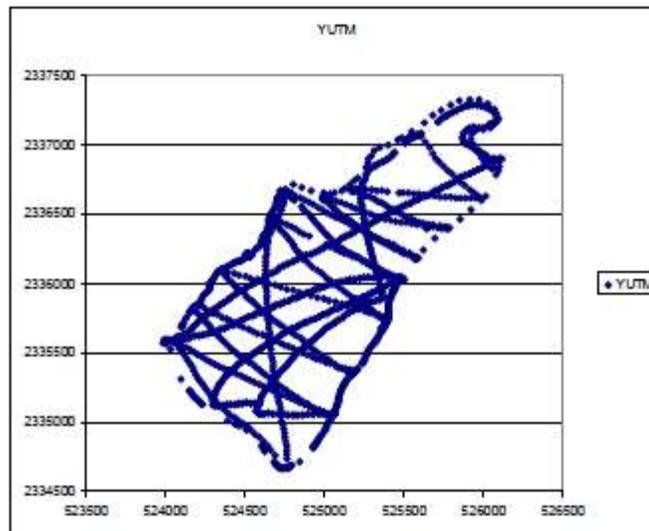


Figura 13. Trayectoria de los transectos previos a obtener el Perfil Batimétrico de la Laguna de Bojórquez.

El mapa batimétrico revela que la periferia de la Laguna es muy somera, con menos de un metro de profundidad (figura 14). Las zonas más profundas de la Laguna se encuentran entre los 3 y 4 m (color verde a azul marino) y coinciden con las zonas que fueron dragadas durante la construcción de Cancún y que se mostraron en la figura 6 del apartado IV.

Estas zonas profundas podrían tener una participación importante en el deterioro ambiental de la Laguna. En la parte norte de la Laguna puede observarse claramente la existencia de una "poza" con una profundidad entre 3 y 4 m rodeada por bajos que van de 0.5 a 1.5 m aproximadamente. Esta situación particular resulta ser la parte más afectada por la contaminación. Una explicación puede encontrarse en la "poza" cuya profundidad es tal que los contaminantes que se depositan en su fondo no tienen muchas posibilidades de ser removidos ni por acción del viento, ni por la acción de la marea. Es decir, que el intercambio de agua es nulo. Si no existe recambio de agua, la materia orgánica que se deposita sufre una descomposición anaeróbica generando malos olores debido a la producción de gases. Si a esto se suma el enriquecimiento en nutrientes debido al vertido directo de aguas residuales crudas hacia la Laguna el resultado es sin duda la proliferación de malezas acuáticas y malos olores, signos visibles de contaminación.

El resto de las zonas profundas derivadas del dragado no presentan la misma problemática, al menos no a la misma escala, debido a su cercanía con las bocas de comunicación con el resto del Sistema Lagunar lo que contribuye al recambio de agua, además de que en estas zonas el vertido directo de contaminantes no es considerable como se observa en la parte norte de la Laguna.

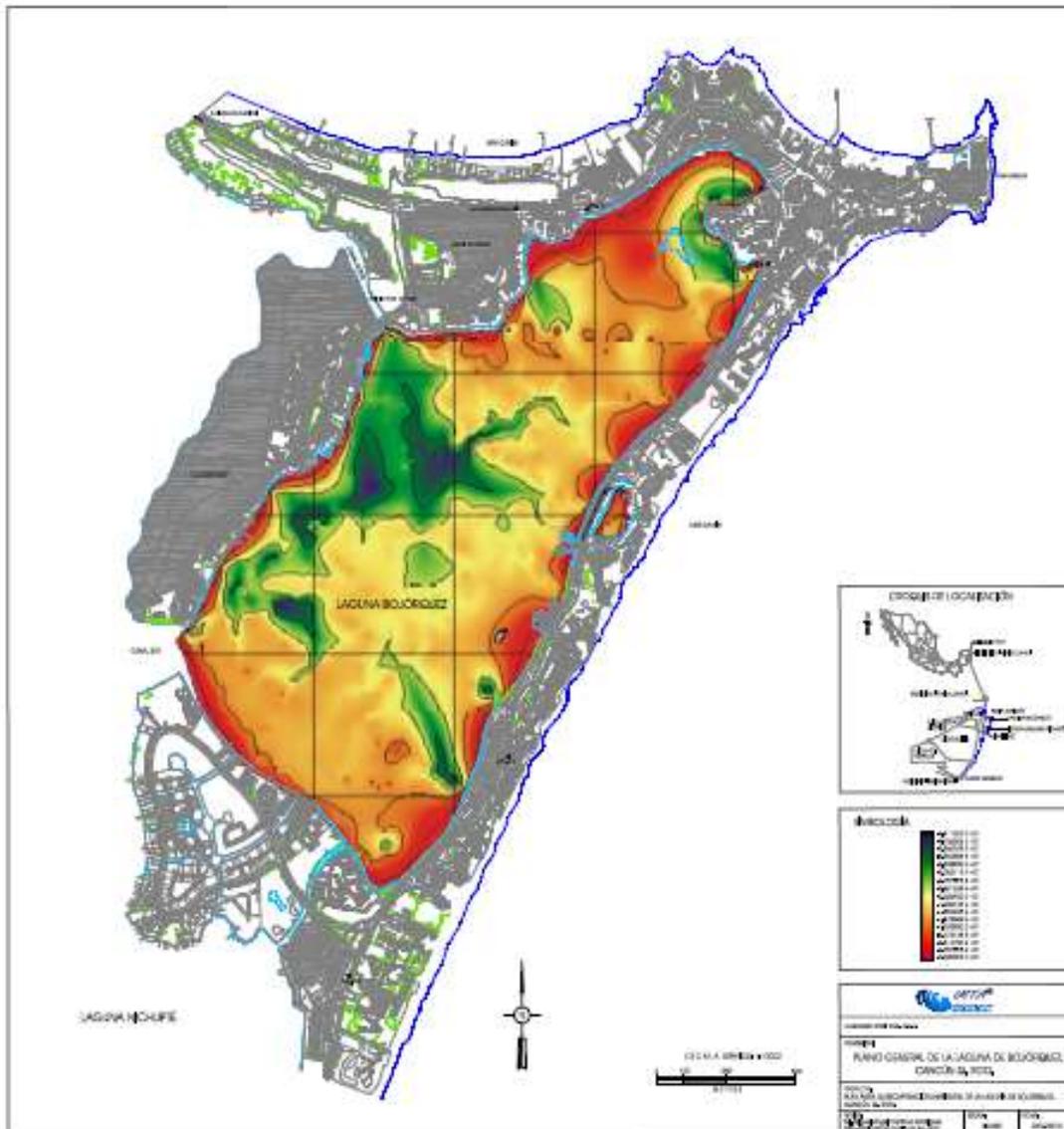


Figura 14. Perfil Batimétrico de la Laguna de Bojórquez.

7.1.3 Análisis histórico de las características de la Laguna de Bojórquez

En la sección anterior (7.1.1) se cotejaron los resultados obtenidos en las dos campañas de muestreo con la normatividad vigente, en base a ello se establecieron criterios para determinar el grado de contaminación de la Laguna tomando como referencia parámetros de calidad aceptados y validados como valores máximos permisibles.

Ahora se procederá a analizar la base de datos histórica de algunos parámetros analíticos que fueron reportados en la bibliografía. Esto ayudará a tener una panorámica del comportamiento histórico de la Laguna, además de ser una herramienta más para cotejar si la Laguna realmente ha modificado su concentración de contaminantes y en qué medida.

El presente análisis histórico sobre las características de la Laguna de Bojórquez se basa en los estudios previos de diversas instituciones gubernamentales y de investigación.

Cancún es el principal receptor de turismo extranjero del país. Gracias al sector turístico Cancún genera más de 100 000 empleos directos e indirectos siendo una de las ciudades más importantes de la República Mexicana. Sin embargo, la sobredensificación y la saturación de servicios sobrepasan en gran medida la infraestructura hidrosanitaria del lugar trayendo consigo el deterioro de los recursos naturales como la Laguna de Bojórquez. Si bien es cierto que las actividades humanas que se desarrollan en los márgenes de la Laguna generan bienes y servicios para la población, también provocan fuertes daños al medio ambiente.

La Laguna de Bojórquez comenzó a oler mal a mediados de los ochenta debido al vertido de aguas negras que la fueron enriqueciendo con materia orgánica. Fue en el año de 1992 cuando se hizo pública la existencia de descargas clandestinas hacia la Laguna gracias a un estudio realizado por la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología Delegación Quintana Roo publicado en 1992 (INE, 1992). El estudio involucra el monitoreo mensual de la calidad del agua de la Laguna durante 1991 en dos estaciones de muestreo (cerca de los canales norte y sur) donde se analizaron 18 parámetros de calidad de agua. El estudio jerarquiza a la Laguna de Bojórquez en un nivel de degradación alto justo después del cuerpo de agua más degradado del Estado en aquella época (Las Salinas en Isla Mujeres).

En enero de 1992 se llevó a cabo, sobre todo el Sistema Lagunar de Nichupté, un operativo de detección y clausura de descargas clandestinas, en donde participó la SEDUE y las Gerencias Nacional y Estatal de la Comisión Nacional del Agua.

Durante ese operativo se clausuraron 5 descargas netas de agua residual y de flujo importante quedando pendientes de inspeccionar un total de 18 establecimientos entre hoteles y restaurantes (INE, 1992).

Derivado de este estudio la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología recomendó verificar la construcción adecuada de los pozos de absorción de las plantas de tratamiento de aguas residuales, ampliar las redes de drenaje así como canalizar las aguas residuales clandestinas hacia la red de drenaje.

En este estudio pudo constatar que la zona más contaminada se ubica en Punta Cancún donde se contabilizaron al menos 30 descargas hacia la Laguna, principalmente descargas de alcantarillado pluvial a cada 20 a 50 m (figura 15). La mayor parte de las descargas se localizan entre el hotel Presidente Intercontinental al mercado Coral Negro.

En la tabla 12 se muestran las coordenadas geográficas de las descargas de aguas residuales a la Laguna de Bojórquez encontradas durante los recorridos efectuados tanto en el interior como el exterior del cuerpo lagunar. En esta misma tabla, se muestran las coordenadas geográficas de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, Pok-Ta-Pok, Gucumatz y El Rey.



Figura 15. Descargas tipo de aguas pluviales hacia la Laguna de Bojórquez (izquierda) y hacia el Sistema Lagunar de Nichupté (derecha).

DESCARGA	CLAVE	E	N	ELEVACIÓN
				msnm
-1	D 101-0238	524908	2334776	6
-2	D 101-0233	525469	2337069	15
-3	D 101-0230	525781	2337236	3
-4	D 101-0229	525917	2337309	6
-5	D 101-0224	526081	2337255	4
-6	D 101-0222	526096	2337233	12
-7	D 101-0217	526134	2337176	9
-8	D 101-0242	522574	2328162	26
	PTAR "Pok Ta Pok"	524855	2336885	6
	PTAR "El Rey"	522647	2328578	19
	PTAR "Gucumatz"	523135	2330630	1

Tabla 12. Coordenadas UTM Datum NAD 83 de las descargas de aguas residuales vertidas a la Laguna de Bojórquez.



Figura 16. Descargas 1 (izquierda) y 3 (derecha) de aguas residuales.



Figura 17. Descargas 4 (izquierda) y 5 (derecha) de aguas residuales.



Figura 18. Descargas 6 (izquierda) y 7 (derecha) de aguas residuales.



Figura 19. Descarga 8 de aguas residuales.

7.1.3.1 Características físicas de la Laguna de Bojórquez

A continuación se presenta una breve descripción de la evolución de las características físicas de la Laguna de Bojórquez a través de los años de acuerdo con reportes de la literatura desde 1972 hasta 2010. Los resultados que sirvieron de base para el análisis de esta sección se encuentran concentrados en la tabla 13.

En la tabla 13 se observa de arriba hacia abajo el semáforo ambiental que ya fue descrito en la sección correspondiente a la calidad del agua de la Laguna. Enseguida se encuentra la fecha en que se realizó el estudio o muestreo y después viene el número de estaciones.

Cabe mencionar que los valores de los parámetros de la tabla, son el valor promedio del número de estaciones muestreadas. Estos resultados solo deben tomarse a título indicativo, ya que la experiencia dicta que existe una dinámica muy marcada en la Laguna de Bojórquez que es altamente dependiente de las variaciones estacionales, diurnas y horarias. Es por ello que para que los resultados de un estudio se puedan comparar con otro es necesario realizar el muestreo en la misma época, con el mismo número de estaciones, en los mismos puntos de muestreo y bajo las condiciones de toma de muestra y análisis similares para evitar sesgos. Sin embargo, esto no se ha realizado a la fecha, por lo que estos datos solamente nos dan una idea del comportamiento a través del tiempo de la calidad ambiental de la Laguna.

RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS ENTRE 1972 Y 2010

SEMAFORO AMBIENTAL													
	NO HAY IMPACTO	VALOR PROMEDIO MENOR AL VALOR DE LA NORMA											
	BAJO IMPACTO	VALOR PROMEDIO IGUAL AL DE LA NORMA											
	IMPACTO MODERADO	VALOR PROMEDIO 2 VECES ARRIBA DE LA NORMA											
	IMPACTO INTENSO	VALOR PROMEDIO 3 VECES ARRIBA DE LA NORMA											
	IMPACTO SEVERO	VALOR PROMEDIO 4 VECES ARRIBA DE LA NORMA											
	IMPACTO EXTREMO	VALOR PROMEDIO 5 VECES ARRIBA DE LA NORMA											
FECHA DE MUESTREO	1972	1975	1985	1987	1991	1992	1993	1995	2002	2003	2006	2010	2010
NUMERO DE ESTACIONES	NE	4	11	3	4	2	2	6	NE	NE	2	4	7
Temperatura	30	24.39	29.2	29.48	30	28.34	28.55	29.48	33	23.3	27.9	33	32.34
Transparencia		2.58					1.65					1.9	
Salinidad	37.5		35.66	35.33	31.85			25.03			31.3	34.87	35.96
pH		8.21				7.705	8.035	8.6	7.82	7.92	8.13	8.26	6.9
OD		5.48		7.23		6.095	6.485	6.92			7.42	3.07	3.77
Conductividad		53.58				34.88	52					40.97	
DBO		0.72					2		0.29	0.82			4
DQO		32.15					120	40.78				248.5	96
Nitrógeno orgánico		0.1375						0.42					
Nitrógeno amoniacal		0.09		0.004		0.055		0.24			0.704		
Nitratos		0.0004		0.0035			0.0515				4.74	0.123	0.07
Nitritos				0.00045							0.067	0.062	0.04
Fosfatos		0.63		0.00088		0.0005	0.0005	0.0005			0.25		
Alcalinidad Total		137.73										133.26	142.14
SAAM						0.95	0.513					0.2375	0.14
G y A		0.59				57.66	43.3						2.98
SST							29.69	71.9				19.4	14
SDT		38963.69					35113					36244.75	34193.57
Coliformes totales		59.88					71						
Coliformes fecales		3					13	11					

Las unidades están expresadas en mg/L, salvo para temperatura (°C), transparencia (m), pH (UpH), conductividad (mmhos/cm) y coliformes totales y fecales (NMP/100mL).
NE: no especificado

1972: Estudio realizado entre noviembre de 1971 a febrero de 1972. Jordan, E., Angot, M., y de la Terre, R. (1978).

1975: Estudio realizado por Aiz y Asociados S.A. El valor mostrado en cada estación de muestreo (9 a 12) corresponde al promedio calculado a partir de datos semanales de calidad de agua realizados durante el periodo del 30 de octubre de 1975 al 09 de enero de 1976.

1985: Estudio realizado entre mayo de 1985 y octubre de 1986 en 11 estaciones. Los valores mostrados son los resultados promedio de todas las estaciones. González, A., Merino, M., Czitrom S. (1992).

1987: Estudio realizado en el Laboratorio de Oceanografía de la UNAM. Valores promedio para cada estación de muestreo de los meses de febrero, abril, julio y agosto del año 1987. Cuihuac, S. S. E. 1987

1991: Estudio realizado de enero a diciembre de 1991 en 4 estaciones de muestreo sobre la Laguna de Bojórquez. Segura, P. L., Damas, R. M. (1997).

1992 y 1993: Estudio realizado por la Comisión Nacional del Agua de la Gerencia Estatal de Quintana Roo. Valor promedio de los meses de enero, marzo, mayo, junio, septiembre y noviembre de 1992 y 1993.

1995: Estudio realizado por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Valores promedio medidos en los días 8 y 9 de noviembre de 1995

2002 y 2003: Estudio realizado por el Instituto de Investigaciones y Estudios Avanzados de Yucatán. Valores promedio del mes de julio (estación J-02) y del mes de enero (estación E-03) de los años 2002 y 2003 respectivamente.

2006: Valores promedio para dos estaciones de muestreo en los meses de noviembre 2006, marzo, julio y agosto de 2007. Carbajal, P. N. 2009

2010: Estudio realizado por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Valores promedio medidos en los días 21 de julio y 8 de septiembre de 2010

Tabla 13. Monitoreo ambiental histórico de la Laguna de Bojórquez.

a) Temperatura

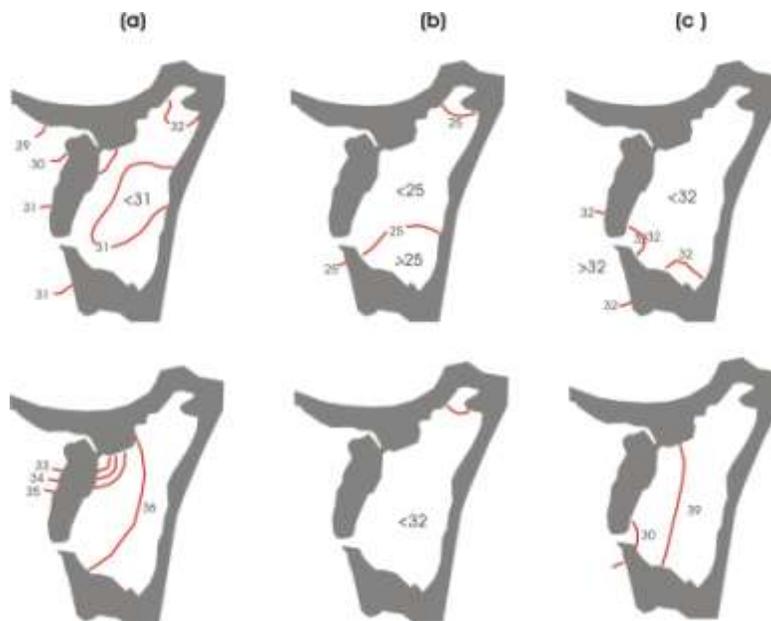
La Laguna responde a un intervalo de temperaturas entre 23 y 33 °C. De acuerdo con el concentrado de análisis históricos, los valores de la temperatura en su mayoría son elevados, esto puede deberse a que la configuración de la Laguna es casi cerrada por lo que sus dimensiones seguramente influyen en este fenómeno, además de su posición geográfica.

b) Circulación y mezcla

Hablar de la Laguna de Bojórquez es evocar un cuerpo de agua somero con escaso intercambio de agua con el SLN y nulo con el mar. Sin embargo quizá esto no sea del todo cierto. De acuerdo con un estudio realizado por Jordan de noviembre de 1971 a febrero de 1972 sobre el SLN, se observó que los vientos dominantes para esa época eran de S-SE excepto cuando sopla "el norte". El autor también observó un movimiento continuo de la capa de agua superficial del este al oeste, lo que probablemente favorecía el proceso de mezcla, ya que la dirección dominante tanto del viento como del agua era contraria a los gradientes de salinidad y temperatura. Las mareas de acuerdo con el autor eran de tipo semidiurno y de muy pequeña amplitud (25 cm). El autor también observó que la marea pudiera tener un efecto reducido debido a la longitud y sinuosidad de los canales de entrada y el efecto de los bajos del sistema.

Casi 15 años después un estudio revela que el promedio diario de la velocidad del viento excedió los 5 m/s durante 1985 y 1986, por lo que es de esperarse, dado lo somero del cuerpo de agua, homogeneidad vertical prácticamente continúa en la Laguna tanto en las zonas someras como en las dragadas (González et al., 1992). En el mismo estudio se encontró que en verano se establecen gradientes horizontales de salinidad entre los canales de comunicación de la Laguna de Bojórquez y el SLN que provocan diferencias entre los márgenes oriental y occidental con isohalinas orientadas norte-sur (figura 20).

Dado que durante la temporada calurosa del año la Laguna de Bojórquez presenta salinidades mayores al SLN y que esta salinidad es debida a la pérdida de agua por evaporación, se genera una entrada de agua del SLN hacia Bojórquez por ambos canales (norte y sur) para compensar la pérdida de agua evaporada. Este movimiento desplaza los gradientes de salinidad entre las dos lagunas hacia el interior de la Laguna de Bojórquez. Por el contrario, en época de lluvias la entrada neta de agua de lluvia a las lagunas provoca el desplazamiento general del agua de las lagunas hacia el mar.



(Fuente: González et al., 1992).

Figura 20. Distribuciones horizontales de temperatura (arriba) y salinidad (abajo).

7.1.3.2 Características químicas de la Laguna de Bojórquez

a) Salinidad

La existencia de salinidades superiores a las del mar corrobora el escaso aporte de agua dulce proveniente de ríos, además de que pone en evidencia la tasa de evaporación de la Laguna ligada a las altas temperaturas y también pone en evidencia su aislamiento. De acuerdo con un estudio realizado por González et al, (1992) la salinidad de la Laguna de Bojórquez aumenta aproximadamente en 2‰ por encima del SLN de mayo a septiembre mientras que el resto del año presenta un comportamiento similar.

b) Oxígeno

Por lo que a la concentración de oxígeno se refiere, de acuerdo con los datos de la tabla 13, desde sus inicios la Laguna ha mostrado valores por encima de los límites máximos permisibles sin embargo, en este estudio los valores están por debajo de lo sugerido. Cabe mencionar que estos valores pueden ser el resultado de la presencia de manglar en la periferia de la Laguna además de ser el resultado de las diferencias de las tasas fotosintéticas y respiratorias dado que se trata de un cuerpo de agua con alta productividad primaria.

c) Nutrientes

De acuerdo con el análisis histórico los nutrientes parecen estar fuera de norma a partir de los años 90 en adelante con concentraciones tales que clasifican a la contaminación en la escala extrema del semáforo ambiental. Esto contribuye a pensar que el aporte alóctono más que el autóctono no de nutrientes es el responsable de la raída fertilización y deterioro de la Laguna.

7.1.3.3 Características biológicas de la Laguna de Bojórquez

a) Fitoplancton

De acuerdo con un estudio realizado por Jordan de noviembre de 1971 a febrero de 1972 sobre el SLN, se contabilizaron 15 familias, 22 géneros y 29 especies de algas epífitas. En un estudio realizado casi quince años después por Serviere et al., (1992) se encontraron 52 especies de algas, 28 de la división Chlorophyta, 22 de la Rhodophyta y 2 de la Phaeophyta. Se distinguen por su representatividad las clorofilas (54%) y las rodófitas (42.3%) sin embargo, el autor señala que las 14 estaciones muestreadas presentan diferencias tanto en el número de especies respecto al total como en el porcentaje de especies por división.

El alto porcentaje de algas en especial de clorofilas sobre todo de tipo filamentoso puede deberse a las alteraciones debido a la contaminación que sufre la Laguna de Bojórquez. Esto mismo fue corroborado por el IMTA en 1995 en donde se constató la presencia de clorófitas en la porción noroeste de la laguna en zonas de poca profundidad y mayor contaminación visible.

b) Zooplancton

Merino y Gallegos en 1986 reportaron una gran proliferación de medusas del género *Casiopea* en la Laguna de Bojórquez. Algunos años después, en 1991, Segura y Damas realizaron un estudio sobre la variación estacional de medusas en la Laguna. De su estudio identificaron 17 especies de hidromedusas y 2 de escifomedusas. *Aequorea aequorea* fue la especie numéricamente dominante (representó el 89% del total). El número más bajo de especies (4) se registró en enero y el más alto en agosto (10). Los autores no encontraron correlación significativa entre la densidad y abundancia de las medusas con parámetros físicos (salinidad y temperatura). Los autores sugieren que la abundancia del grupo podría estar controlada por la disponibilidad de alimento.

c) Manglar

De acuerdo con un estudio realizado por Jordan de noviembre de 1971 a febrero de 1972 sobre el SLN, se observó la que la Laguna de Bojórquez así como todo el sistema se encontraba bordeado en su margen interno por densos manglares (*Rhizophora mangle*, *Avicennia* sp.). El fondo estaba cubierto por *Thalassia testudinum* en un 90% alternada con parches de arena.

Esto mismo pudo observarse en 1995 en el estudio realizado por el IMTA en donde encontraron que la parte noroeste de la Laguna está dominada por pastos de *Halodule beudettei* con abundantes microalgas clorofíceas filamentosas epífitas, mientras que el sur de la laguna estaba dominado por Pastos de *Thalassia testudinum* con macroalgas calcáreas (vg. *Halimeda incrassata*, *Codiaceae*; *Jania capillacea*, *Corallinaceae*). En la porción oriental se observó una asociación de diferentes microalgas mientras que en la porción noreste la vegetación dominante eran los Pastos de *Halodule beudettei* con epífitas y abundantes algas calcáreas (*Halimeda incrassata*, *Codiaceae*; *Jania capillacea*, *Corallinaceae*).

7.2 Matriz de alternativas de acción y consenso de las acciones prioritarias

Con base en el diagnóstico ambiental se identificaron los problemas prioritarios así como las estrategias y acciones ligadas a una serie de objetivos y metas generales. De manera paralela, se llevaron a cabo consultas y reuniones con representantes de instituciones públicas y privadas de los tres órdenes de gobierno, de los sectores turístico, educativo y social para consensuar, validar y jerarquizar los proyectos específicos derivados del trabajo anterior (figura 21).

La intención de llevar a cabo reuniones de discusión con los grupos interesados fue convencer de la necesidad e importancia de cada proyecto específico así como tomar en cuenta sus opiniones y comentarios respecto del trabajo desarrollado con la finalidad de lograr la menor afectación al medio ambiente y a la actividad turística que es la que tiene mayor impacto económico en la zona.



Figura 21. Reunión interinstitucional para el consenso y validación de las fichas de proyectos específicos. (Cancún, Q. Roo. 9 de septiembre de 2010).

De manera general los proyectos específicos consideran la disminución del exceso de materia orgánica con el fin de restablecer el equilibrio ecológico de la Laguna y eliminar los malos olores perceptibles en la zona.

7.3 Gestión de la firma de un convenio de colaboración interinstitucional

Con la participación de los tres órdenes de gobierno y representantes de instituciones del sector educativo, social y empresarial se elaboró y firmó un convenio de colaboración interinstitucional (Anexo I) con el fin de que las acciones derivadas del Plan Estratégico puedan seguir su curso de acuerdo a las competencias de cada entidad y disponibilidad presupuestal. El convenio fue firmado por diez actores involucrados directamente con el manejo y gestión del Sistema Lagunar.

7.4 Canalización de las acciones prioritarias en los proyectos específicos

Los proyectos específicos que se generaron del consenso y validación de los problemas prioritarios de la Laguna de Bojórquez tienen como objetivo principal el detener la entrada de nutrientes, esto no quiere decir que con ello no se está "saneando" la Laguna, una manera importante de sanear la Laguna es evitar que lleguen a sus aguas aportes de contaminantes y nutrientes que son nocivos para la salud del ecosistema.

Dependiendo de la reacción del cuerpo de agua ante la eliminación de la entrada de carga orgánica se tomarán las medidas necesarias para la contaminación que persista.

Las tablas 14 a la 16 muestran el concentrado de los proyectos derivados del trabajo interinstitucional, los responsables de la ejecución, el costo de los proyectos así como el tiempo requerido para su instrumentación.

No.	Nombre	Responsable	Objetivo
1	Censo y ubicación de descargas clandestinas	IMTA	Georeferenciar descargas clandestinas así como medir caudales, conteo de descargas clandestinas
2	Sistema de telelectura en zona hotelera	AGUAKÁN	Implementar un proceso de manejo y uso eficiente de agua en la zona hotelera
3	Proyecto ejecutivo sobre la rehabilitación y/o sustitución de tramos con problemas estructurales	IMTA	Realizar proyecto ejecutivo para rehabilitar y/o sustituir el tramo que corresponda a la más colapsada de la zona de influencia
4	Evaluación del funcionamiento de la Planta de Tratamiento de Pok-Ta- Pok	IMTA	Evaluar el funcionamiento y operatividad de la planta de tratamiento de aguas residuales de Pok-Ta-Pok
5	Clausura de descargas clandestinas identificadas	CONAGUA, FONATUR	Clausurar aquellas descargas clandestinas hacia la laguna identificadas en este estudio
6	Modelación de escenarios de remediación de la Laguna de Bojórquez, Q.R.	IMTA	Modelar escenarios de remediación tomando como base los resultados de los diferentes monitoreos propuestos en este estudio, este servirá para la toma de decisiones de las siguientes soluciones
7	Recuperación de la vegetación original del manglar y de la cubierta vegetal en el borde de la Laguna	CONANP	Restaurar y recuperar la zona de manglar del borde de la laguna
8	Monitoreo de la calidad del agua superficial y subterránea	CICY	Seguimiento del comportamiento de la calidad de agua superficial y subterránea de la laguna
9	Monitoreo florístico y faunístico	CICY	Seguimiento del comportamiento de la flora y fauna de la laguna
10	Monitoreo geohidrológico	CICY	Seguimiento del comportamiento geohidrológico de la laguna

No.	Nombre	Responsable	Objetivo
11	Caracterización isotópica del agua superficial y subterránea	CICY	Seguimiento del comportamiento isotópico del agua superficial y subterránea
12	Seguimiento de indicadores de eutrofización (nitrógeno, fósforo, clorofila-a, profundidad de Secchi)	CICY	Seguimiento del comportamiento de los indicadores de eutrofización
13	Monitoreo piezométrico y modelación del acuífero	AMIGOS DE SIAN KA'AN	Seguimiento del comportamiento de los niveles piezométricos del acuífero y su modelación

Tabla 14. Información general de los Proyectos Específicos.

No.	COSTO TOTAL	INVERSIÓN 2011	INVERSIÓN 2012	INVERSIÓN 2013	% DE FINANCIAMIENTO REQUERIDO
1	\$400,000.00	\$400,000.00			100
2	\$6,000,000.00	\$3,000,000.00	\$3,000,000.00		30
3	\$1,856,000.00	\$1,856,000.00			100
4	\$1,500,000.00	\$1,500,000.00			100
5	\$340,000.00	\$340,000.00			0
6	\$1,044,000.00	\$1,044,000.00			100
7	\$2,100,000.00	\$700,000.00	\$700,000.00	\$700,000.00	30
8	\$1,725,000.00	\$700,000.00	\$900,000.00	\$125,000.00	40
9	\$750,000.00	\$450,000.00	\$300,000.00		30
10	\$750,000.00	\$250,000.00	\$250,000.00	\$250,000.00	70
11	\$1,125,000.00	\$725,000.00	\$300,000.00	\$100,000.00	30
12	\$2,000,000.00	\$750,000.00	\$800,000.00	\$450,000.00	30
13	\$700,000.00	\$300,000.00	\$200,000.00	\$200,000.00	30
TOTAL	\$20,290,000.00	\$12,015,000.00	\$6,450,000.00	\$1,825,000.00	\$9,817,000.00

Tabla 15. Costos de los proyectos específicos.

No.	Nombre	Responsable	Periodo de ejecución (años)
1	Censo y ubicación de descargas clandestinas	IMTA	1
2	Sistema de telelectura en zona hotelera	AGUAKÁN	2
3	Proyecto ejecutivo sobre la rehabilitación y/o sustitución de tramos con problemas estructurales	IMTA	1
4	Evaluación del funcionamiento de la Planta de Tratamiento de Pok-ta-Pok	IMTA	1
5	Clausura de descargas clandestinas identificadas	CONAGUA, FONATUR	1
6	Modelación de escenarios de remediación de la Laguna de Bojórquez, Q.R.	IMTA	1
7	Recuperación de la vegetación original del manglar y de la cubierta vegetal en el borde de la laguna	CONANP	3
8	Monitoreo de la calidad del agua superficial y subterránea	CICY	3
9	Monitoreo florístico y faunístico	CICY	2
10	Monitoreo geohidrológico	CICY	3
11	Caracterización isotópica del agua superficial y subterránea	CICY	3
12	Seguimiento de indicadores de eutrofización (nitrógeno, fósforo, clorofila-a, profundidad de secchi)	CICY	3
13	Monitoreo piezométrico y modelación del acuífero	AMIGOS DE SIAN KA'AN	3

Tabla 16. Tiempo de ejecución de los proyectos.

Durante el desarrollo de este proyecto se realizaron diversos recorridos en la Laguna de Bojórquez, por lo que se pudo observar que la Laguna guarda un estado aceptable en general, sin embargo, existen puntos específicos que sufren contaminación debido a descargas de aguas negras, al estancamiento, a la baja profundidad y a la ausencia de corrientes (figuras 22 y 23). El mayor estado de afectación se observó particularmente en la zona norte de Bojórquez, la más importante justo frente al hotel Presidente Intercontinental, debido a que en esta zona existe una descarga de aguas negras que está cubierta por vegetación abundante, lo que ocasiona que la basura quede sea atrapada generando malos olores (figura 24).



Figura 22. Estado de afectación de la vegetación aledaña a la descarga de aguas residuales del Hotel Presidente Intercontinental.



Figura 23. Estado de afectación de la zona Norte de la Laguna de Bojórquez. Coordenadas UTM NAD 83: 0525478 E, 2336787 N.



Figura 24. Estado de afectación de la zona Norte de la Laguna de Bojórquez. Coordenadas UTM NAD 83: 0524762 E, 2334673 N.

Durante el recorrido por la Laguna de Bojórquez se pudo constatar que existen por lo menos 70 muelles de atraque para embarcaciones y varios más para motos acuáticas (ver figura 25), los cuales constituyen una fuente de contaminación de grasas, aceites e hidrocarburos.

También se encontraron las bases de bombeo de los aireadores que fueron instalados años anteriores para suministrar oxígeno a la Laguna de Bojórquez y ayudar al proceso de autpurificación (ver figura 26).



Figura 25. Muelles de atraque para embarcaciones y motos acuáticas en el perímetro de la Laguna de Bojórquez y Sistema Lagunar de Nichupté.



Figura 26. Bases de bombeo para los aireadores que se encuentran en la Laguna de Bojórquez.

VIII. CONCLUSIONES

En el presente estudio pudo observarse que en la Laguna de Bojórquez el movimiento, circulación y mezcla es grandemente influenciado por las variaciones climáticas. En época de estiaje el aspecto visual de deterioro, malos olores y malezas acuáticas se minimiza por mucho en épocas de lluvias, por lo que sin duda el intercambio de agua de la Laguna sufre fluctuaciones notables interanuales. Los fenómenos meteorológicos como lluvias, nortes y huracanes así como los fuertes vientos con los que vienen acompañados producen cambios significativos en la Laguna. Es indudable que la Laguna de Bojórquez padecerá siempre de la decisión tomada de cerrar el único intercambio que tenía con el mar para crear infraestructura urbana que hoy por hoy genera ingresos importantes al país y son fuentes de empleos.

Sin embargo, la causa principal del deterioro de la Laguna es el aporte alóctono de nutrientes directamente de la zona turística, sin descartar que este aporte también pueda provenir de la contaminación del acuífero que se lleva a cabo en las zonas urbanas aledañas al complejo lagunar, de los pozos de infiltración de las plantas de tratamiento o de la resuspensión de nutrientes provenientes de los sedimentos.

Este estudio puso en evidencia que efectivamente existen descargas clandestinas, al menos 10, que vierten sus aguas residuales directamente a la Laguna. Estas descargas van desde aguas residuales negras hasta grises, así conocidas las descargas de aguas que no incluyen heces fecales ni urea. Estas descargas con características diferentes y caudales importantes fueron localizadas desde 1992, lo que pone en evidencia la negligencia por parte de las autoridades para aplicar las sanciones correspondientes así como también pone de manifiesto la poca cultura y compromiso ambiental por parte de quienes son responsables del vertido directo del agua contaminada.

La recuperación ambiental de la Laguna de Bojórquez así como de cualquier ecosistema, debe involucrar una etapa de reconocimiento acerca de los beneficios que los seres humanos recibimos de ellos, también es necesario reconocer que los ecosistemas son finitos y dependientes de nuestras acciones para continuar brindando los servicios de los que nos beneficiamos.

Debido al dinamismo del sistema se recomienda recalcular el tiempo de residencia de la laguna. De igual manera se recomienda realizar un monitoreo integral con intervalos periódicos de tiempo que incluyan la mayor parte de las variaciones posibles a la que es sometido el cuerpo de agua. Estas sin duda serán herramientas valiosas que ayudarán en la toma de decisiones sobre las acciones a implementar para la restauración de la Laguna.

Es igualmente importante tomar en cuenta un estudio integral sobre los sedimentos de la Laguna porque cabe la posibilidad de que los nutrientes encontrados provengan en buena parte de la fase sedimentaria.

Agradecimientos

Agradecemos profundamente a CONABIO, en particular a María del Carmen Vázquez y Mario Castañeda por su apoyo a lo largo de la realización del presente proyecto.

A todas y cada una de las instituciones que aceptaron participar con nosotros. Gracias por su tiempo y sus valiosos comentarios.

IX. BIBLIOGRAFÍA

Arenas, V., De la Lanza, E.G. (1990). El metabolismo como determinante de intercambio de nutrientes en sedimentos ricos en materia orgánica en una laguna costera. *Ciencias Marinas* 16(3):45-62.

Cameron, M.W., Pritchard, D.W. (1963). *Estuaries. The sea*. Ed. John Wiley and sons. Vol. 2. 15:306-324.

Carbajal, P. N. 2009. Hidrodinámica y transporte de contaminantes y sedimentos en el Sistema Lagunar de Nichupté-Bojórquez, Quintana Roo. Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, AC. SNIBCONABIO proyecto No. CQ063. México D. F.

Conagua. Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación. Diciembre 2007.

Conagua. Estadísticas del agua en México, edición 2010.

Culhuac, S. S. E. 1987. Importancia ecológica de las algas epífitas de las fanerógamas marinas de la Laguna de Bojórquez, Quintana Roo. UNAM

Day, Jr., J.W., Hall, C.A.S., Kemp, W.M., Yañez-Arancibia, A., Geegan, L.A. (1989). Newton, the free swimming consumers. 377-437. En Day.Jr., J.W., Hall, C.A.S., Kemp, W.M., Yañez-Arancibia, A. (Eds). *Estuarine ecology*. John Wiley & sons, Nueva York.

De la Lanza, E. G. (1991). Importancia ecológica de los ciclos biogeoquímicos en los sistemas lagunares. Series: Grandes temas de Hidrobiología I. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, México.

De la Lanza, E.G., Arenas, V. (1986). Disponibilidad de nutrimentos a partir de materia orgánica en un sistema lagunar. *Ciencia* 37:247-254.

De la Lanza, E. G., Cáceres, C. (1994). *Lagunas Costeras y el litoral Mexicano*. Universidad Autónoma de Baja California Sur.

Fuentes-Mata, P. (1991). Diversidad ictiofaunística en sistemas lagunares de México. 66-73. En: Figueroa, M.G., Álvarez, C., Esquivel, A., Ponce, M.E. (Eds.). *Físico química y biología de Las Lagunas Costeras Mexicanas*. DCBS, Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa, México, Serie Grandes temas de la hidrobiología.

González, A. (1989). Tesis de Maestría (Oceanografía Química). Hidrología y Nutrientes en la Laguna Bojórquez, UACPyP-CCH, UNAM, Cancún, Quintana Roo. 116 p.

González, A., Merino, M., Czitrom S. (1992). Laguna de Bojórquez, Cancún: Un sistema de características marinas controlado por la atmósfera. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*. UNAM.

Herrera, S.J, Ramírez, J., Zaldivar, A. (1998). Overview and characterization of the hydrology and primary producer communities of selected coastal lagoons of Yucatán, México. *Aquatic Ecosystem Health*. 1: 353-372.

Instituto Nacional de Ecología. 1992. Diagnóstico de la problemática de contaminación del agua en Quintana Roo. Clasificación: AE009140

Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Recursos Naturales y Medio Ambiente. (2009). Adaptación a los impactos del cambio climático en los humedales costeros del Golfo de México. Volumen II. Jacinto Buenfil Friedman (Ed.)

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. (2000). Saneamiento de la Laguna de Bojórquez. Informe sobre el Sistema Aireación-Circulación.

Jordan, E., Angot, M., y de la Terre, R. (1978). Prospección biológica de la Laguna de Nichupté (Cancún), Q. Roo, México. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México. 5(1):179-188.

Jordán, E., Martín, E., Thomé, P., Merino, M. (1983). Circulación e hidrología del Sistema Lagunar de Nichupté, Cancún, Quintana Roo. Informe presentado a FONATUR. 72p.

Livingston, R.J. (1991). Inshore marine habitats. Ecosystems of Florida. University of Central Florida Press. 549-573.

Margalef, R. (1969). Comunidades planctónicas en lagunas litorales. Memorias del simposio internacional de Lagunas costeras. UNAM-UNESCO, 1967. México. D.F. 545-562

Margalef, R. (1983). Limnología. Editorial Omega. Barcelona, España.

Margalef, R. (1978). Life-forms of phytoplankton as survival alternatives in an unstable environment. *Oceanologica Acta* 1: 493-509.

McHugh, J.L. (1985). The estuarine ecosystem integrated. Foreword 9-16. En: Yañez-Arancibia, A. (Ed.) Fish community ecology in estuaries and coastal lagoons: Towards an ecosystem integration. Universidad Nacional Autónoma de México-PUAL-ICML, Editorial Universitaria, México.

McLellan, H.J. (1965). Elements of physical oceanography. Pergamon Press, Oxford.

Mee, L. (1987). The application of calculation models for estimating primary productivity in two tropical Mexican coastal lagoons. *Revista de biología Tropical*. 35(2):183-193.

Merino, M., Czitrom, S., Jordán, E., Martín, E., Thomé, P., Moreno, O. (1990). Hydrology and rain flushing of the Nichupté Lagoon System. *Estuarine, coastal and shelf science*. 30:223-237.

Merino, M., Gallegos, M. (1986). Informe final del Convenio de Asesoría Técnica Evaluación del Impacto Ambiental Generable sobre el Sistema Lagunar Nichupté por el dragado programado para rellenar el lote 18 "A" en Cancún, Q. Roo. PIADISA-UNAM, 87p.

Merino, M., González, A., Reyes, E., Gallegos, M. E., Czitrom, S. (1992). Eutrophication in the lagoons of Cancún, México. *Science of the Total Environment Supplement*: 861-870.

Segura, P. L., Damas, R. M. (1997). Variación estacional de la comunidad de medusas (Cnidaria) en la Laguna Bojórquez, Cancún, México. *Hidrobiológica*. 7:59-64.

Serviere, Z. E., Collado, V. L., González, G.J. (1992). Caracterización ficológica de la Laguna de Bojórquez, Quintana Roo, México. *Caribbean Journal of science*. 28(3-4):126-133

Suárez, E., Gasca, R. (1990). Variación dial del zooplancton asociado a praderas de *Thalassia testudinum* en una laguna arrecifal del caribe mexicano. *Universidad y Ciencia*. 7(13):57-64.

Vander Leeden, F., Troise, F.L., Tood, D.K. (1990). *The water encyclopedia*. Second Edition. Ed. Lewis Publisher. Michigan, U.S.A