

01168

8
Lij



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

TESIS

IDENTIFICACION Y EVALUACION DE ALTERNATIVAS
PARA EL SANEAMIENTO DE LA LAGUNA DE
BOJORQUEZ, CANCUN QUINTANA ROO.

PRESENTADA POR:
ING. MIRIAM JUDITH CABANILLAS LOPEZ

PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN INGENIERIA
(INVESTIGACION DE OPERACIONES)**

DIRIGIDA POR:
M.I. ARTURO FUENTES ZENON

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

CIUDAD UNIVERSITARIA, AGOSTO DE 1996

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



**COMISION NACIONAL
DEL AGUA**

**EL PRESENTE TRABAJO SE IMPRIMIO CON EL APOYO DE
LA COMISION NACIONAL DEL AGUA**

A Dios:

Porque me ha enseñado que la grandeza de las personas se encuentra en el corazón y teniendo fe se puede lograr todo.

A mis Padres:

Que con su amor, dedicación y ejemplo, me Infundieron el deseo de superación.

A mis Hermanos:

Por el apoyo, amor y comprensión que me brindaron durante el transcurso de esta maestría.

A mis Maestros:

Quienes con su estímulo y entusiasmo contribuyeron para mi formación.

A mi Director de tesis:

Por la confianza que ha depositado en mi, gracias por sus enseñanzas. A Usted mis respetos y consideraciones.

A toda la Familia Sedano Flores:

Porque siempre me han brindado su apoyo incondicional y sobre todo su cariño y su afecto.

A mis amigos y compañeros:

Con los que he compartido los momentos tristes, difíciles y también alegres de mi vida, los cuales me motivaron a seguir adelante.

Al personal del IMTA y DEPM:

Por todo el apoyo que me han dado en todo momento.

Y a cada uno de Ustedes; y a todos aquellos que de alguna u otra forma han participado en la realización de este documento.

GRACIAS

	Páginas
ÍNDICE	1
INTRODUCCIÓN	2
CAPÍTULO 1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA	6
1.1 Sistema físico	6
1.2 Contaminación de la laguna	11
1.3 Sistema normativo	16
CAPÍTULO 2. MARCO PARA LA EVALUACIÓN	19
2.1 Concepto de evaluación	19
2.2 Evaluación de proyectos	19
2.3 Formulación de objetivos de evaluación	21
2.4 Marco para la evaluación	23
CAPÍTULO 3. IDENTIFICACIÓN DE ALTERNATIVAS	25
3.1 Mapa conceptual del sistema	26
3.2 Alternativas de acción	27
3.2.1 Identificación	27
3.2.2 Propuestas	28
3.3 Opciones de financiamiento	36
CAPÍTULO 4. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS	39
4.1 Criterios de evaluación	39
4.2 Evaluación y selección de alternativas	49
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	53
BIBLIOGRAFIA	55

INTRODUCCIÓN

El desarrollo implica cambios; el cambio implica manipulación, por lo que el medio ambiente se ve afectado por el desarrollo convirtiéndose en un tema altamente controvertido, no solamente por la definición de su contenido, sino también debido al apoyo igualmente amplio que tienen los intereses de defensa del medio ambiente. Los costos de un cambio ambiental negativo puede ser demasiado grande. Consecuencias económicas y ecológicas surgen como resultado del abuso de un recurso.

La contaminación del agua puede afectar al ser humano de muchas maneras, dependiendo del propósito para el cual se utilizan los recursos hídricos. En la medida que afecta a vidas humanas, constituye un problema de salud; en la medida que afecta a los organismos vivos, perjudica a los recursos naturales, a su conservación y a la economía; y en la medida que afecta a los sentidos, se convierte en un problema estético.

Por otra parte, la contaminación del agua es un problema que limita los usos del agua en gran número de cuencas, lagos y embalses y sus efectos adversos se multiplican en todo el territorio nacional. La identificación de la problemática que configura los niveles de contaminación provocados por las descargas de aguas residuales, permite precisar y ordenar los problemas que deben enfrentarse:

- concentración de las descargas de aguas residuales urbanas e industriales
- reducido tratamiento y reuso
- limitado control de las descargas
- atraso tecnológico.

En la concentración de las descargas se estima que el 60% de la contaminación es ocasionada por la industria. Así mismo, las áreas metropolitanas que producen mayor descargas de contaminantes son las de México, Guadalajara y Monterrey, con el 40% en conjunto. Les siguen Coahuila de Zaragoza, San Luis Potosí, Villahermosa, Acapulco, Mazatlán, Ensenada y la zona de Guaymas-Empalme.

También hay un reducido nivel de tratamiento y de reuso de agua, porque en la actualidad existen aproximadamente 364 plantas de tratamiento con capacidad instalada de 27,570 lps, de estas el 15% operan por debajo de su capacidad y el 27% se encuentran fuera de operación.

En los programas de control y prevención es limitado el control de las descargas ya que no se ha contado con los recursos suficientes para su estricta aplicación. Por otro lado debido a la dispersión administrativa del área de control de la calidad del agua, no hay los recursos disponibles, ni se han establecido prioridades respecto a la importancia relativa de las fuentes contaminadoras.

La insuficiencia y deficiencia en materia de investigación, desarrollo tecnológico y formación de recursos humanos, han conducido a dar mayor relevancia al análisis de los contenidos de oxígeno en los cuerpos de agua aptos para la vida silvestre que la búsqueda de la compatibilidad de las características físicas, químicas y biológicas del agua disponible, con la expectativa de salud y productividad de los usuarios.

En nuestro país se cuenta con más de 120 lagunas costeras que representan una importante fuente de recursos, ya que generalmente sostienen diversas pesquerías y suelen ser un componente importante de los atractivos turísticos de nuestros litorales. Por otra parte, la utilización de sistemas lagunares o de áreas costeras inundables para maricultura comercial, representan, también, una alternativa importante de aprovechamiento de estas zonas.

La mayoría de los cuerpos de agua costeros tienen un escaso (en ocasiones casi inexistente) intercambio de agua con el mar abierto. Esta situación provoca que dichos sistemas tengan muy baja capacidad de carga de contaminantes y, por lo mismo, de soportar impactos humanos y naturales.

El resultado es que un gran número de estos cuerpos de agua utilizados para explotar pesquerías, atractivos turísticos o simplemente su disponibilidad de agua, como en el caso de la maricultura sufren importantes problemas de contaminación y deterioro, no solo en su equilibrio ecológico, sino muchas veces también en las propiedades y recursos que los hacen valiosos y alrededor de los cuales se desarrollan estas actividades.

Las fuentes de contaminación más comunes de estos sitios son las aguas residuales de origen agrícola, doméstico e industrial. Además los principales sistema lagunares presentan procesos de azolvamiento sedimentario.

La gran biodiversidad y bellezas naturales que presentan el Caribe mexicano y el Golfo de California tienen una relevancia ecológica y turística a nivel mundial, por lo que se requieren ser protegidos de las descargas de aguas continentales contaminadas.

Por lo anterior, el caso específico que se presenta a continuación en este trabajo es la contaminación del Sistema Lagunar Nichupté (SLN), localizado en Cancún, Quintana Roo, el cual ha estado sometido a una presión de uso intensivo y modificación de sus condiciones naturales. Desde cambios en su morfología generados por dragados y rellenos, como descargas de aguas residuales en su interior, como es el caso de la laguna de Bojórquez.

La Laguna de Bojórquez está siendo sometida a una presión de uso intensivo y modificación de sus condiciones naturales. En un avanzado estado de desarrollo la Laguna se caracteriza por su poca profundidad, una débil comunicación interlagunar debido a la presencia de la Isla Pok Ta Pok. Esta morfología que inhibe intercambios importantes de agua, reduciendo así su capacidad de autodepuración, hace de la laguna un eslabón vulnerable del desarrollo turístico de Cancún.

Al irse desarrollando la zona, se modificó la morfología, el uso del suelo y se incrementaron los desechos, tanto de basura como de drenajes, con lo cual la Laguna fue deteriorándose hasta llegar a niveles de contaminación no permisibles. Esta contaminación alcanzó niveles alarmantes, sin embargo, con la eliminación parcial de desfuegos clandestinos de aguas negras, se ha logrado un lento mejoramiento en la calidad del agua.

Debido a las tendencias actuales de relleno, que han tenido por objetivo ganar tierra en las zonas de mayor valor comercial y a los desechos, tanto de basura como de drenaje, la Laguna de Bojórquez fue deteriorándose poco a poco hasta llegar a niveles altos de contaminación.

Por lo anterior, y para no agravar más los problemas ambientales y que éstos no puedan producir efectos contraproducentes en el turismo, se pretende lograr el saneamiento de la laguna.

Es por esto que se realizan estudios fisicoquímicos y biológicos para saber el grado de contaminación del embalse y poder llevar a cabo un programa de control y vigilancia, que permita disminuir al máximo los aportes de residuos sólidos y líquidos; así mismo, llevar a cabo obras de ingeniería civil y restitución ecológica que favorezcan la renovación y depuración de las aguas lagunares, además de la restitución y conservación del entorno biótico de sus márgenes.

Los estudios realizados para el saneamiento de la Laguna de Bojórquez han arrojado varias alternativas factibles técnicamente de llevarse a cabo; sin embargo, el objetivo de este trabajo es identificar todas las posibles alternativas y determinar cual es la más viable de realizar desde los puntos de vista: económico, financiero, estético, constructivo, etc.

Este trabajo se inicia con el capítulo 1 donde se describirá el sistema físico de la Laguna de Bojórquez, las principales causas de su deterioro, así como el grado actual de contaminación.

En el capítulo 2, se señala un marco para la evaluación, donde se establece el concepto de evaluación, algunos lineamientos para la formulación de objetivos y cuales son los pasos a seguir.

Por su parte, en el capítulo 3, se identifican las diferentes alternativas para lograr el saneamiento de la Laguna.

En el capítulo 4, se definen los criterios con los que se juzgarán las alternativas, para así poder seleccionar la mejor opción.

Y finalmente, se desprenden las conclusiones más importantes derivadas de este trabajo, así como las recomendaciones que se pudieran efectuar en el futuro próximo para el saneamiento de la laguna.

1.- DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

1.1 Sistema físico

La Laguna de Bojórquez es un cuerpo de agua litoral, relativamente pequeño (3 x 1 Km.), enclavado en la porción noroeste de la Laguna de Nichupté, Cancún, Quintana Roo; sistema mayor, poco profundo, separado del Mar Caribe por una prolongada barra, relativamente estrecha que se extiende desde las proximidades de Ciudad Cancún, en dirección oeste-este, hasta la Punta Cancún y de ahí hacia el sur hasta punta Nizuc en donde termina. La mayor parte de la zona hotelera se extiende en la barra de la Laguna de Bojórquez (figura 1.1 y 1.2).

La Laguna de Bojórquez (LB), antes de su desarrollo turístico presentaba una profundidad promedio de 1 m, se comunicaba con la Cuenca Norte por dos canales, ubicados en su margen occidental (Canal Norte y Canal Sur), las áreas correspondientes a la Isla Pok Ta Pok que separa a la laguna del resto del Sistema Lagunar de Nichupté (SLN) y el actual lote 18-A, representaban bajos y áreas de manglares, las playas del extremo Norte y Este morfológicamente eran más angostas. No existía el desarrollo urbano en la margen de la laguna que vertiera sustancias contaminantes y alterara el patrón fisicoquímico y biológico; las actividades recreativas con embarcaciones eran escasas y se limitaba su uso a los pescadores.

Durante 25 años de desarrollo turístico, la LB ha venido representando fuertes modificaciones en la morfología de sus playas, en su batimetría, en la calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua y por ende modificaciones en las comunidades biológicas nativas, causando también alteraciones ecológicas; en consideración de que un sistema ecológico en equilibrio se encuentra conformado por elementos bióticos y abióticos interrelacionados, que actúan juntos de manera definida, de tal forma que un fenómeno o causa que altere alguna parte alterará el todo.

En el SLN y en especial en la LB, se han desarrollado un gran número de estudios de calidad del agua por varias instituciones públicas, destacando la Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH), FONATUR, Comisión Nacional del Agua (CNA), Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (ICML) y el Centro de Investigación y Estudios Avanzados (CINVESTAV), las cuales describen de manera puntual, tanto en tiempo como en espacio las características fisicoquímicas y bacteriológicas de la calidad del agua.

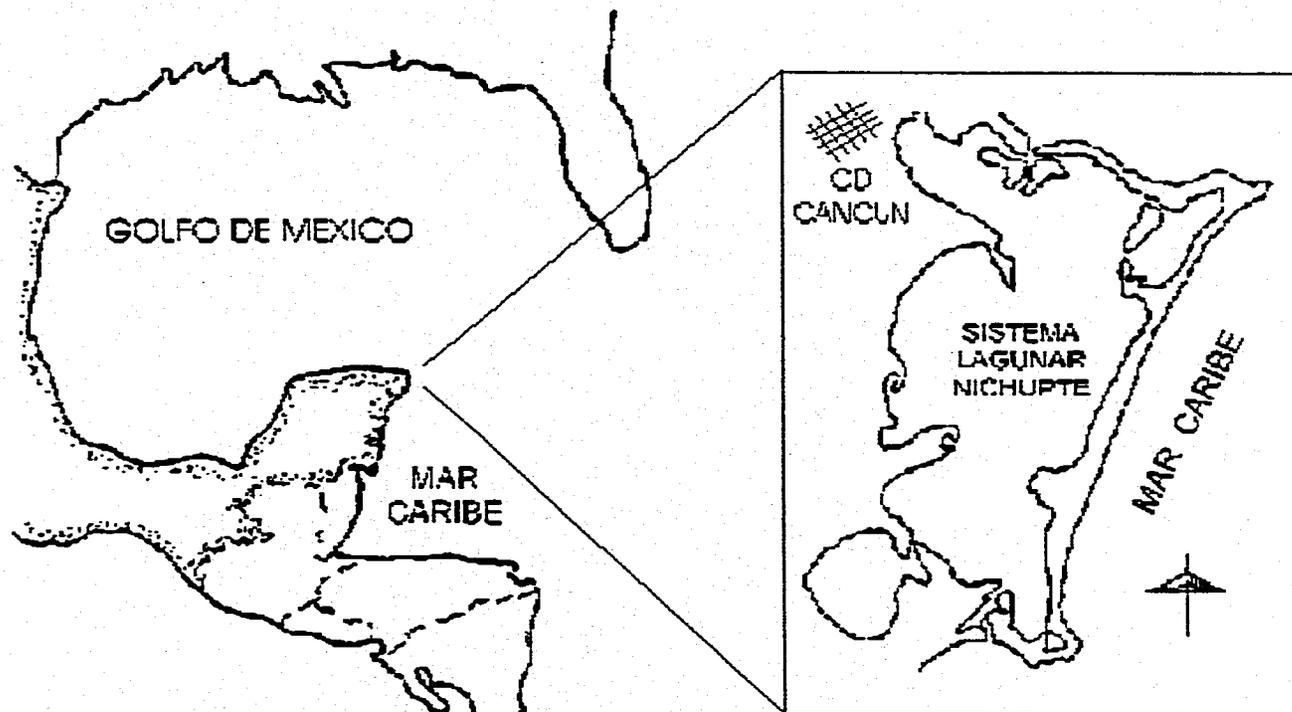


FIGURA 1.1 LOCALIZACION DEL SISTEMA LAGUNAR NICHUPTe

FUENTE: IMTA

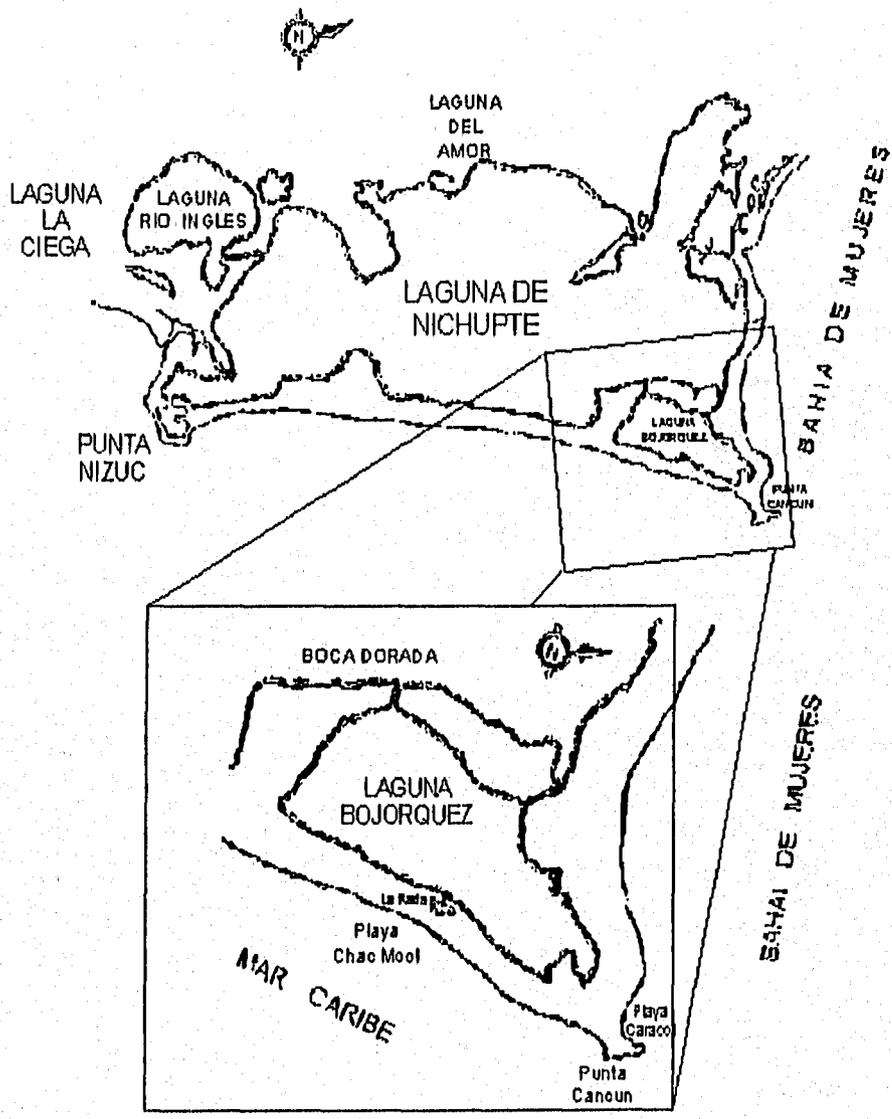


Fig. 1.2. Localización de la Laguna Bojórquez

Entre las principales causas que han influido en la alteración de la LB se encuentran las siguientes:

- Dragados por arriba del 20% de la laguna.
- Relleno y destrucción de la zona de manglares.
- Descargas continuas de aguas residuales.
- Presencia e incremento de botes navíos.

Actualmente de manera directa o indirecta estas actividades o factores presentan sus secuelas en la calidad de la laguna y determinarán en gran medida las alternativas para el saneamiento del cuerpo del agua.

Las actividades de dragados y rellenos se realizaron para condicionar el terreno y efectuar edificaciones y zonas recreativas. A la fecha, la LB presenta marcadas modificaciones, el 20% del fondo de la laguna original ha sido dragada cambiando su profundidad media del orden de 1 m a 3,6 m de profundidad, asimismo estimaciones de las áreas que se han rellenado comprenden 119 ha., correspondiendo 52 ha. a la isla que encierra a la LB y 67 ha. para crear zonas de suelo alrededor de la laguna. El lote 18-A es un ejemplo de relleno y destrucción de zonas de manglares (Figura 1.3).

Los dragados y rellenos determinaron en gran medida el deterioro de la LB. Los rellenos han ocasionado el aislamiento de la laguna con el resto del sistema, rompiendo el esquema original de corrientes y por consiguiente el aporte de agua fresca.

Actualmente la hidrología de LB está controlada por patrones atmosféricos como precipitación pluvial y evaporación debido a la ausencia de aportes de agua considerables ya que la acción de las mareas es poco significativa (amplitud media de la marea del orden de los 20 cm); de tal manera que la dinámica de la LB es mínima y se ha determinado que el tiempo de residencia promedio del agua es del orden de 3 años, pudiendo incrementarse hasta 5 años bajo condiciones de períodos de pocas lluvias. Estas características hacen de la LB un sistema frágil y vulnerable a procesos de eutroficación, por la acumulación de contaminantes.

En función de los análisis, las características fisicoquímicas del agua como temperatura, salinidad, conductividad eléctrica, alcalinidad, sólidos y sulfatos se encuentran influenciados principalmente por factores meteorológicos, debido a la poca circulación y limitado intercambio de agua con el resto del SLN, que le han conferido los rellenos.

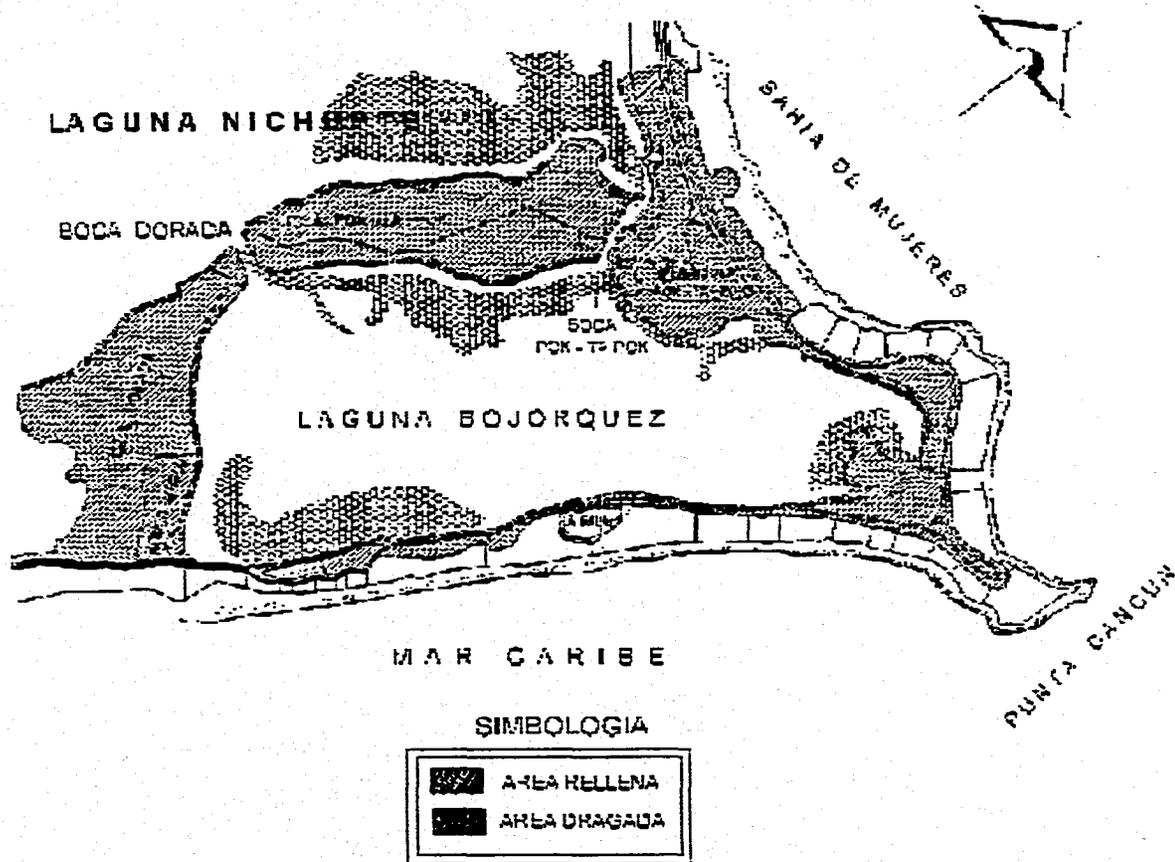


FIGURA 1.3 ÁREAS DE RELLENO Y DRAGADO EN LA LAGUNA BOJORQUEZ
 FUENTE: IMTA

El aislamiento de la LB y la poca dinámica de sus aguas, la hace particularmente sensible a la descarga de desechos y contaminantes provenientes del sistema de drenaje de la zona turística, aunque a la fecha se han clausurado la mayoría de las descargas, siguen prevaleciendo algunas de tipo sanitario y drenaje pluvial.

Las aguas residuales que son vertidas a la LB aportan gran variedad de compuestos orgánicos e inorgánicos, de los cuales algunos se mantienen en suspensión y otros se precipitan y sedimentan, entrando en el ciclo biológico de los organismos biológicos presentes.

Otros factores que contribuyen con el deterioro de la LB son las embarcaciones y los desechos sólidos y líquidos acarreados a la laguna por acción de las lluvias; asimismo, la basura y contaminantes acarreados a la laguna por el sistema de drenaje pluvial o arrojados indiscriminadamente también contribuyen con el deterioro de la laguna.

El tráfico naviero que se efectúa en el SLN, utiliza como combustible derivados de hidrocarburos, que por mal manejo son derramados o vertidos en pequeñas porciones al cuerpo de agua afectando la estética del lugar por manchas y olores desagradables.

La presencia de grasas y aceites en la superficie del agua está principalmente determinada por el uso de las embarcaciones, encontrándose en todos los muestreos realizados.

1.2 Contaminación de la laguna

Con el objeto de conocer las características fisicoquímicas y bacteriológicas de la calidad del agua de la laguna a través de los años, se procedió a realizar el análisis de los resultados obtenidos en los diferentes estudios, denotando la época de medición así como los valores máximos y mínimos registrados, tomándose como base los siguientes estudios:

- SRH (1975). Estudios de Calidad del Agua en Cancún, Quintana Roo.
- FONATUR (1884). Saneamiento Ambiental de la Laguna de Bojórquez y Caleta Cancún, Quintana Roo.

-
- CNA (1992). Laguna Nichupté Cancún, Diagnóstico de la Calidad del Agua del Sistema Lagunar.
 - CPC Consultores (1994). Caracterización y proyecto ejecutivo para el saneamiento de la Laguna de Bojórquez, Cancún Quintana Roo.

También se realizó un inventario de descargas en la LB con la finalidad de observar el número existente y grado de afectación, en donde se localizó un total de 68 descargas de tipo pluvial y 5 descargas de tipo sanitario, las cuales además de presentar flujo, despedían malos olores y se hallaron 12 lavaderos.

Los parámetros de calidad del agua indicadores de contaminación por descargas de aguas residuales son el color, grasas y aceites, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), Nutrientes (Fósforo y Nitrógeno), sustancias activas al azul de metileno (SAAM), coliformes y fenoles.

A continuación se describe el comportamiento de algunos parámetros en la LB:

Color

El color es un parámetro que se encuentra en función del material orgánico e inorgánico en suspensión aportado por las descargas de aguas residuales. Las características de limpieza y claridad de las aguas son predominantes en toda la región, es por ello que en los resultados el valor mínimo es 0.0 escala Pt-Co en julio, agosto, octubre, noviembre y diciembre de 1984. Actualmente, se determinaron valores de: 22 cercana a una descarga sanitaria, 44 cercana a una descarga de agua residual, ambos resultados denotan la disminución considerable en nivel de compensación de la luz para la actividad fotosintética, no cumpliendo con lo establecido en los criterios ecológicas de calidad de agua.

Grasas y aceites

El origen de las grasas y aceites en el mar o en sistemas lagunares costeros, se debe principalmente al aporte de hidrocarburos por el hombre, ya que forman parte de los combustibles de los navíos.

Para las grasas y aceites CNA señala la ausencia de estas en el cuerpo de agua para cumplir con la calidad requerida. El valor mínimo encontrado fue de 0.15 mg/l en 1974 y máximo 191.7 mg/l de 1993, encontrándose en todos los muestreos realizados trazas de estos compuestos. Las descargas de aguas residuales contribuyen en el aporte de grasas y aceites, así como el uso de motores de combustión interna de las embarcaciones.

Oxígeno disuelto

Las variaciones de oxígeno disuelto en LB están dadas principalmente por factores físicos, químicos y biológicos. Las concentraciones de oxígeno disuelto en la LB en general se mantienen elevadas, el valor mínimo registrado es 4.1 mg/l en 1974, y el máximo 12.5 mg/l en noviembre de 1983. Las concentraciones se deben principalmente a la abundancia de macroalgas y fanerógamas que mediante el proceso de fotosíntesis mantienen concentraciones estables de oxígeno.

DBO Y DQO

El DBO y el DQO son parámetros químicos indicadores indirectamente de la concentración de materia orgánica e inorgánica oxidable, respectivamente. Las concentraciones de materia oxidable en la LB está provocado por la acción de las lluvias al cuerpo de agua, así como de factores internos ocasionados por la actividad biológica en la producción de materia orgánica.

Los valores máximos permisibles establecidos por CNA para DBO y DQO son de 6 mg/l y 400 mg/l respectivamente. Los registros de demanda bioquímica de oxígeno por arriba de lo establecido corresponden al año de 1993 con 6.7 mg/l, asimismo, se determinaron valores que fluctuaron entre 16 mg/l y 48 mg/l, pasando el valor establecido. Los registros de DQO presentaron similar comportamiento que la DBO, en 1993 se determinó la concentración máxima de 845 mg/l, y también concentraciones que fluctuaron entre 450.23 mg/l y 1,101.54 mg/l, no cumpliendo con el valor establecido.

Nutrientes

Los nutrientes como son los nitratos y fosfatos, son elementos químicos que propenden a circular en la biosfera. Las modificaciones considerables en la cantidad de estos compuestos son críticas, ya que controlan la abundancia y desarrollo de los organismos marinos y otras especies nocivas.

Los nutrientes a través del tiempo vienen sufriendo un aumento en su concentración. Las aguas residuales de tipo doméstico y otros desechos contribuyen considerable con el aporte de nutrientes al cuerpo de agua, los cuales son utilizados por las macroalgas en sus procesos biológicos y concentrados en los sedimentos.

Los máximos permisibles recomendados por CNA para los nitratos y fosfatos son de 0.04 mg/l y 0.002 mg/l, respectivamente. Los nitratos presentaron valores por arriba de lo señalado en el año de 1993 y 1994, fluctuando entre 0.08 mg/l y 0.11 mg/l. Los fosfatos presentan valores por arriba de lo estipulado desde 1974, fluctuando entre 0.151 mg/l a 0.290 mg/l.

Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)

El parámetro SAAM sirve para determinar los componentes básicos de los detergentes, como compuestos orgánicos con propiedades tensoactivas en solución acuosa.

Por lo anterior, las sustancias activas al azul de metileno son características de las descargas jabonosas, el valor máximo estipulado por los criterios ecológicos de calidad del agua es de 0.1 mg/l, para protección de la vida marina. Los valores que pasan los estipulado en los criterios se presentan en el año de 1984 con concentración máxima de 0.75 mg/l y en 1992 con concentraciones que fluctuaron entre 0.108 mg/l y 0.101 mg/l.

Bacteriológicos

Los coliformes totales y fecales son organismos característicos de contaminación fecal provenientes de las aguas sanitarias que no reciben tratamiento y desinfección. CNA establece como valor máximo permisible para coliformes totales una concentración de 1000 col/100 ml y para coliformes fecales los criterios ecológicos de calidad del agua establecen como máximo permisible 200 col/100 ml. Los valores que pasan la normativa para coliformes totales y fecales se presentan en el año de 1984, concentraciones de 9,760 col/1000 ml y 5,500 col/100 ml respectivamente.

Fenoles

Los fenoles son compuestos derivados del petróleo, son compuestos altamente tóxicos. El valor máximo permisible que establecen los criterios ecológicos de calidad de agua es de 0.06 mg/l. El valor que pasa la norma se

presenta en 1994 con una concentración de 0.061 mg/l, aunque es mínima, es de consideración por su toxicidad.

En función de los parámetros analizados, las condiciones actuales en LB son las siguientes:

- Los rellenos para ganar terreno modificaron la hidrodinámica correspondiente al área de LB provocando poca circulación e intercambio de agua con el SLN, por ende tiempos de residencia del agua del orden de 3 a 5 años.
- La dinámica que presenta la LB, se refleja en las características fisicoquímicas del agua las cuales se encuentran determinadas por las condiciones atmosféricas.
- Las condiciones actuales presentes en LB modificaron la composición biológica de la laguna.
- Las grasas y aceites se encuentran presentes en todos los estudios realizados, violando lo establecido por CNA, (ausencia de estas en el cuerpo de agua), siendo las fuentes las descargas de aguas residuales y el uso de motores de combustión interna de las embarcaciones.
- El aumento paulatino de nutrientes limitativos como el fósforo y nitrógeno posiblemente han proliferado en crecimiento de macroalgas, disminuyendo la concentración de estos en la columna del agua y aumentando la concentración de oxígeno disuelto en el agua por el metabolismo de fotosíntesis.
- El cuerpo receptor no muestra características anóxicas (concentraciones de oxígeno disuelto menor de 2 mg/l), ocasionados por un exceso de materia orgánica en descomposición por microorganismos y por procesos químicos, que determinen una mala calidad del cuerpo de agua.
- Aunque la concentración de nutrientes (fósforo y nitrógeno) en el agua de la LB no presenta valores significativamente mayores en comparación con el SLN, si viene observando un aumento en la concentración con el tiempo, asimismo se observan concentraciones elevadas en los sedimentos en comparación con el resto del SLN.

-
- La concentración de SAAM no pasa del valor establecido por los criterios ecológicos en el último muestreo efectuado en 1994, pero si existen trazas de estos contaminantes.
 - La concentración de coliformes totales y fecales medidos se encuentran dentro de los lineamientos establecidos por CNA y criterios ecológicos de calidad del agua, coliformes totales 1000 col/100 ml y coliformes fecales 200 col/ 100 ml, observándose disminución con el tiempo.
 - La concentración de fenoles determinadas en 1994 presentan un incremento con respecto al año anterior, pasando el valor máximo permisible establecido por los criterios ecológicos de calidad del agua con 0.001 mg/l en consideración de la alta toxicidad de estos.

Los factores más relevantes a considerarse y que en un futuro causarán la alteración del cuerpo de agua y sus elementos biológicos, químicos, físicos y estéticos, se encuentran dados por el aumento de los nutrientes e hidrocarburos totales en general (grasas y aceites, hidrocarburos aromáticos y fenoles), los cuales pueden romper la capacidad de asimilación del cuerpo y favorecer el incremento de materia orgánica y mortandad de organismos, contribuyendo a la formación de zonas anóxicas y proliferación de microorganismos indeseables. Estas condiciones tendrían consecuencias directas en la salud de los turistas, evidentemente eutroficación, cambios en la transparencia del agua y presencia de olores desagradables.

1.3 Sistema normativo

La efectividad de las medidas para el control de la contaminación del agua depende de la promulgación de leyes y reglamentos integrales y realistas, junto con una prudente administración y gerencia de los mismos y la asignación de los recursos financieros adecuados y de otro tipo.

El control gubernamental puede ejercerse en tres niveles políticos: nacional, regional y estatal. Las responsabilidades en cada nivel de cada país, así como las funciones delegadas y de los recursos asignados a los niveles mas bajos por el nivel gubernamental inmediatamente superior. Es esencial que las leyes definan claramente las responsabilidades de cada nivel.

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en el artículo 27, consagra el principio de que la propiedad de las aguas comprendidas dentro de los límites del territorio nacional, corresponde originalmente a la Nación, y sólo por excepción, cuando se demuestre que las aguas no tienen tal carácter, se considerarán de propiedad privada. Por tanto, las aguas nacionales son bienes de dominio público y, en consecuencia, son inalienables, imprescriptibles e inembargables, en los términos de la Ley General de Bienes Nacionales.

La explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales, según lo dispuesto en el citado artículo 27 Constitucional, sólo podrá realizarse por los particulares mediante concesiones que otorgue el Ejecutivo Federal, de acuerdo con las reglas y condiciones que establezcan las leyes, en cuyo otorgamiento se tiene que observar lo dispuesto en el antepenúltimo párrafo del artículo 28 Constitucional, que establece no solo el principio de legalidad para otorgar concesión, sino además la facultad potestativa de concesionar en casos de interés general.

El marco jurídico general en que se encuadra el Programa Hidráulico 1995-2000 y que al mismo tiempo constituye el derecho positivo vigente que regula toda la materia de aguas en nuestro país, queda representado, en principio, por los preceptos constitucionales que han sido enunciados y además, por las distintas leyes emanadas de la propia Constitución, y otras disposiciones de observancia general relativas a la administración del recurso hidráulico como son:

- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, artículo 27, párrafo quinto, así como el artículo 115, modificado en el año de 1987.
- Ley de Aguas Nacionales, promulgada en diciembre de 1992.
- Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales, publicado en el Diario Oficial de la Federación el día 12 de enero de 1994.
- Ley Federal de Derechos, promulgada en 1982.
- Ley de Contribución de Mejoras por Obras Públicas Federales de Infraestructura Hidráulica, vigente a partir de 1991.
- Ley General de Bienes Nacionales, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 8 de enero de 1982.

-
- Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, promulgada en 1987.

La CNA, creada por Decreto Presidencial el 16 de enero de 1989 como órgano desconcentrado de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, es la única autoridad federal facultada para administrar las aguas nacionales.

En 1994, con la nueva administración federal, la CNA cambió del sector agricultura al de la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), como órgano desconcentrado. Esta reubicación obedece a la importancia que concede el Gobierno Federal al cuidado del medio ambiente y al aprovechamiento de los recursos naturales de los cuales el agua forma parte, y fortalece el ejercicio de la autoridad al no estar sectorizado con los usos del agua.

Asimismo, conforme a la Ley de Aguas Nacionales y su reglamento, la CNA tiene como atribución expedir Normas Oficiales Mexicanas (NOM) en los términos de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, referente a la conservación, seguridad y calidad en la explotación, uso, aprovechamiento y administración de las aguas nacionales.

Con base en lo anterior y en el ámbito federal, la responsabilidad principal es de la Comisión Nacional del Agua, pero siempre es importante la coordinación o la participación de acciones con los gobiernos de las entidades federativas y de los municipios; así como la participación de instituciones de investigación y de docencia; usuarios y particulares en la realización y administración de las obras y de los servicios hidráulicos.

2.- MARCO PARA LA EVALUACIÓN

2.1 Concepto de evaluación.

La evaluación es definida como el acto o resultado de evaluar, de examinar y enjuiciar el valor, calidad, significancia, cantidad, grado o condición de alguna cosa.

La razón más obvia para evaluar algo o a alguien es para estimar el valor, calidad, importancia, relevancia, desempeño, etc.; con la intención de cotizar, corregir, mejorar o cambiar.

También el uso del término evaluación en la literatura revela una combinación indiscutible de definiciones conceptuales y operacionales. Las definiciones conceptuales, no intentan cualquier formalidad lógica pero ofrece una lista de características de evaluación como un proceso cognitivo y efectivo. Las definiciones operacionales se concentrarán sobre el propósito de evaluación y los procesos involucrados en conducir un estudio de evaluación.

La evaluación es un proceso que implica una comparación del objeto bajo evaluación con otro similar utilizado como un estándar de comparación cuyas cualidades son bien conocidas por el evaluador.

La evaluación en este caso sería, un proceso de comparación entre diferentes soluciones o alternativas para lograr el mejoramiento de un sistema.

El proceso de determinar el valor o la cantidad de éxito en lograr un predeterminado objetivo incluye por lo menos los siguientes pasos: formulación del objetivo, identificación del criterio propio a ser utilizado en la medición del logro, determinación y explicación del logro, recomendaciones más allá de un programa de actividades.

2.2 Evaluación de proyectos

La evaluación de proyectos es una materia interdisciplinaria, ya que durante la elaboración de un estudio de este tipo intervienen disciplinas tales como

estadística, investigación de mercado, investigación de operaciones, ingeniería de proyectos, contabilidad, finanzas, ingeniería económica y otras.

Para realizar la evaluación de un proyecto normalmente se reúnen grupos interdisciplinarios sobre la área mencionada, y cada uno de los especialistas desarrolla la parte que le corresponde. El resultado de esta interacción es un estudio completo acerca de la viabilidad técnica, económica y financiera, que sirve de base para decidir la realización de alguna inversión.

La clara definición de cuál es el objetivo que se persigue con la evaluación, constituye un elemento clave para tener en cuenta la correcta selección del criterio evaluativo, así pueden existir especialistas que definen que la evaluación se inserta dentro del esquema de interés privado y que la suma de éstos intereses reflejados a través de la preferencia de los consumidores como consecuencia de los precios del mercado, da origen al interés social.

A través de una evaluación social se busca medir el impacto que una determinada inversión tendrá sobre el bienestar de la comunidad, intentando cuantificar los costos y beneficios sociales directos, indirectos e intangibles, además de las externalidades que el proyecto pueda generar. Además, no siempre un proyecto que es rentable para un particular es también rentable para la comunidad y viceversa.

El marco de la realidad económica vigente en un país será lo que define el mayor o menor grado el criterio imperante en un momento determinado para la evaluación de un proyecto. Lo importante es que siempre se hará en lo posible medir los costos de las distintas alternativas de asignación de recursos a través de un criterio económico que permita en definitiva conocer las ventajas y desventajas cualitativas y cuantitativas que implica la asignación de recursos a un determinado proyecto de inversión.

Así mismo, evaluar un proyecto tiene la intención de ofrecer los parámetros necesarios que permitan tomar una decisión en cuanto a seleccionarlo entre otras alternativas de inversión.

Un proyecto puede evaluarse desde diferentes puntos de vista, de hecho desde la concepción técnica del proyecto se inicia la evaluación, también se contemplan aspectos como la posible aceptación de la comunidad a la solución propuesta, los aspectos institucionales, los legales, los económicos y los financieros entre otros y que finalmente contribuyen a limitar el número de posibles soluciones.

El proceso de evaluación se puede dividir en dos partes, primeramente se debe plantear el universo de alternativas técnicas, para posteriormente identificar cuál es la mejor apoyándose en la aplicación de restricciones; la segunda es hacer una revisión sobre el planteamiento para evaluar un proyecto desde los puntos de vista financiero, económico, de impacto ambiental, otros factores.

En los proyectos de control de la contaminación, la evaluación de los beneficios es uno de los problemas más críticos, debido a la incertidumbre de la información, y a las dificultades encontradas en la identificación de dichos beneficios y en su cuantificación.

Cuando se ejecuta un proyecto de reducción de la contaminación para alcanzar metas deseadas de calidad ambiental, la obtención de la información relevante sobre la relación entre la contaminación y calidad ambiental requiere investigación y análisis técnicos muy cuidadosos. La cuantificación de los beneficios, expresados en términos como días de esparcimiento, salud humana o efectos sobre la manufactura, resulta obviamente una tarea difícil.

Las mejoras potenciales en la calidad del agua pueden causar que la sociedad reaccione positivamente ante un determinado sistema tributario o de cobro, valorando dichas mejoras y mostrando su disposición a pagar por la mejora del bien público. Sin embargo, es difícil lograr que los individuos conceptualicen las mejoras esperadas en el medio ambiente, y las técnicas utilizadas para investigar la disposición a pagar pueden sobrestimar o subestimar los beneficios personales esperados y, en consecuencia, la disposición a pagar.

2.3 Formulación de objetivos de evaluación.

Algunas de las consideraciones generales involucradas en la formulación de objetivos de evaluación, entre las más relevantes son las siguientes:

1. **¿Cuál es la naturaleza del contenido del objetivo?** ¿Estamos interesados en cambiar las actitudes, y/o conducta? ¿Estamos preocupados en el interés de exponer, conciencia, interés, y/o acción a producir? Las respuestas a estas preguntas permiten al evaluador determinar lo que llaman las regiones dentro de la cual los conceptos son colocados.

-
2. **¿Quién** es el objetivo del proyecto? ¿A que grupos de la población el proyecto es dirigido? ¿Estamos buscando cambios individuales, de grupo, o de toda una comunidad? ¿Estamos buscando alcanzar el objetivo del grupo directamente o indirectamente? Estas preguntas ayudan a identificar el presente y los clientes potenciales para un proyecto de servicio público. Cualquier programa tendrá efectos diferentes entre varios segmentos de la población y el éxito o fracaso solamente puede ser medido en términos de quién está intentando el logro.
 3. **¿Cuándo** el cambio deseado está tomando lugar? ¿Estamos buscando un efecto inmediato o estamos construyendo gradualmente hacia algún defecto pospuesto? En general, estamos hablando a corto plazo, proyectos discretos de una particular naturaleza de corto alcance; a largo plazo, proyectos de desarrollo que buscan construir hacia una meta de largo alcance. Algunos objetivos toman un mayor tiempo que otros para alcanzarlos y la evaluación debe tomar lugar en un período de tiempo en que el proyecto ha estado en efecto.
 4. **¿Son los objetivos unitarios o múltiples?** ¿El proyecto busca un simple cambio o una serie de cambios? ¿Son estos cambios los mismos para toda la gente o ellos varían para diferente grupo de gente? Es raro que cualquier proyecto tenga solamente un propósito o un solo efecto. Esto significa que el evaluador normalmente debe de proveer la medida de los efectos múltiples que se requieren en el reparto de prioridades para el estudio.
 5. **¿Cuál es la magnitud** deseada del efecto? ¿Estamos buscando resultados concentrados o generales? ¿Tenemos que obtener cualquier proporción particular de efectividad antes de que el proyecto pueda ser considerado un éxito? ¿Existe algún estándar especificado del logro que debemos conocer? Muchos proyectos asumen metas irreales de éxito total. Los objetivos para la mayoría de los proyectos deben de ser mucho más modestos, involucrando mejoramiento en lugar de eliminación y dirigido a disminuir el daño y mejorar el funcionamiento en lugar de una prevención total.
 6. **¿Cómo** debe ser logrado el objetivo? ¿Cuáles son los medios a utilizar durante el proyecto? ¿Dependerá principalmente sobre la cooperación voluntaria o deberá intentar ser realizada para asegurar sanciones legales? ¿Será personal o impersonal, formal o informal el interés de ser realizado? Para un incremento en la extensión de los proyectos de servicio
-

público se tendrá que abandonar su dependencia sobre la acción legislativa y buscar apoyo de la comunidad para sus objetivos.

Estas 6 consideraciones tratan preguntas básicas que necesitan ser contestadas en la formulación de objetivos de un proyecto por evaluación. Mientras algunas de estas preguntas podrían ser irrelevantes para propósitos de operación, ellas juegan un rol crucial en determinar objetivos debe uno seleccionar para la evaluación y cómo uno diseña el estudio de evaluación.

La evaluación después de todo es principalmente un punto de vista crítico. Llega a ser una pregunta de prueba para los científicos de como sabemos que nuestros esfuerzos han sido exitosos, qué suposiciones requerimos para poder establecer esta prueba, y qué grado de confianza demandamos para estas consideraciones.

2.4 Marco para la evaluación.

Para llevar a cabo un proceso de evaluación, lo primero que debe establecerse es el objetivo principal del proceso. Este objetivo principal deberá describir la meta de manera precisa y situarla en el tiempo, lugar y número. Como ya sabemos, los objetivos son medidas claras de los fines que se persiguen. En realidad, los objetivos se convierten en criterios específicos para evaluar alternativas u opciones.

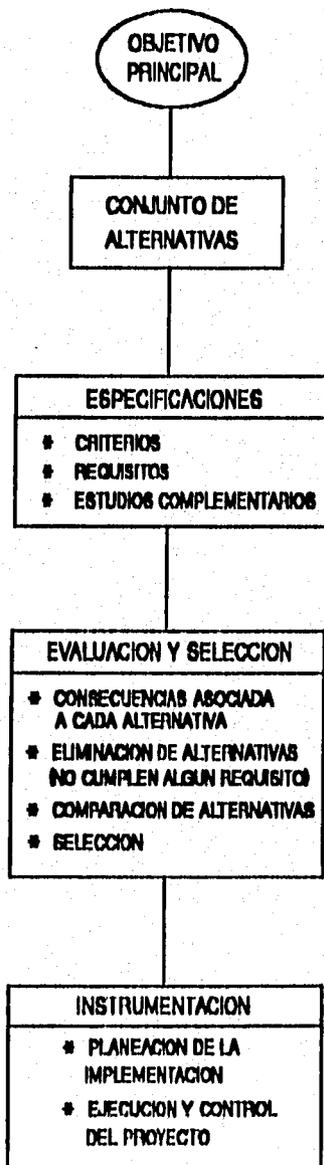
Ya teniendo bien claro el objetivo principal, entonces procedemos a buscar diferentes alternativas o caminos a seguir, posibilidades u oportunidades que se presenten para cumplir con un propósito.

Una alternativa ideal o perfecta es aquella que satisface al cien por ciento las necesidades planteadas por el objetivo. Por supuesto, las alternativas ideales raramente se dan en la realidad, por lo que al elegir entre varias opciones se debe de definir los criterios, requisitos o estudios complementarios con lo que se juzgarán las alternativas.

Para elegir entre varias alternativas se debe de evaluar cada una de ellas frente a los objetivos para ver o para determinar si cumple con ellos o no; y después comparar las alternativas entre sí, para definir cuál de ellas satisface mejor al objetivo y que al mismo tiempo que ofrezca el menor riesgo posible. La alternativa seleccionada será aquella que ofrezca el equilibrio más favorable entre ventajas (cumplir con los objetivos) y desventajas (riesgos).

Y para finalizar, ya teniendo la mejor alternativa, se elabora una planeación de la implementación de la alternativa seleccionada, para llevar a cabo su ejecución y así mismo, llevar un control del proyecto, para lograr mejores acciones ordenadas y que eficazmente cumplan el objetivo deseado.

A continuación, se presenta un esquema para la evaluación.



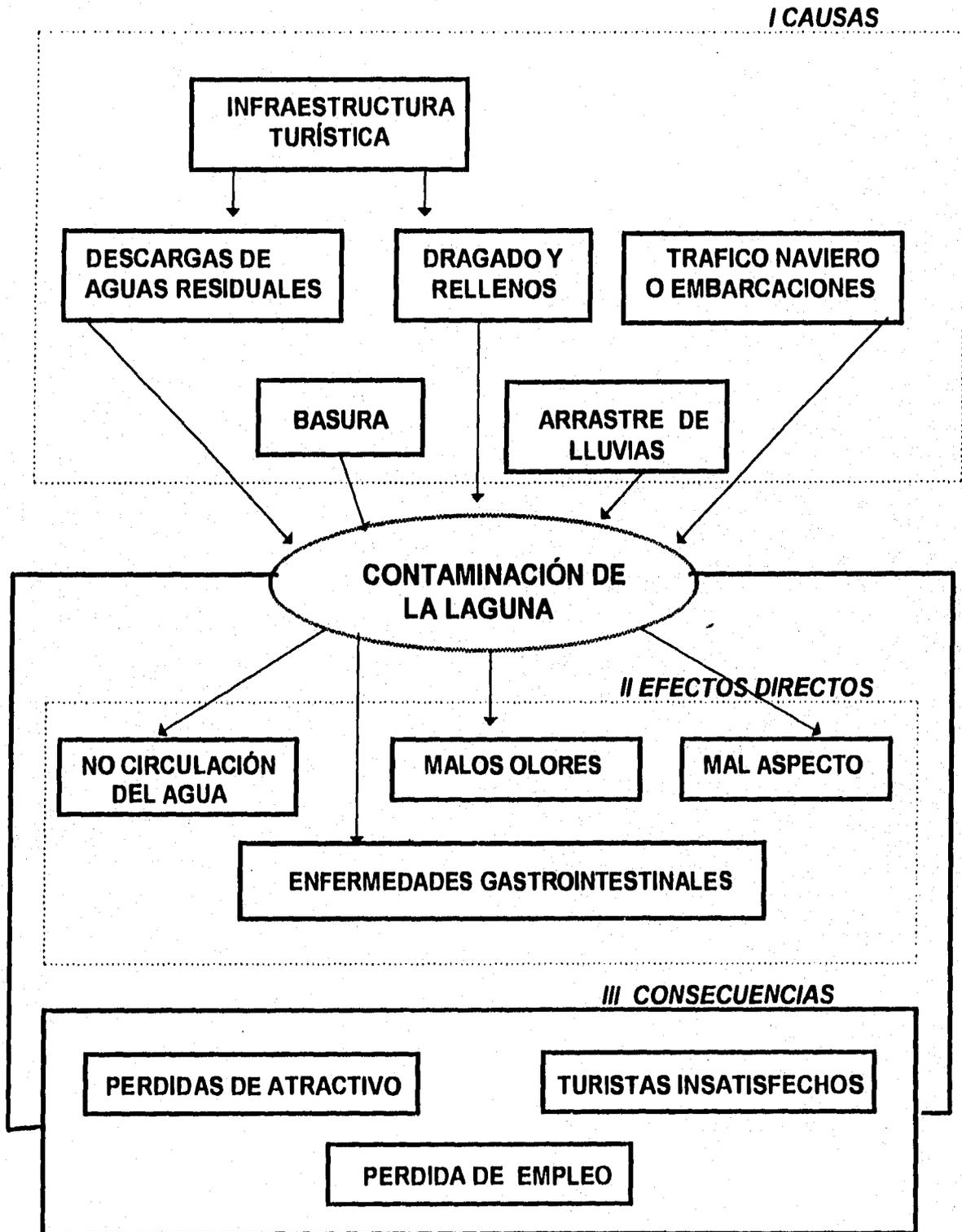
3.- IDENTIFICACIÓN DE ALTERNATIVAS

Como anteriormente fue mencionado, la Laguna de Bojórquez esta ubicada en una zona de aguas de extraordinaria transparencia y esta ha experimentado un incremento sustancial de nutrientes asociado a las actividades humanas (principalmente dragados y drenajes domésticos), el cual ha inducido un proceso de eutroficación. Como consecuencia de este proceso, esta laguna presenta un deterioro significativo de sus cualidades estéticas y recreativas, debido al aumento de la turbiedad, la presencia de algas y materia organica en descomposición, olores desagradables y fauna nociva.

La rápida alteración de la laguna se debe a su escasa capacidad de eliminar los nutrientes que en ella se descargan, debido a que tiene un tiempo de renovación de sus aguas extraordinariamente lento calculado en más de dos y tres años.

A continuación se presenta un mapa conceptual del sistema con sus causas, efectos directos y consecuencias, para que posteriormente se puedan identificar distintas alternativas de solución.

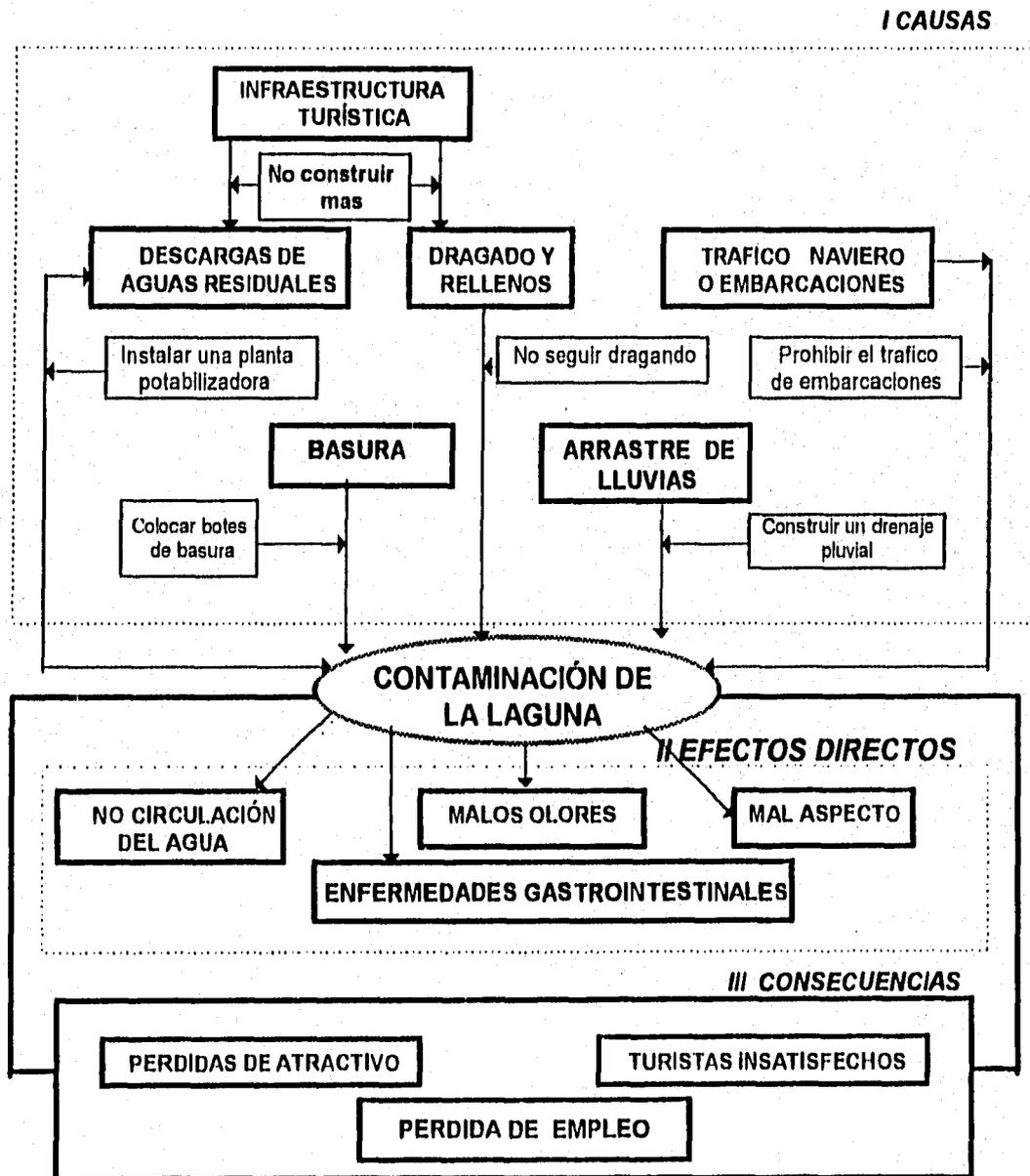
3.1 MAPA CONCEPTUAL DEL SISTEMA



3.2.1 ALTERNATIVAS DE ACCIÓN: IDENTIFICACIÓN

Un proceso de evaluación toma como punto de partida el establecer con claridad qué se va a evaluar (el conjunto de alternativas) y con qué propósito (la necesidad a satisfacer los objetivos que se persiguen).

Para el problema específico de la Laguna, en la figura siguiente se presentan las diferentes alternativas que en un principio se identifican.



3.2.2 ALTERNATIVAS DE ACCIÓN: PROPUESTAS

Las alternativas que se han estudiado en el IMTA corresponden a aquellas intervenciones que están en el campo de los efectos (figura anterior, II efectos directos), que han sido planteadas para la solución de la problemática ambiental de la LB de las cuales se desprende que se puede hacer una división en dos grandes grupos:

- Las que utilizan la energía natural disponible, como la energía de las mareas o de los oleajes, para obtener un intercambio de agua entre el mar y la laguna.
- Las que utilizan energía producida artificialmente para inducir ese intercambio, como el bombeo de agua de mar.

El panorama general en cuanto a estos dos grandes grupos de alternativas de saneamiento es el siguiente:

Las alternativas de energía natural son muy ventajosas desde el punto de vista operacional, ya que no requieren de ningún gasto de producción de energía, ni de la presencia humana para su funcionamiento; sin embargo, en ciertas circunstancias la energía natural puede no ser suficiente para conseguir los efectos deseados; la suficiencia de energía depende de dos factores principales: el método de aprovechamiento y las condiciones físicas del medio.

En cuanto a los métodos de aprovechamiento de las energías naturales, se conoce bien el funcionamiento de las comunicaciones directas que aprovechan las mareas, con la finalidad de conseguir intercambios de dos cuerpos de agua; tratándose de los oleajes, se han inventado diversos dispositivos que aprovechan su energía para fines variados, pero específicamente se cuenta con al menos uno de ellos cuya finalidad es lograr el intercambio entre dos cuerpos de agua.

En lo que corresponde a disponibilidad de energía natural en el medio físico se tiene que en el caso de la zona del Caribe mexicano se cuenta con amplitudes de marea poco importantes, para Cancún la amplitud es del orden de 0.20 m, lo cual podría limitar hasta cierto punto las opciones que utilizan a la marea como su energía de recambio.

La situación de los oleajes es particular, ya que a pesar de que seguramente existen características favorables en la zona, no se cuenta con la información suficiente de mediciones de oleaje en la zona, que permitan evaluar detalladamente la eficiencia de los dispositivos.

Las alternativas que utilizan la energía producida artificialmente presentan grandes ventajas desde el punto de vista de tener un grado muy elevado de control, con lo cual se pueden esbozar diferentes políticas de operación que se adapten de acuerdo a los requerimientos, la operación de este grupo de opciones se considera cara.

Otro de los aspectos que influyen grandemente para las propuestas de solución al problema ambiental de la LB, lo constituye el entorno del sitio de Cancún, a este respecto se deberán tener siempre en cuenta los siguientes puntos:

- Las Playas, que constituyen el principal atractivo turístico, se deben preservar sin impactos negativos.
- La importancia de la preservación de las zonas de manglar.
- Cualquier obra a realizarse debe armonizar con el paisaje y la arquitectura.
- Actualmente resulta muy complicada la adquisición de predios, por falta de espacio y por los usos de suelo autorizados.
- La existencia de la berma de servicios que corre paralela al Boulevard Kukulcán.

Con base en el panorama planteado se han estudiado las posibilidades de saneamiento, considerando como viables cinco alternativas, cada una de ellas ha tratado de englobar la filosofía de las acciones que, en el sentido de cada opción, se han planteado con anterioridad, de lo cual se desprende que las alternativas propuestas pueden contemplar todas las variantes respectivas.

Alternativa A. Dispositivos concentradores de oleaje.

Se trata de un amplificador y rectificador de oleaje, el cual permite que los gradientes de presión generados por el oleaje induzcan un flujo hacia otro cuerpo de agua, debido al principio de vasos comunicantes. El dispositivo

amplifica la altura del oleaje mediante dos paredes que corren verticales desde el fondo hasta más allá de la superficie del agua, y convergen en una garganta donde se capturan las crestas de las olas. La garganta del dispositivo se comunica mediante un conducto amplio hasta el punto de otro cuerpo de agua hacia donde se desea generar el flujo. El tren de las olas es refractado antes de entrar al amplificador para evitar la reflexión del oleaje en las paredes. La amplificación de la altura de las olas permite generar gradientes de presión significativos aunque la altura del oleaje sea pequeña. La elevación de la garganta por encima del nivel medio del agua evita que el agua que entra pueda regresar cuando la ola se retira (figura 3.1 y 3.2).

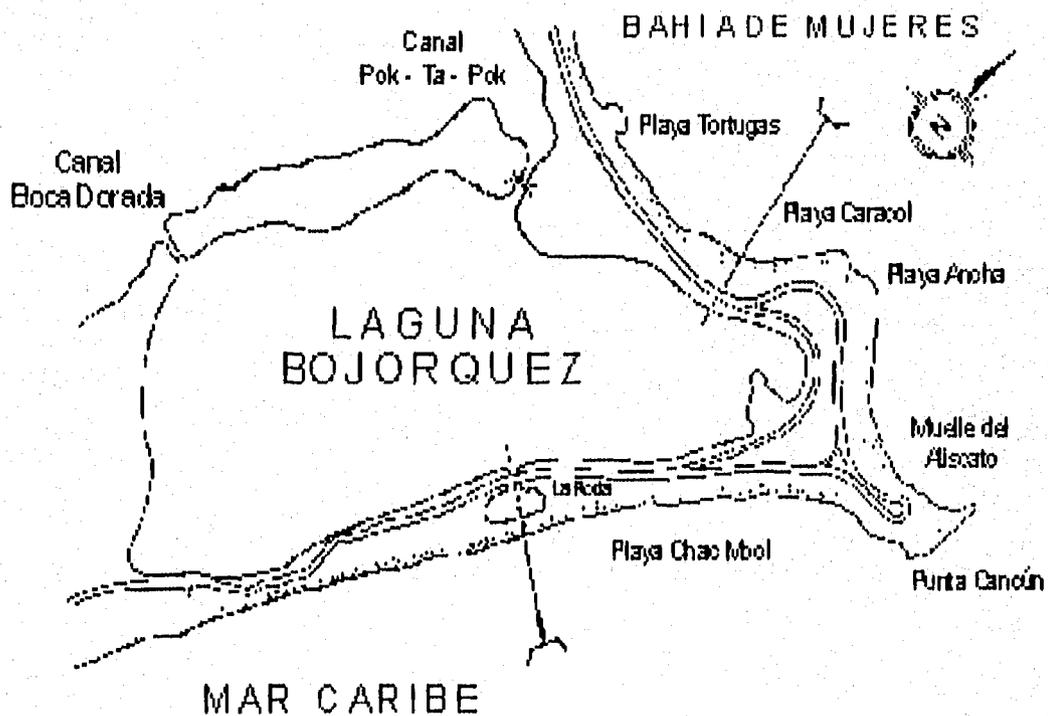


Fig. 3.1 Dispositivos concentradores de oleaje

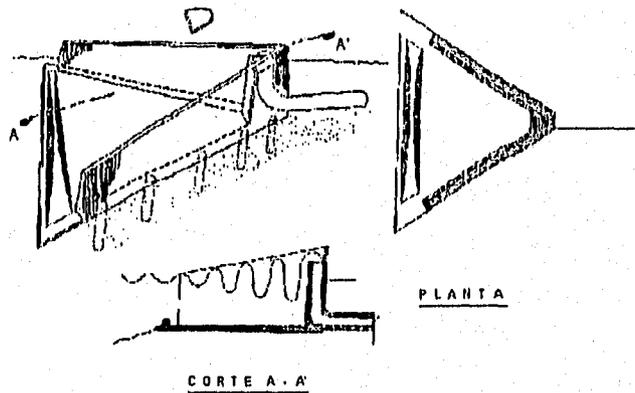


Fig. 3.2 Dispositivo concentrador de oleaje (patente 11525 SECOFI)

Alternativa B. Rectificación y ampliación de canales existentes.

Esta alternativa contempla la rectificación de los canales Nichupté, Sigfrido, Pok-Tapok y Boca Dorada (figura 3.3), con el objetivo de imprimirles mayor capacidad hidráulica con la que se pretende conseguir un flujo más importante entre el mar y la Laguna Nichupté, y a su vez de ésta con la LB.

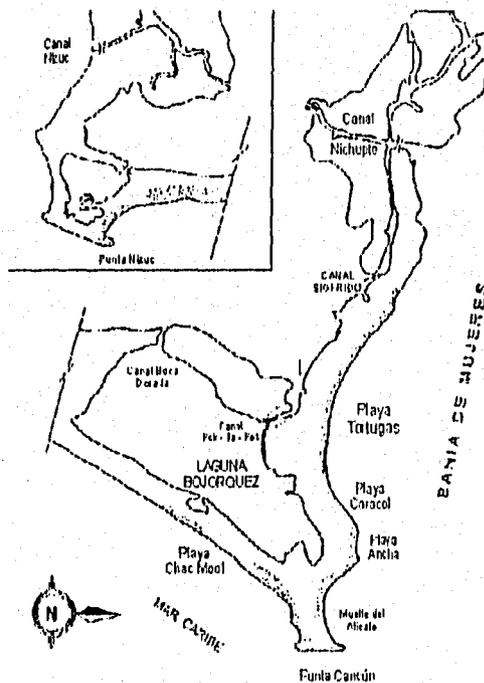


Fig. 3.3. Rectificación de canales

Alternativa C. Canal de comunicación directa Bojórquez-mar.

Para aprovechar directamente la energía de las mareas es necesario disponer de comunicación entre el mar y la LB a través de la construcción de un canal. Basados en un recorrido por toda la ribera de la LB se observó que existen tres posibles zonas para construir un canal a marea libre (figura 3.4 y 3.5).

- a) Playa pública Chac Mool.
- b) Playa pública Caracol.
- c) El denominado lote 2.

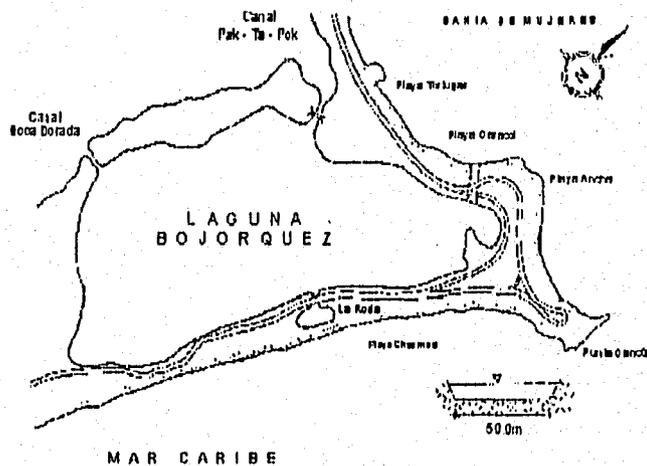


Fig. 3.4. Canal de comunicación directa Bojórquez-mar

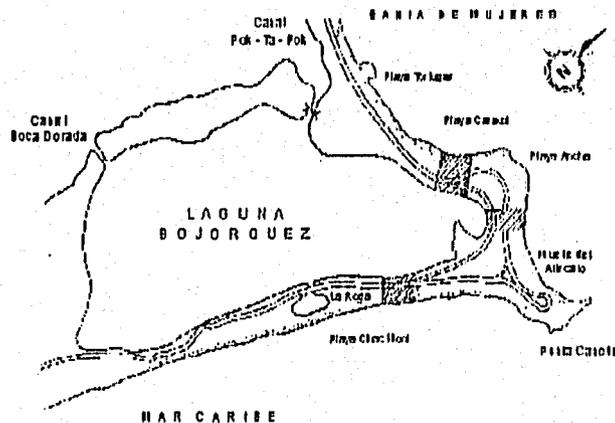


Fig. 3.5. Zonas consideradas para apertura de canales

Alternativa D. Bombeo de agua de mar.

Esta alternativa contempla la inyección del agua de mar en varios sitios estratégicos, el sistema consiste en una obra de toma submarina, con una tubería de conducción hasta un cárcamo de bombeo con tres bombas que alimentan una tubería que llega a la laguna a través de la Rada y desde allí con dos tuberías, una hacia la ribera Suroeste y otra hacia la ribera Noroeste (figura 3.6).

Uno de los factores más importantes en la hidrodinámica de la LB, es el volumen de intercambio de agua entre ésta y la Laguna Nicupté, conocido también como prisma de marea (esto significa que la mitad de la marea entra a la laguna y la mitad sale de ella).

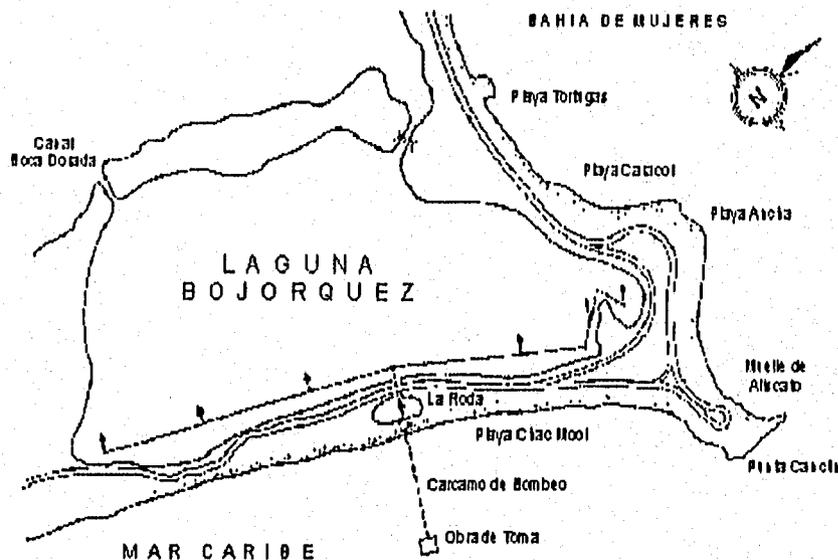


Fig. 3.6. Alternativa de bombeo de agua de mar

Alternativa E. Sistema de aireación.

La aireación y circulación artificial de embalses se utiliza para tratar las consecuencias ecológicas de la eutroficación.

A continuación se proponen dos técnicas para airear la laguna por medio de circulación artificial.

a) Dispositivo de aireación mediante rápidas y saltos hidruticos

El dispositivo consiste de una serie de rápidas y saltos hidruticos para la aireaci3n y oxigenaci3n del agua de la laguna. La estructura consta: un dispositivo de succi3n que recolecta el agua, conduci3ndola hacia un tanque de abastecimiento; tres rápidas con igual número de saltos hidruticos, por medio de las cuales se airea el agua y como consecuencia se oxigena (figura 3.7 y 3.8).

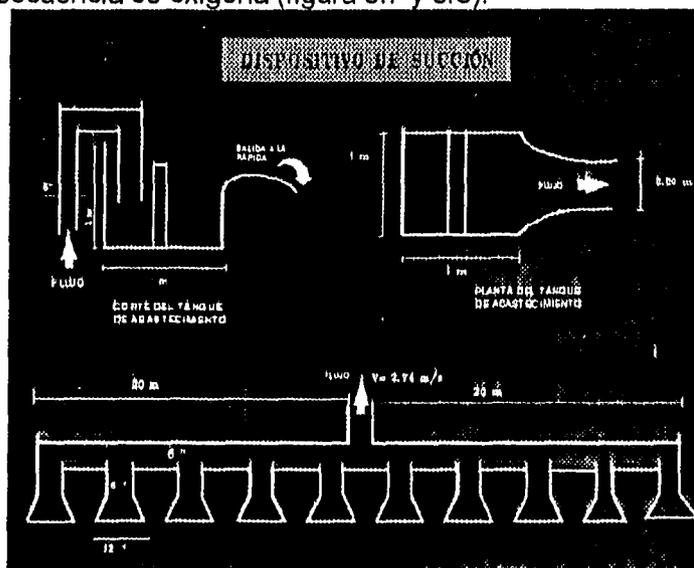


Fig. 3.7. Dispositivos de succi3n

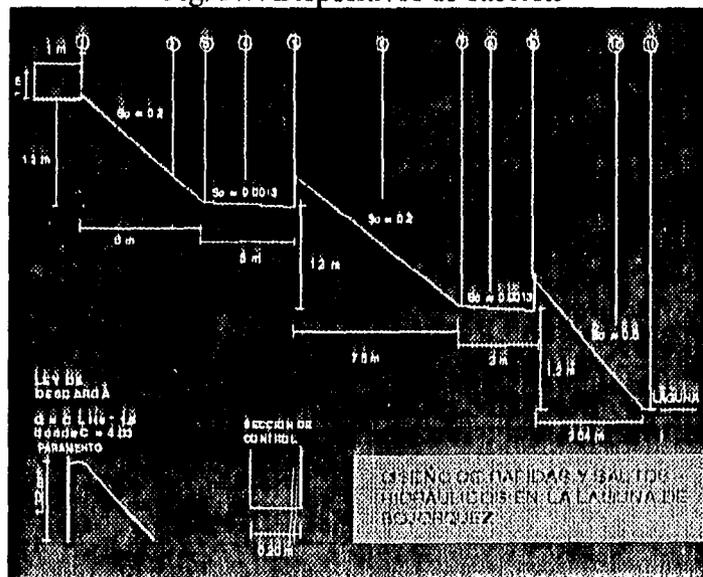


Fig. 3.8. Diseo de rápidas y saltos hidruticos en la laguna de Boj3rquez

b) Tubos aireadores.

La idea de estos sistemas es forzar la circulación de las aguas del fondo, de modo que se mezclen con las aguas superficiales, las cuales contienen mayor cantidad de oxígeno. El equipo es un tubo con flotadores en la parte superior y una cámara de aire en la parte inferior. El equipo se ancla al fondo del lago para fijarlo en un punto (figura 3.9 y 3.10).

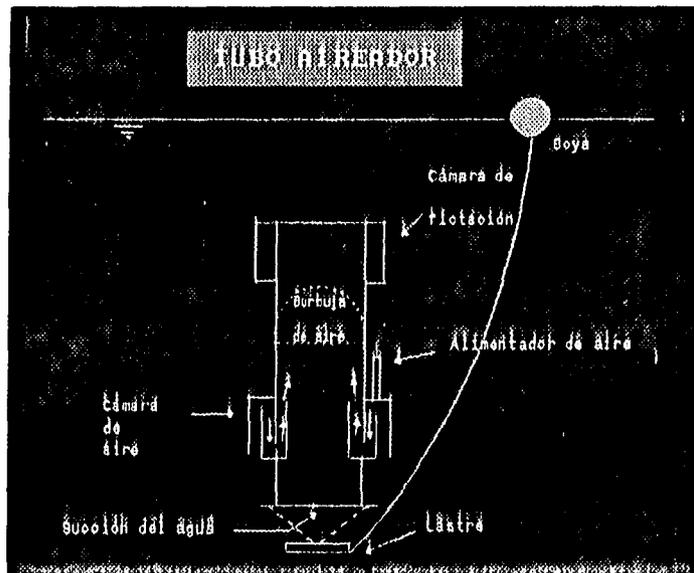


Fig. 3.9. Estructura de un tubo de circulación libre

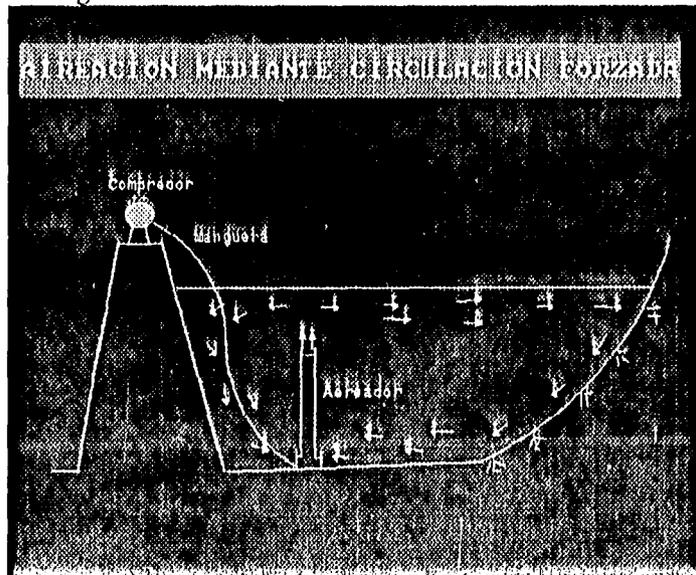


Fig. 3.10. Instalación y funcionamiento del tubo aireador

3.4 Opciones o fuentes de financiamiento

Al ejecutar planes de control de la contaminación, deben tomarse provisiones para financiar los costos de inversión en la construcción, así como los costos de inversión debido a la operación y el mantenimiento a largo plazo de las instalaciones, y otros costos de inversión adicionales. Las provisiones deben hacerse a nivel de todo el sistema, incluyendo cada uno de sus segmentos y fases. Los fondos pueden provenir de uno o más niveles gubernamentales (nacional, estatal, regional y municipal), usuarios industriales y otros. Los organismos internacionales, también brindan asistencia financiera en la forma de donaciones y préstamos. El proceso de planificación debe incluir la investigación de todas estas fuentes.

En algunos países el gobierno nacional o estatal puede brindar subvenciones o préstamos de capital. Al interior de un país o estado, dichos fondos pueden estar disponibles a través de diferentes entidades, dependiendo de factores locales, ya sea que se trate del área urbana o rural, condiciones económicas y necesidades de desarrollo.

Las fuentes locales de financiamiento de fondos de inversión, incluyen impuestos o préstamos, abarcando la emisión de diferentes tipos de bonos. Generalmente, los gobiernos municipales cuentan con un superávit reducido o nulo en sus ingresos tributarios, por lo que éstos no son considerados como una buena fuente de financiamiento.

Generalmente el gobierno local debe recurrir a préstamos para poder cubrir su participación en los costos. Sin embargo, en los países en vías de desarrollo, con frecuencia puede ser imposible obtener préstamos de fuentes independientes del gobierno. Por lo tanto, el proyecto tendrá que reducir su alcance o alargar su tiempo de ejecución para facilitar el financiamiento a través de aquellas fuentes presupuestarias disponibles con las que pueda contar.

Algunas fuentes de capital son las siguientes:

Bonos. Aunque no se les utiliza con mucha frecuencia en los países en vías de desarrollo, pueden tomar diferentes formas como:

Bonos de gravamen especial. Emitidos para cubrir costos donde existen beneficiarios privados específicos y amortizados mediante pagos realizados por estas fuentes privadas y no por los contribuyentes en general;

Bonos de obligación general. Respaldados por el crédito de la entidad emisora a diferencia de los bonos públicos que pueden no tener el crédito y el respaldo total de la entidad emisora, pero que dependen de las rentas generadas por el proyecto financiado o por fuentes específicas;

Bonos de desarrollo industrial. Emitidos por la industria para financiar los costos de inversión de una serie de actividades, incluyendo el control de la contaminación. El gobierno no incurre en obligación, pues los bonos son amortizados mediante pagos realizados por la industria;

Arrendamiento financiero/compra a plazos. El gobierno local adquiere instalaciones públicas sin necesidad de desembolso del capital inicial por la compra total. El arrendatario puede ser una firma privada o una organización sin fines de lucro;

Impuestos. Esta es una categoría amplia, en la que parte o todos los ingresos obtenidos son destinados a un uso específico. Los tipos de impuestos usados incluyen los impuestos a las ventas en general, a ventas selectivas, al uso, a la propiedad, y otros;

Cobros, tarifas y permisos. Se refiere a la forma de gravamen impuesto a los beneficiarios de un servicio público. Puede cubrir los costos de inversión, costos de operación o ambos. Para un programa que busca sostenerse a través de sus recursos propios, el sistema de cobros debe reflejar el conjunto de costos de operación, mantenimiento, depreciación e intereses sobre la deuda. También debe incluir la recuperación de aquel porcentaje de los costos de capital que no fueron financiados mediante endeudamiento. Además, los fondos generados por las operaciones deben ser adecuados para cubrir, por lo menos, todos los costos de operación y, de ser posible, todas las necesidades impuestas por el pago del servicio de la deuda, incluyendo contribuciones al fondo de amortización para deuda no reembolsable mediante cuotas.

La privatización también se puede utilizar como un método alternativo de financiamiento de diferentes tipos de obras públicas. El método ha sido particularmente útil en situaciones en donde la asistencia financiera externa es reducida o nula por lo que la comunidad deberá sufragar en principio todo el costo de diseño, construcción, operación y mantenimiento.

Cuando se aplica la privatización, una entidad privada financia, diseña, construye, asume la propiedad y se encarga del funcionamiento de la instalación de tratamiento. Esta entidad vende los servicios a la comunidad por un pago anual. Ya sea la entidad privada o la comunidad, pueden asumir

la responsabilidad de fijar y recaudar los pagos por el servicio, así como llegar a otros arreglos con los usuarios. En algunos casos también se ha utilizado la privatización parcial. En este tipo de esquema, se contrata a una entidad para que se encargue de la operación y el mantenimiento del sistema, así como el suministro de los servicios a los usuarios.

La privatización no es la panacea para los problemas financieros. Es una alternativa que debe ser considerada y evaluada en base a factores locales.

El proceso de búsqueda del financiamiento óptimo requiere de un análisis de los costos del proyecto, dado que es posible que cada uno de los elementos constituyentes del costo tenga una alternativa de financiamiento óptima distinta.

Para este caso, se podría plantear un financiamiento múltiple, en cual se solicitaría la participación del Gobierno Federal, Municipal y del Sector Turístico.

4.- EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS

El deterioro de la calidad del agua y el hábitat acuático en la laguna de Bojórquez es un problema que se debe afrontar en forma decisiva para lograr su recuperación. El entendimiento y comprensión de los procesos asociados con el mezclado y transporte de sustancias dentro de la laguna es de vital importancia para planear y ejecutar acciones que ayuden a mitigar el problema.

Para llevar a cabo lo anterior, a continuación se identificarán los principales criterios de evaluación para el saneamiento de la LB.

4.1 Criterios de evaluación

Para la recuperación de la laguna, se presentan 5 alternativas que mejoran la calidad del agua de la Laguna, unas provocando circulación en zonas estancadas, y otras por medio de aporte de agua de mayor calidad. A continuación se enlistan:

1. Dispositivo concentrador de oleaje.
2. Rectificación y ampliación de canales existentes.
3. Apertura de una nueva boca de comunicación con el mar.
4. Bombeo de agua de mar.
5. Sistema de aireación.

Ya tenemos identificadas las principales alternativas; a continuación se hará un análisis de estas alternativas con ventajas y desventajas con los diferentes criterios de evaluación que son los siguientes: constructivo, operacional, estético, efectos sobre la playa, ecológico y financiero.

Alternativa A. Dispositivo Concentrador de Oleaje.

ASPECTO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Constructivo	<ul style="list-style-type: none"> • Prefabricación de los elementos que constituyen el dispositivo 	<ul style="list-style-type: none"> • Excavación para colocación de tuberías • Cruce de la berma de servicios • Dificultad en la colocación de los prefabricados • En su caso, colados submarinos • Problemas de desplante y cimentación en función de su localización
Operacional	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliza energía natural • Requiere mantenimiento muy limitado 	<ul style="list-style-type: none"> • Se encuentra en periodo experimental • La limpieza de tuberías puede resultar complicada • Falta de información sobre oleaje en la zona
Estético		<ul style="list-style-type: none"> • Podría tener un impacto en el paisaje
Efecto sobre la playa	<ul style="list-style-type: none"> • En caso de obtenerse sedimentaciones 	<ul style="list-style-type: none"> • En caso de obtenerse erosiones
Ecológico	<ul style="list-style-type: none"> • Se obtiene el recambio de agua 	<ul style="list-style-type: none"> • Podría ocasionar variaciones morfológicas en zonas aledañas por alteración de flujos litorales, modificando hábitats costeros
Financiero	<ul style="list-style-type: none"> • Se requiere prácticamente solo de inversión • El mantenimiento representa un costo bajo • La expectativa de vida útil es alta 	<ul style="list-style-type: none"> • En caso de daños por condiciones de tormenta, se generan costos de reparación

El dispositivo concentrador de oleaje está superditado a las características del medio físico. Los oleajes que inciden a Punta Cancún provienen del Golfo de México y del Mar Caribe; el oleaje en Bahía de Mujeres proviene del Golfo es muy bajo por la protección natural que le proporciona la isla del mismo nombre, el oleaje en el Caribe es un poco más alto que en Bahía de Mujeres pero de todas maneras con poca energía, debido a que el arrecife Arrowsmith hace las veces de rompeolas sumergido.

Se considera que el dispositivo se encuentra todavía en la etapa de experimentación y que para tomarlo en cuenta como una solución, hace falta complementarlo con información detallada de oleajes en la zona y realizar un programa muy extenso de pruebas de resistencia y estabilidad, ya que cuando las estructuras están sometidas a condiciones de tormenta, podrían generar altos costos de reparación en caso de daños ocasionados por condiciones extremas, con la consecuente dificultad para efectuar dichas reparaciones.

Además la alternativa requiere de excavaciones importantes en tierra, a fin de colocar la tubería de alimentación, ya que por necesidades propias del sistema, el eje de la tubería debe de encontrarse siempre debajo del nivel medio del mar, para contar con el gradiente hidráulico que se necesita para que se produzca el flujo.

La excavación atravesaría el Boulevard Kukulcán y la berma de servicios en dos puntos, con las consecuentes complicaciones técnicas y económicas de salvar los obstáculos, para solventar esta situación se puede elegir la colocación de los dispositivos en zonas donde ya existen puentes sobre el Boulevard, que permitan salvar la berma de servicios, evitando las complicaciones mencionadas.

Por otro lado el impacto visual de las estructuras podría resultar un elemento negativo importante frente a las playas Caracol y Chac-mool, en caso de que las estructuras sean muy evidentes, pero no se descarta la posibilidad de que, en cambio, puedan resultar poco aparentes.

No se ha evaluado el efecto de las estructuras sobre la playa, en términos de modificaciones de la morfología, este es uno de los aspectos más delicados por tratarse de playas de gran interés turístico. Aunque en términos generales la tendencia esperada sería hacia la sedimentación, ya que las estructuras concentradoras actuarían a modo de rompeolas, no se puede descartar de antemano que se presentarán episodios erosivos en algunas zonas, en todo caso, un factor determinante para evaluar esta posible influencia es la distancia horizontal entre las estructuras y la playa.

Alternativa B. Rectificación y Ampliación de Canales Existentes

ASPECTO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Constructivo	<ul style="list-style-type: none">• Facilidad de proceso	<ul style="list-style-type: none">• Los dragados generan condiciones adversas temporales• Interrupción vehicular por ampliación de puentes
Operacional	<ul style="list-style-type: none">• Utiliza energía natural	<ul style="list-style-type: none">• Se requiere dragado de mantenimiento• Se requiere del complemento de un análisis hidrodinámico del SLN
Estético	<ul style="list-style-type: none">• No se altera el paisaje existente	<ul style="list-style-type: none">• Durante la construcción y mantenimiento se presentan turbiedad en la laguna y playas sucias
Efecto sobre la playa	<ul style="list-style-type: none">• En caso de no requerir protecciones en las bocas, existen efectos mínimos sobre la playa	<ul style="list-style-type: none">• Se requiere un análisis detallado de la estabilidad de las bocas que comunican al mar
Ecológico	<ul style="list-style-type: none">• Se puede conseguir el saneamiento deseado	<ul style="list-style-type: none">• Se afectan los manglares con la rectificación de canales• Se genera suspensión de sólidos durante la construcción
Financiero	<ul style="list-style-type: none">• El costo de mantenimiento podría resultar bajo en relación con la inversión.	<ul style="list-style-type: none">• Costo de mantenimiento periódico• Costos por la ampliación de puentes y servicios.

Resulta necesario garantizar que con la rectificación y ampliación de canales se obtendrá el grado de recambio deseado, para lo cual resultaría conveniente la implementación de un modelo hidrodinámico del SLN.

Los procedimientos y equipos para realizar los dragados son ampliamente conocidos, por lo que no existe dificultad para realizarlos, sin embargo, durante los trabajos se generarían condiciones adversas desde otros puntos de vista, como podría ser la puesta en suspensión de los sólidos del fondo de la laguna, este caso se podría repetir periódicamente, de requerirse dragados de mantenimiento para conservar las secciones de los canales.

Además la rectificación y ampliación de canales no implica un impacto negativo significativo en términos de paisaje, el único inconveniente se podría detectar durante los trabajos de construcción, ya que para la ampliación de las bocas, será necesario ampliar, adecuar o reconstruir los puentes y servicios existentes.

Ahora bien, el hecho de ampliar los canales de comunicación directa con el mar puede traer consigo el riesgo de una desestabilización de las bocas, en cuyo caso se afectarían las playas contiguas.

Otro factor importante a tomarse en cuenta es la posible afectación de los manglares, derivada de los trabajos en los canales, ya que el impacto puede ser negativo ecológicamente.

Alternativa C. Apertura de una Nueva Boca de Comunicación con el Mar.

ASPECTO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Constructivo		<ul style="list-style-type: none"> • Cortes en roca • Cruce de servicios • Durante la construcción, alteraciones del tránsito vehicular
Operacional	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliza energía natural 	<ul style="list-style-type: none"> • Se requiere de análisis detallados de oleajes, transporte litoral, estabilidad de la boca e hidrodinámico del SLN • se pueden requerir dragados de mantenimiento
Estético	<ul style="list-style-type: none"> • Se puede incorporar al paisaje armoniosamente 	<ul style="list-style-type: none"> • Afecta directamente a la playa • Puede ser necesaria la construcción de escolleras de protección • Hay refluo temporal de agua sucia hacia la playa
Efectos sobre la playa		<ul style="list-style-type: none"> • Puede alterar el equilibrio sedimentológico de la playa, dañándola de manera importante
Ecológico	<ul style="list-style-type: none"> • Se consigue un recambio de agua • Posibilidad de libre tránsito de organismos 	<ul style="list-style-type: none"> • Posiblemente la zona de influencia del recambio no abarque toda la laguna (se requiere de un análisis hidrodinámico detallado) • Hay refluo temporal de agua sucia hacia la playa • Se generaría contaminación por ruido durante la construcción, debido a los cortes en roca
Financiero	<ul style="list-style-type: none"> • El mantenimiento se considera bajo respecto a la inversión • La vida útil esperada es muy grande 	<ul style="list-style-type: none"> • Se requiere de una inversión fuerte que incluye construcción y adquisición de predios

El recambio de agua esperado con la apertura de un canal parece una opción bastante aceptable para la consecución del saneamiento de la LB, sin embargo, es necesario conocer el comportamiento hidrodinámico de la laguna, a fin de evaluar el efecto de la presencia del canal.

Además es importante efectuar un análisis detallado de estabilidad de la comunicación con fin de determinar si existe la necesidad de protección mediante escolleras, en cuyo caso se alteraría la dinámica litoral en forma importante.

Una alteración importante durante el proceso de construcción es la complicación del tránsito vehicular, ya que sería necesaria la construcción de puentes que permitan al Blvd. Kukulcán pasar sobre el canal.

Durante la construcción del canal a marea libre se tienen que realizar cortes en roca, pero en este caso la desventaja más importante la constituye el hecho de tener que atravesar la berma de servicios existentes, con sus consecuentes complicaciones.

Una objeción a la apertura de canales de comunicación mar-laguna hechas por algunos ecologistas es que en reflujo la marea transporta agua sucia al mar, deteriorando las playas aledañas a la apertura, sin embargo esta situación se presentaría únicamente de modo temporal, hasta alcanzar el saneamiento deseado.

De llevarse a cabo, el canal podría representar un elemento agradable en términos de paisaje, pero la zona de la playa se vería obstaculizada por su presencia.

Por otro lado el mantenimiento de un canal estable a marea libre es considerado bajo, su vida útil se considera alta y permite un recambio constante de agua, aparte de representar un costo de operación casi nulo.

Alternativa D. Bombeo de Agua de Mar.

ASPECTO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Constructivo	<ul style="list-style-type: none"> No se interfiere con los servicios Elementos prefabricados en la obra de toma No se altera la circulación vehicular 	<ul style="list-style-type: none"> Colocación Submarina de elementos prefabricados, conducciones y roca Invasión de un predio
Operacional	<ul style="list-style-type: none"> Se dispone de un caudal controlado de ingreso a la laguna 	<ul style="list-style-type: none"> La operación requiere de atención constante
Estético	<ul style="list-style-type: none"> Posibilidad de incorporarse arquitectónicamente 	<ul style="list-style-type: none"> Existen elementos que son visibles, como la tubería
Efectos sobre la playa	<ul style="list-style-type: none"> Se considera que no hay alteración de la dinámica litoral 	<ul style="list-style-type: none"> Existen alteraciones y disturbios durante la etapa de construcción
Ecológico	<ul style="list-style-type: none"> Se consigue el recambio deseado Inyección de agua limpia en los lugares exactos de mayor contaminación La mejoría en calidad del agua es extensiva a la Laguna Nichupté 	<ul style="list-style-type: none"> En el corto plazo hay un desplazamiento del agua de la LB hacia la Laguna Nichupté (se requiere de un análisis hidrodinámico detallado del SLN)
Financiero	<ul style="list-style-type: none"> 	<ul style="list-style-type: none"> Costos de mantenimiento y operación constantes, que es necesario sumar a la inversión La vida útil de equipos es corta Necesidad de hacer reinversiones en función de la vida útil

La construcción de esta alternativa no afecta el Blvd. Kukulcán, ni la berma de servicios existentes, ya que la tubería de inyección se introducirá a la LB a través del puente existente en el Boulevard y que cruza el sitio denominado La Rada.

El lugar considerado como idóneo para la ubicación del cárcamo de bombeo y las conducciones hacia La Rada invaden un predio propiedad del Hotel Sierra.

A pesar de necesitarse de obras civiles para alojar los equipos de bombeo, estas construcciones se pueden integrar armoniosamente con la arquitectura y el entorno de Cancún, el único elemento visible será un tramo de tubería entre el cárcamo de bombeo y La Rada.

La colocación de tuberías submarinas y de elementos prefabricados de la obra de toma podría resultar complicadas, y otra de las dificultades de construcción estriba en la necesidad de realizar excavaciones submarinas en roca.

Por tratarse de tuberías enterradas que no modificarán el perfil de la playa, puede considerarse que no se alteraran las condiciones de la dinámica litoral, además por otra parte la obra de toma sumergida se encontraría lo suficientemente alejada de la playa, y por lo tanto de la zona donde se opera el transporte litoral, como para que su efecto se deje sentir sobre ésta.

Las únicas alteraciones de esta dinámica litoral se podría sentir durante los trabajos de construcción, pero dependerán de los métodos utilizados.

Puesto que se puede inyectar un gasto constante durante todo el tiempo que se desee, indiscutiblemente el agua de la LB tendrá que desplazarse hacia la Laguna de Nichupté, ya que es la única salida para el volumen adicional introducido, este hecho contribuirá al mejoramiento de la calidad del agua de esta última laguna.

La inyección se realizaría exactamente en los lugares de condiciones más críticas, produciendo un movimiento de agua más eficaz para conseguir el saneamiento.

Las condiciones de navegación libre dentro de la LB se conservarán, toda vez que la tubería dejará en su desarrollo al menos 1 m de tirante de agua.

En este caso de bombeo se debe tomar en cuenta que los costos de operación y mantenimiento son relativamente altos con respecto a la inversión, ya que la operación eficiente de inyección de agua de mar a través de bombeo requiere de personal presente durante todo el tiempo que los equipos tienen necesidad de recibir un mantenimiento constante debido a las características corrosivas del agua de mar, este punto, a la larga hará necesaria una reinversión en sustitución de equipos; esta alternativa se considera muy efectiva, pero de vida útil corta.

Alternativa E. Sistema de Aireación.

ASPECTO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Constructivo	<ul style="list-style-type: none"> • Fácil diseño, no se necesita metodología especializada. • Afectación mínima a los servicios • Elementos prefabricados en la obra de toma • No se altera la circulación vehicular 	<ul style="list-style-type: none"> • Se requiere poner atención a la ubicación de la succión como a la descarga del flujo en la circulación.
Operacional		<ul style="list-style-type: none"> • La operación requiere de atención constante
Estético	<ul style="list-style-type: none"> • Posibilidad de incorporarse arquitectónicamente 	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de energía eléctrica
Efectos sobre la playa	<ul style="list-style-type: none"> • Prácticamente no tiene influencia negativa 	
Ecológico	<ul style="list-style-type: none"> • Recuperación paulatina del ecosistema • Factibilidad de estabilizar el sedimento del fondo 	
Financiero		<ul style="list-style-type: none"> • Se requiere de inversión inicial fuerte • Costos de mantenimiento y operación constantes, que es necesario sumar a la inversión • Necesidad de hacer reinversiones en función de la vida útil

Como ya se mencionó, la Laguna está en proceso de eutroficación, además de presentar formación de ciertos gases en la interfase agua-sedimento (por ejemplo nitrógeno amoniacal) los cuales se forman solamente en la ausencia de oxígeno. Es por esto, que este sistema es para forzar la circulación de las aguas del fondo, de modo que se mezclen con las aguas superficiales, las cuales contienen mayor cantidad de oxígeno.

La localización del sistema de aereación se realizaría en zonas con baja o nula circulación, de libre interferencia con el tránsito acuático; y del ordenamiento ecológico existente para conservar el equilibrio ambiental.

De acuerdo con lo anterior, lo que se requiere es conducir agua de un punto a otro mediante bombeo.

Se considera que en la obra de toma no se producirá alteraciones del material del fondo (movimiento o agitación del sedimento) durante la operación del sistema, tomando en cuenta las características hidráulicas de cada zona.

La colocación de tuberías submarinas y de elementos prefabricados de la obra de toma podrían resultar complicadas.

Por otro lado, este sistema considera un mantenimiento bajo, pero en su operación se requerirá una atención constante.

De llevarse a cabo, la estructura de aireación se diseñará arquitectónicamente de tal manera que represente un elemento agradable en término de paisaje.

Por tratarse de bombeo, se debe tomar en cuenta los costos de operación y mantenimiento, ya que la operación requerirá una atención constante, y que los equipos de bombeo requieran un mantenimiento corrosivo (aunque se pretende que este equipo sea el adecuado para operar en un medio salino), es posible que a la larga se haría necesaria una reinversión en sustitución de equipos.

4.2 Evaluación y selección de alternativa

Una vez que se han identificado los criterios de evaluación, así como sus ventajas y desventajas, se procede a estimar las consecuencias de cada alternativa.

Para lo anterior y queriendo tener una mejor comprensión del problema, así como de sus alternativas se procedió a agrupar los cinco aspectos de evaluación en tres que son: construcción, instalación, operación y mantenimiento, dificultad técnica e impacto ambiental, que a continuación se presenta.

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

ALTERNATIVAS DE SANEAMIENTO

CRITERIOS DE EVALUACIÓN	Apertura de una Nueva Boca de Comunicación con el Mar		Dispositivo Concentrador de Oleaje		Rectificación de Canales Existentes		Bombeo de Agua de Mar		Sistema de Aereación	
	VENTAJAS	DESVENTAJAS	VENTAJAS	DESVENTAJAS	VENTAJAS	DESVENTAJAS	VENTAJAS	DESVENTAJAS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Costo de Instalación, Operación y Mto.	<ul style="list-style-type: none"> El mantenimiento puede resultar bajo de acuerdo al arrastre y depósito de material. 	<ul style="list-style-type: none"> Costo inicial fuerte por la adquisición de área para trazo y construcción. Afectación a servicios y requerimiento de infraestructura adicional. 	<ul style="list-style-type: none"> Utilización de elementos prefabricados durante su construcción. 	<ul style="list-style-type: none"> Utilización de posibles técnicas especiales durante su instalación. Podría requerirse un mantenimiento continuo de la tubería de alimentación. Afectación a los servicios. 	<ul style="list-style-type: none"> No se requiere construcción de infraestructura. Se tiene estrato suficiente de material suave para el dragado. 	<ul style="list-style-type: none"> Se necesita dar mantenimiento (dragados periódicos). 	<ul style="list-style-type: none"> Utilización de gran parte de elementos prefabricados durante su construcción. 	<ul style="list-style-type: none"> Inversión inicial importante. Se requiere mantener gastos para su operación y mantenimiento. Será necesario adquirir área de zona comercial. Afectación a servicios. 	<ul style="list-style-type: none"> Utilización de materiales prefabricados. No requiere de mucho mantenimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> Se requiere inversión inicial importante.
Dificultad Técnica	<ul style="list-style-type: none"> Fácil diseño acoplado al intercambio deseado. 	<ul style="list-style-type: none"> Se necesita estudio detallado de mareas y corrientes litorales en la zona. 	<ul style="list-style-type: none"> Principio de funcionamiento básico. 	<ul style="list-style-type: none"> No se tiene experiencia en este dispositivos. Su eficiencia depende mucho de la variación de mareas. 	<ul style="list-style-type: none"> No se necesita de métodos especiales para su desarrollo. 	<ul style="list-style-type: none"> Las bocas están ya al límite de su área disponible. 	<ul style="list-style-type: none"> No se necesita de metodología especializada para su diseño. 	<ul style="list-style-type: none"> El proceso constructivo podría ocasionar dificultades sobre todo en la zona del mar. Es necesario diseñar las descargas sin que se altere el fondo. 	<ul style="list-style-type: none"> Fácil diseño, no se necesita metodología especializada. Uso de energía no convencional. Afectación mínima a servicios. 	<ul style="list-style-type: none"> Se requiere poner atención a la ubicación de la succión como la descarga del flujo en la circulación.
Impacto Ambiental	<ul style="list-style-type: none"> Se mejoraría la circulación de la laguna. 	<ul style="list-style-type: none"> Posible contaminación de las playas durante el intercambio. Cambiaría el proceso de arrastre y depósito en la playa en zonas cercanas a la boca. 	<ul style="list-style-type: none"> No se afectaría la calidad del agua de mar al no haber intercambio directo. 	<ul style="list-style-type: none"> Podría requerirse un tiempo considerable para observar cambios importantes en la laguna. 	<ul style="list-style-type: none"> Podría incrementar el intercambio entre el SL y la LB. Este dependerá de los dragados hechos. 	<ul style="list-style-type: none"> Se alterarían las condiciones de vida acuática del fondo, dependiendo de las áreas y longitudes de dragado. Resuspensión de sedimento, inhibiendo el paso de luz en la columna de agua. 	<ul style="list-style-type: none"> Se mejoraría en forma importante la calidad del agua de la LB. 	<ul style="list-style-type: none"> Podría ocasionar modificaciones de arrastre y desimentación en la costa. 	<ul style="list-style-type: none"> Recuperación paulatina del ecosistema y factibilidad de estabilizar el sedimento del fondo. Prácticamente no tiene influencia negativa. 	

Del análisis preliminar de las alternativas que se han realizado hasta ahora se pueden desprender los siguientes conceptos:

En cuanto a la alternativa A, del dispositivo de concentrador de oleaje, se considera que su carácter de experimental la limita para ser considerada como solución definitiva, y por otro lado, no existe todavía el grado de detalle necesario en cuanto a los estudios de condiciones oceanográficas y de comportamiento de las estructuras bajo condiciones extrémas, que permitan realizar un análisis teórico en condiciones reales de funcionamiento de los dispositivos.

Por otra parte, la alternativa B que es la rectificación y ampliación de canales presenta ventajas difíciles de evaluar en comparación con los efectos que pudiera tener, tanto sobre el SLN, a causa de los dragados, como sobre las playas aledañas a los canales Nichupté y Nizuc, y dada la extensión del sistema lagunar y las condiciones de la marea en el mar caribe, la onda de marea tendría un amortiguamiento muy importante que reduciría el recambio esperado para la LB.

En lo referente a la alternativa C, sobre la apertura de una nueva boca de comunicación con el mar, tenemos que la construcción de un canal, a pesar de representar múltiples inconvenientes, se considera una opción que podría presentar resultados bastantes satisfactorios desde el punto de vista de saneamiento mismo, dada su condición de funcionamiento permanente aprovechando una fuente de energía natural.

En cuanto a la alternativa D, bombeo de agua de mar representa una fuerte inversión, tanto en construcción como en mantenimiento y operación, sin embargo, también se considera como efectiva para conseguir la finalidad del saneamiento, ya que se tiene un alto grado de control en el recambio de agua.

La alternativa E, el sistema de aireación, requiere de una inversión inicial fuerte, además se debe poner especial atención a la ubicación de la succión así como a la descarga del flujo en la circulación; se considera que esta opción podría presentar resultados bastante satisfactorios al incluir oxígeno en la columna de agua, ya que esto estabiliza el sedimento del fondo y además ayuda a inhibir los malos olores.

Por lo anterior, se puede decir, que la apertura de una nueva boca solucionaría el estancamiento de la parte norte de la laguna, pero puede

afectar a las playas públicas. La alternativa de rectificación de canales, sólo proporcionaría un efecto local, ya que esta gobernada por el efecto de la marea, y en estos puntos es muy pobre, del orden de 5 cm de altura. Las alternativas del concentrador de oleajes y de bombeo, aportarían 100 y 750 l/s de agua de mar a la laguna respectivamente. La alternativa del sistema de aireación circularía 150 l/s del agua de la misma laguna.

Dada que la prioridad del análisis de alternativas la constituye el saneamiento, las alternativas más recomendables resultan ser la D y E.

Como antes se mencionó, la alternativa D implica grandes costos de operación y mantenimiento; además se necesitaría adquirir un predio para la ubicación del cárcamo de bombeo y las conducciones, esto implicaría una inversión importante a comparación de la alternativa E, que a pesar de que necesitan varias bombas y tubería sumergida, el costo sería menor.

Otro aspecto importante en este último análisis es que la alternativa D bombearía agua de mar a la laguna y esto pudiera ocasionar alteraciones en el ecosistema. Comparando este último aspecto, la alternativa E no modificaría el ecosistema, debido a que utilizaría agua de la misma laguna.

Tomando en cuenta todos los factores disponibles de juicio para cada alternativa, se ha llegado a la conclusión de que la alternativa E presenta la factibilidad más alta de entre las opciones planteadas para el saneamiento de la Laguna de Bojórquez.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La Laguna de Bojórquez ubicada dentro del Sistema Lagunar de Nichupté, localizado en Cancún, Quintana Roo, ha estado sometida a una presión de uso intensivo y modificación de sus condiciones naturales. Desde cambios en su morfología generados por dragados y rellenos hasta descargas de aguas residuales en su interior, que acompañada de baja circulación en el sistema, hacen a la Laguna de Bojórquez un eslabón más vulnerable del desarrollo turístico de la zona.

Caracterizándose la Laguna por su poca profundidad y una débil comunicación interlagunar, la cual puede llegar a un estado de eutroficación dada la presencia de carga excesiva de nutrientes en su interior, existe la necesidad de llevar a cabo acciones tendientes para el saneamiento de esta.

El objetivo principal de este trabajo fue la de identificar y seleccionar la mejor opción o alternativa para el saneamiento de la laguna.

Con este fin, se presentó en el primer capítulo las condiciones actuales de la contaminación de la laguna.

En el capítulo 2, se propone un marco o un esquema de evaluación, con el fin de tener una idea clara de como puede llevarse a cabo una evaluación.

Con respecto al capítulo 3, se presenta un conjunto interesante de alternativas planteadas de las cuales se hace la primera selección de éstas para la solución de la problemática ambiental de la LB.

Para llevar a cabo el objetivo principal de este trabajo, en el capítulo 4 se presentan los análisis de 5 alternativas de solución que a continuación se mencionan:

Alternativa A: Dispositivos concentradores de oleaje

Alternativa B: Rectificación y ampliación de canales existentes

Alternativa C: Apertura de una nueva boca de comunicación con el mar

Alternativa D: Bombeo de agua de Mar

Alternativa E: Sistema de aireación.

De un análisis de alternativas y tomando en cuenta los factores disponibles de juicio de cada alternativa, se llegó a la conclusión de que la alternativa E que es el Sistema de Aireación era la más conveniente desde el punto de vista constructivo e impacto ambiental, razón por lo que se planteó como más factible de realizar.

Finalmente, de lo comentado anteriormente, surgen algunas recomendaciones que son las siguientes:

- Es necesario realizar el proyecto ejecutivo de la alternativa propuesta, con el fin de conocer a detalle la infraestructura, así como la inversión a realizar.
- Se requiere continuidad en los estudios y proyectos
- Que se reglamente el tránsito y operación de embarcaciones, así como de los servicios y talleres náuticos.
- Que se inspeccione y se verifique posibles descargas de aguas residuales fortuítas
- La evaluación del Impacto del Medio Ambiente debe tener seguimiento y el proyecto tiene que se sostenible

No se descarta la posibilidad de realizar en un futuro, a nivel experimental una combinación de alternativas.

BIBLIOGRAFÍA

Quiroz, Jorge et al
ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA CONTAMINACIÓN DE AGUAS EN AMÉRICA LATINA
CINDE-ILADES, Primera Edición.
Chile, 1995

Sapag Chain, Nassir
Sagag Chain, Reinaldo
PREPARACIÓN Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS
Mc. Graw Hill, Segunda Edición.
México, 1994

G. Baca Urbina
EVALUACIÓN DE PROYECTOS
Análisis y Administración del Riesgo
Mc. Graw Hill, Segunda Edición.
México, 1993

Postel, Sandra
ADMINISTRACIÓN DEL AGUA EN ÉPOCA DE ESCASEZ
SARH-CNA-IMTA, Primera Edición.
México, 1991

Coss Bu
ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE INVERSIÓN
LIMUSA, Segunda Edición.
México, 1994

Palange C. Ralph
Zavala Alfonso
CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA
Guía para la planificación y financiamiento de proyectos.
Documento técnico del Banco Mundial número 735S.

Tarquín, Blank
INGENIERÍA ECONÓMICA
Mc Graw Hill, tercera Edición.
México, 1992

Ruiz, Francisco et al
UN DISPOSITIVO DE BOMBEO DE AGUA MARINA ACTIVADO POR
OLEAJE.

Ingeniería Hidráulica en México
Vol. IX, No.2, II Época
Mayo-Ago 1994, México.

Estevan Bolea, María-Teresa
LAS EVALUACIONES DE IMPACTO AMBIENTAL
CIFCA, Madrid, 1977

PROGRAMA NACIONAL DE APROVECHAMIENTO DEL AGUA 1991-1994
SARH-CNA, Primera edición, México, 1991

Jordán D., Eric et al
CIRCULACIÓN E HIDROLOGÍA DEL SISTEMA LAGUNAR NICHUPTÉ
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM),
Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (ICML),
Fondo Nacional de Fomento al turismo (FONATUR)
Informe Final, México, 1983

Escalante E. Maurucio et al
ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS Y EFECTOS EN LA CALIDAD DEL AGUA EN
NICHUPTÉ
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
Informe Final, México, Diciembre 1995

CPC Consultores
CARACTERIZACIÓN Y PROYECTO EJECUTIVO PARA EL SANAMIENTO
DE LA LAGUNA BOJORQUEZ, CANCÚN, QUINTANA ROO.
Memoria descriptiva, México, Noviembre de 1994

Fuentes Zenon, Arturo
UN SISTEMA DE METODOLOGIAS DE PLANEACIÓN
División de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería.
UNAM, México, 1994

Soumelis, Constatin G.
PROYECT EVALUACION METHODOLOGIES AND TECHNIQUES
Editorial UNESCO, Francia, 1983

Suhman, Edward A.
EVALUATIVE RESEARCH
Editorial Rusell Sage Foudation,
New York, N.Y., 1979

Léon Vizcaíno, Luis F. et al
HIDRODINÁMICA EN LA LAGUNA DE NICHUPTÉ
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
Informe Técnico: SH-9306, Diciembre 1993

Léon Vizcaíno, Luis F. et al
HIDRODINÁMICA Y TRANSPORTE DE CONTAMINANTES EN LA LAGUNA
DE NICHUPTÉ
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
Informe Final: SH-9403, Diciembre de 1994

PROGRAMA HIDRÁULICO 1995-2000
Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca
México.