



# UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO

## DIVISIÓN DE CIENCIAS E INGENIERÍA

---

FRUCTIFICAR LA RAZÓN: TRASCENDER NUESTRA CULTURA

### TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN QUINTANA ROO

#### TRABAJO MONOGRÁFICO

Que como requisito parcial para la obtención  
del título de:

#### INGENIERO AMBIENTAL

Presenta:

**Oded León Bello**

Supervisor Director:

**M.I. Norma Angélica Oropeza García**

Chetumal, Quintana Roo, México

Febrero, 2005



## UNIVERSIDAD DE QUINTANA ROO

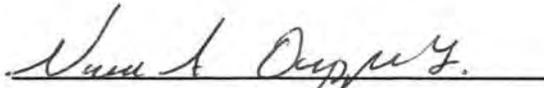
---

Trabajo monográfico elaborado bajo la supervisión del comité de asesoría y aprobado como requisito parcial para obtener el grado de:

### **INGENIERO AMBIENTAL**

COMITÉ:

SUPERVISOR:

  
M.I Norma Angélica Oropeza García

SUPERVISOR:

  
M.C José Martín Rivero Rodríguez

SUPERVISOR:

  
M.C Juan Carlos Ávila Reveles

Chetumal, Quintana Roo; 16 de Febrero de 2005

---

049543

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a:

*Mis padres Jesús León Domínguez y Violeta Bello de León por darme su amor, cuidado, apoyo y comprensión estos años de vida, los amo mucho.*

*Mis Abuelos Estela Valenzuela de Bello y Zacarías Bello Nájera por darme su cariño y atención.*

*Mi abuela Lilia Domínguez Cabrera que aunque no está conmigo la recuerdo y extraño.*

*Mis tíos Lupe, Rita, Kary, Sara, Queto, Aluvia, Obed, Chuy, Mickey, Blanca, Ernesto, Polina, Teo, Fanny, Leydi, Samuel, Imer, Toñy, Perla, Victor, Rafa y Rubí por ayudarnos y apoyarnos cuando más lo necesitábamos.*

*Mis hermanos Lilia Estela, Violeta Obsidiana, Cinthia Yamel, Kristel Lizbeth, Jesús Sharón, Mineley Ivette, Katia Michelle y Jessé Manuel por darle alegría a mi vida desde que nacieron y por que he aprendido mucho de ustedes, los quiero mucho.*

*Mis compañeros Élica Francisca Buenfil, Diana Beatriz Gutiérrez, José Luis Higuera, Gabriela Adame, Norma Beatriz Rodríguez, Alejandro Roque Pérez, Yafith Abdiel Montalvo, Rigel Humberto Pacheco, Karla Yisel Vega, Luis Alberto Cruz y Milton Augusto Rodríguez por ser mis amigos y colegas en esta carrera que empezamos juntos y logramos terminar.*

## **AGRADECIMIENTOS**

*Agradezco a:*

*Mi Dios Jehová por darme la vida, por bendecirme desde que nací, por darme los padres y hermanos que me diste y permitirme terminar la carrera con éxito.*

*Mis padres Jesús León Domínguez y Violeta Bello de León por ser siempre mi guía y ejemplo. He visto el enorme esfuerzo que han hecho por levantar nuestra familia y por eso muchas gracias.*

*Todos los profesores que me transmitieron su enseñanza y que me dieron los conocimientos que ahora tengo*

*La profesora Norma Angélica Oropeza García por ser mi Supervisor Director de ésta monografía, por su paciencia y por lograr que con su constancia se terminara este trabajo.*

*Los profesores Juan Carlos Ávila Reveles, José Martín Rivero Rodríguez y José Manuel Carrión Jiménez por contribuir a que ésta monografía se puliera con sus conocimientos y experiencia.*

*Al profesor Cesar Cristóbal Escalante por ser mi tutor y por su asistencia en mi formación académica durante la carrera.*

*A CAPA por proporcionarme la información necesaria para realizar esta monografía.*

**INDICE**

<b>CAPITULO I ASPECTOS GENERALES</b>	1
1.1 Introducción	1
1.2 Justificación	2
1.3 Objetivos	5
1.4 Alcances y limitaciones	5
<b>CAPITULO II EL AGUA POTABLE EN QUINTANA ROO</b>	6
2.1 Aspectos generales de Quintana Roo	6
2.2 Antecedentes históricos	7
2.3 Proyectos de agua potable y alcantarillado para el periodo 2004 - 2005	10
<b>CAPITULO III PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EMPLEADOS EN QUINTANA ROO</b>	12
3.1 Panorama general de los procesos biológicos en el estado	12
3.2 Generalidades del tratamiento biológico	14
3.3 Proceso de lodos activados	14
3.4 Filtros percoladores	17
3.5 Proceso anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente	21
3.6 Estanque de estabilización (facultativo)	22
3.7 Reactor anaerobio con dos cámaras (principio fosa séptica)	25
<b>CAPITULO VI PROBLEMÁTICA EN QUINTANA ROO ASOCIADA A LAS DESCARGAS DE AGUA RESIDUAL</b>	27
4.1 Información referente a agua potable	28
4.2 Información referente a drenaje y alcantarillado	33
4.3 Plantas de tratamiento de aguas residuales	36
4.4 Información sobre descargas de agua residual tratada	41

	<i>QUINTANA ROO</i>
4.5 Balance de agua potable extraída y agua residual tratada	42
4.6 Casos de estudio de impactos en Quintana Roo	44
4.7 Programa integral de playas limpias	54
<b>CAPITULO V CONCLUSIONES</b>	58
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	i
<b>ANEXO OPERACIÓN DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES</b>	I
A.1 Gasto de operación	II
A.2 Calidad de influentes y efluentes de las plantas de tratamiento que opera AGUAKAN y CAPA	VI
A.3 Comparación de la calidad de los efluentes con la Norma Oficial Mexicana 001-ECOL-1996	XII
A.4 Eficiencia de remoción	XVII

**LISTA DE TABLAS DE LOS CAPITULOS**

TABLA NO	TÍTULO DE LA TABLA	PÁGINA
1.1	Procesos de tratamiento utilizados en Quintana Roo.	2
1.2	Agua residual generada y agua residual tratada en cuatro municipios de Quintana Roo.	3
2.1	Acontecimientos importantes acerca del agua potable y drenaje.	7
3.1	Procesos de tratamiento de aguas residuales usados en diferentes localidades.	12
4.1	Fuentes de abastecimiento y volumen promedio diario de extracción de agua potable por municipio según tipo de fuente 2003.	29
4.2	Sistemas, tomas domiciliarias instaladas y localidades con red de distribución de agua potable por municipio, 2003.	30
4.3	Volumen de extracción de agua potable autorizado por CNA 2004.	31
4.4	Volumen anual producido de agua potable 2003.	33
4.5	Sistemas y localidades con el servicio de drenaje y alcantarillado por municipio, 2003.	34
4.6	Principales localidades de 2,500 o más de habitantes y porcentaje de población municipal que concentran.	35
4.7	Plantas públicas de tratamiento de lodos activados en uso, capacidad instalada y volumen tratado de aguas residuales por municipio 2003.	37
4.8	Relación de las plantas de tratamiento.	39
4.9	Volumen de descargas autorizado por CNA en Quintana Roo, 2004.	41

TABLA NO	TÍTULO DE LA TABLA	PÁGINA
4.10	Volumen de descarga de agua residual tratada por institución, autorizado por CNA 2004.	42
4.11	Principal problemática e impacto a los cuerpos de agua por la descarga de aguas residuales en distintas localidades de Quintana Roo.	44
4.12	Calidad bacteriológica del agua de mar de Cancún, 2004.	55
4.13	Calidad bacteriológica del agua de mar de Cozumel, 2004.	55
4.14	Calidad bacteriológica del agua de mar de la Riviera Maya, 2004.	56
5.1	Principales impactos ambientales por la descarga de aguas residuales sin previo tratamiento.	61

### LISTA DE FIGURAS

FIGURA NO	TÍTULO DE LA FIGURA	PÁGINA
3.1	Esquema de un reactor de mezcla completa con recirculación y purga de lodos.	15
3.2	Sección de un filtro percolador típico.	19
3.3	Representación esquemática de la sección transversal de una película biológica en un filtro percolador.	19
3.4	Vista esquemática de un reactor anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente (UASB).	22
3.5	Representación esquemática de un tanque de estabilización.	23
3.6	Reactor anaerobio con dos cámaras y filtro de flujo ascendente más usado en comunidades rurales del estado de Quintana Roo.	26

## LISTA DE TABLAS DEL ANEXO

TABLA NO	TÍTULO DE LA TABLA	PÁGINA
A.1	Gasto de operación de las plantas de tratamiento en (lps), año 2001.	III
A.2	Gasto de operación de las plantas de tratamiento en (lps), año 2002.	IV
A.3	Gasto de operación de las plantas de tratamiento en (lps), año 2003.	V
A.4	Influente de las plantas de tratamiento que opera AGUAKAN, 2002.	VI
A.5	Efluente de las plantas de tratamiento que opera AGUAKAN, 2002.	VII
A.6	Influente de las plantas de tratamiento que opera AGUAKAN, 2003.	VII
A.7	Efluente de las plantas de tratamiento que opera AGUAKAN, 2003.	VIII
A.8	Influente de las plantas de tratamiento que opera CAPA, Abril 2001.	IX
A.9	Efluente de las plantas de tratamiento que opera CAPA, Abril 2001.	IX
A.10	Influente de las plantas de tratamiento que opera CAPA, Octubre 2001.	X
A.11	Efluente de las plantas de tratamiento que opera CAPA, Octubre 2001.	X
A.12	Influente de las plantas de tratamiento que opera CAPA, Septiembre 2003.	XI
A.13	Efluente de las plantas de tratamiento que opera CAPA, Septiembre 2003.	XI

TABLA NO	TÍTULO DE LA TABLA	PÁGINA
A.14	Comparación de la calidad de efluentes de las plantas de tratamiento de AGUAKAN 2002.	XII
A.15	Comparación de la calidad de efluentes de las plantas de tratamiento de AGUAKAN 2003.	XIII
A.16	Comparación de la calidad de efluentes de las plantas de tratamiento de CAPA, Abril 2001.	XIV
A.17	Comparación de la calidad de efluentes de las plantas de tratamiento de CAPA, Octubre 2001.	XV
A.18	Comparación de la calidad de efluentes de las plantas de tratamiento de CAPA, Septiembre 2003.	XV
A.19	Eficiencia de remoción de las plantas de tratamiento de AGUAKAN 2002.	XVII
A.20	Eficiencia de remoción de las plantas de tratamiento de AGUAKAN 2003.	XVIII
A.21	Eficiencia de remoción de las plantas de tratamiento de CAPA, Abril 2001.	XIX
A.22	Eficiencia de remoción de las plantas de tratamiento de CAPA, Octubre 2001.	XIX
A.23	Eficiencia de remoción de las plantas de tratamiento de CAPA, Septiembre 2003.	XX

**CAPITULO I****ASPECTOS GENERALES****1.1 INTRODUCCIÓN**

La contaminación de las aguas es uno de los factores más importantes que afecta la relación entre el ser humano y el ambiente, mermando la calidad de los cuerpos acuáticos para el aprovechamiento del ser humano y de las diversas formas de vida, por lo cual se vuelve demandante luchar contra la continua contaminación del agua para mantener en equilibrio los cuerpos acuáticos ya que el agua es el liquido vital de todo organismo viviente. *(Hernández, 1992).*

El tratamiento de las aguas residuales se realiza con el objetivo de eliminar o reducir las sustancias que contaminan el agua, para evitar la afectación producida por las aguas vertidas a los cuerpos receptores (ríos, lagos y el mar) o proveer agua de una calidad adecuada para su reutilización o para ambos propósitos. *(Winkler, 1998).*

A su paso por el suelo, la superficie de la tierra o incluso a través del aire, el agua se contamina y se carga de materias en suspensión o en solución: partículas de arcilla, residuos de vegetación, organismos vivos (plancton, bacterias, virus) sales diversas (cloruros, sulfatos, carbonatos de sodio, calcio, hierro, manganeso, etc.), materias orgánicas (ácidos húmicos, fúlvicos, residuos de fabricación), gases. *(Degremont, 1979).* Para depurar el agua, generalmente es preciso combinar varios tratamientos elementales, cuyas bases pueden ser físicas, químicas o biológicas, y cuyo efecto es el de eliminar en primer lugar materias en suspensión, a continuación materias coloidales, y después las sustancias disueltas (minerales u orgánicas). En cada etapa y dependiendo de los objetivos que se pretendan alcanzar pueden aplicarse diversos principios, el presente trabajo esta enfocado principalmente a los tratamientos secundarios o biológicos de los diferentes procesos de tratamiento. *(Winkler, 1998).*

## 1.2 JUSTIFICACIÓN

Esta monografía tiene como finalidad, servir como material de consulta en la UQROO, así como formar un antecedente para futuros proyectos de investigación de Quintana Roo. A continuación se presentan los puntos que abarca este trabajo para una mejor presentación:

- La investigación bibliográfica está relacionada con los procesos de tratamiento de aguas residuales de gran importancia para la ingeniería ambiental.
- El presente documento revisa los diferentes procesos de tratamiento de agua empleados en Quintana Roo, así como sus ventajas y desventajas.
- Se plantean los posibles impactos relacionados con las descargas de agua residual.

En la actualidad existen dieciocho plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en Quintana Roo, de las cuales, catorce trabajan por debajo de su capacidad de diseño, esto se debe principalmente a que la población no se conecta a la red de drenaje municipal existente.

En la tabla 1.1 se muestran los diferentes procesos de depuración de aguas residuales utilizados en las dieciocho PTAR y son los siguientes:

**Tabla 1.1** Procesos de tratamiento utilizados en Quintana Roo.

NÚMERO DE PTAR	PROCESO UTILIZADO
15	Lodos Activados
1	Estanque de estabilización facultativo
1	Manto de lodos de flujo ascendente (anaerobio)
1	Lodos activados – filtros percoladores

Fuente: Comisión de Agua Potable y Alcantarillado (CAPA), 2004.

Como se mencionó de las dieciocho PTAR, cuatro funcionan adecuadamente mientras que catorce, no cuentan con gasto suficiente para funcionar a su capacidad de diseño. De acuerdo con información proporcionada por CAPA presentada en la tabla 1.2, se estima que los municipios Othón P. Blanco, Cozumel, Solidaridad y Felipe Carrillo Puerto, vierten alrededor de 1,583,260.71 m<sup>3</sup> de agua municipal que son descargadas mediante fosa séptica en el mejor de los casos, sin embargo, un sector importante de la población descarga simplemente en un pozo superficial (llamado hoyo negro) mayores a tres metros de profundidad, según la región, contaminando los mantos freáticos que son las fuentes de agua potable para el estado.

**Tabla 1.2** Agua residual generada y agua residual tratada en cuatro municipios de Quintana Roo.

MUNICIPIO	AGUA RESIDUAL GENERADA (m <sup>3</sup> )	AGUA RESIDUAL TRATADA (m <sup>3</sup> )	% DE AGUA RESIDUAL SIN TRATAMIENTO
Othón P. Blanco	990,629.99	183,041.00	81.52 %
Felipe Carrillo Puerto	256,933.56	3615.84	98.59 %
Solidaridad	629,552.00	124,558.00	80.21 %
Cozumel	271,808.00	254,448.00	6.38 %
Total	2,148,923.55	565,662.84	73.67%

Fuente. CAPA, 2003.

Aunado a esta problemática deben considerarse algunas características propias de la zona tales como:

- La península de Yucatán es una plataforma constituida por materiales calcáreos de origen marino, de alta permeabilidad.
- Como no hay arcillas o suelos profundos, el agua pasa sin ser filtrada al acuífero.

*CAPÍTULO 1*

- La interacción del clima con el substrato calcáreo forma un paisaje que se caracteriza por no poseer vías de agua superficiales.
- El efecto acidificante del agua de lluvia y de la actividad biológica produce conductos de disolución en ese sustrato, a través de los cuales fluye el agua hasta llegar al litoral.
- El agua infiltrada pasa al subsuelo, formando ríos subterráneos de cauces inciertos. (<http://www.jornada.unam.mx/1999/sep99/990927/eco-pag2.html>)

Esta es la clave de la fragilidad de la península, cualquier elemento químico o biológico proveniente de fertilizantes o de aguas negras o tratadas provoca contaminación del agua con la que entra en contacto, causando enfermedades a la población humana, fauna y flora terrestres y marinas en su área de influencia.

Algunos ejemplos de afectación a la fauna y flora marinas por la contaminación de los mantos freáticos por las descargas de agua residual sin tratar son los siguientes:

- Se afecta al principal atractivo turístico de la zona: los arrecifes. El agua del mar caribe se enturbia por el alto contenido de materia orgánica disminuyendo el paso de la luz necesaria para el crecimiento de los arrecifes.

(<http://www.jornada.unam.mx/1999/sep99/990927/eco-pag2.html>)

- Evita el crecimiento de los pastos marinos y otras plantas acuáticas de las cuales los manatíes y otras especies se alimentan, al alterar la calidad del agua en las aguas someras del litoral.

(<http://agora.ya.com/amacweb/manati.html>)

### 1.3 OBJETIVOS

- Realizar una investigación bibliográfica sobre los diferentes procesos de tratamiento de aguas residuales utilizados en Quintana Roo.
- Explicar la problemática asociada a las descargas de aguas residuales sin previo tratamiento.
- Determinar los posibles impactos ambientales causados por la descarga de aguas residuales sin tratamiento, mediante una revisión bibliográfica.
- Estimar la cantidad de aguas residuales generadas en Quintana Roo y las que se disponen sin tratamiento.

### 1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES

- La investigación pretende proporcionar un panorama global de la situación actual en Quintana Roo sobre las localidades que carecen de los servicios de drenaje.
- El presente documento plantea la necesidad de buscar estrategias que permitan darle un mejor manejo a las aguas residuales.
- En este documento se establecen las zonas de Quintana Roo que tienen mayor demanda de tratamiento de aguas residuales.
- Las estimaciones que se reportan en el presente documento, se obtuvieron con base en la información proporcionada por CAPA.
- La información proporcionada por CAPA no abarca las condiciones de operación de los diferentes procesos de tratamiento en Quintana Roo.
- Los impactos relacionados con la descarga de aguas residuales se obtuvieron de diferentes fuentes bibliográficas.

**CAPITULO II****EL AGUA POTABLE EN QUINTANA ROO****2.1 ASPECTOS GENERALES DE QUINTANA ROO**

Quintana Roo junto con Baja California Sur, es la entidad federativa más joven del país. Hasta 1974 era territorio federal y a partir del 8 de octubre de ese año adquirió la categoría de estado libre y soberano. Se localiza en la porción oriental de la Península de Yucatán, al sureste de la República Mexicana. Posee una superficie de 50,844 km<sup>2</sup> y un litoral de 900 km, de los cuales 860 colindan al este con el Mar Caribe y 40 limitan al norte con el Golfo de México. En su porción continental colinda al oeste con el estado de Campeche; al Noroeste con Yucatán; al sur con el país de Belice; y al suroeste con el país de Guatemala. De acuerdo con sus coordenadas geográficas extremas, el estado se encuentra al norte a 21°37' de latitud norte, al sur sobre el paralelo 17°49' de latitud norte, al este en el meridiano 86°44' de longitud oeste y al oeste 89°24'52" de longitud oeste. Por su extensión ocupa el 2.55% del territorio nacional. Está dividido en ocho municipios: Benito Juárez, Cozumel, Felipe Carrillo Puerto, Isla Mujeres, José María Morelos, Lázaro Cárdenas, Solidaridad y Othón P. Blanco donde se encuentra la ciudad de Chetumal capital del estado. (*Xacur, 1998*).

La naturaleza calcárea de los suelos de la península de Yucatán es causa de su singular hidrografía. El agua de las lluvias se filtra y forma ríos subterráneos, verdaderas corrientes de agua que al desembocar en cavernas y formaciones rocosas del subsuelo dan origen a los cenotes; que son utilizados como fuente primaria de abastecimiento de agua dulce. (*Pacheco, 2001*).

Los primeros pobladores de la Península, los mayas, se establecieron en los alrededores de los cenotes; sin embargo, ello solo garantizaba el mínimo de agua para la sobrevivencia, pues el proceso de extracción era en extremo difícil y lento.

Por tanto dependían de las lluvias para complementar sus necesidades. (Pacheco, 2001).

Actualmente, el Estado de Quintana Roo ocupa el primer lugar a nivel nacional en cuanto a cobertura de servicio y calidad del agua que distribuye. (Pacheco, 2001).

Según información de CAPA, la cobertura en cuanto a servicio de agua potable en el Estado es superior al 90 %, y la cobertura de alcantarillado se encuentra entre 30 y 35 %.

## 2.2 ANTECEDENTES HISTÓRICOS

En la tabla 2.1, se presentan una serie de acontecimientos que marcaron el rumbo del agua potable y drenaje en Quintana Roo, que fueron importantes para el desarrollo del estado.

**Tabla 2.1.** Acontecimientos importantes acerca del agua potable y drenaje

AÑO	ACONTECIMIENTO
1902	Se instaló el primer sistema de agua entubada de Quintana Roo en Felipe Carrillo Puerto.
1915	Este sistema fue destruido por el conflicto maya.
1935	En Chetumal: Se construyó un aljibe con capacidad de almacenamiento de tres millones de litros de agua y se inició la perforación de pozos profundos (artesianos). Los pozos, con una profundidad promedio de veinte metros, arrojaban con fuerza columnas de agua de más de un metro de altura; producían agua en abundancia, pero de mala calidad, gruesa y de mal sabor, por lo que solo se destinó a usos domésticos.
	Se promovió la construcción de fosas sépticas conforme a un modelo aprobado por Secretaría de Salubridad, en vez de las letrinas que sin condiciones sanitarias se utilizaban en todas partes.

1944	Se revivió el proyecto de los pozos artesianos ordenando la perforación de los dos últimos en la parte alta de la ciudad, camino a Calderitas con resultados similares a los anteriores.
1954	<p>La Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH) inició la construcción de dos grandes cisternas a cielo abierto, a espaldas del aeropuerto, con la finalidad de derivar las aguas pluviales de la pista hacia estos estanques colectores, uno frente al otro e intercomunicados para llevar el agua por bombeo, a la red de distribución que la conduciría, primero, al aljibe Lázaro Cárdenas ubicado en las avenidas Héroes y Efraín Aguilar, y de aquí a los cinco hidrantes establecidos en puntos estratégicos para cubrir la ciudad, la ubicación de los mismos fue la siguiente:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Avenida Héroes con Centenario, hoy Lázaro Cárdenas.</li> <li>2. Centenario, hoy Lázaro Cárdenas con Independencia.</li> <li>3. Othón P. Blanco con Reforma.</li> <li>4. Reforma con Centenario, hoy Lázaro Cárdenas.</li> <li>5. Josefa Ortiz de Domínguez con 27 de Septiembre, hoy Plutarco Elías Calles.</li> </ol>
1955	Después del ciclón Janet, el aljibe se incorporó a un proyecto de dotación de agua de la Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH), a través de dos grandes cisternas a cielo abierto, perforadas a espaldas del aeropuerto y desde las cuales por bombeo, debía llevarse el agua al aljibe convertido en tanque receptor para canalizarse a la red de distribución de tubería de hierro fundido conectada a los cinco hidrantes mencionados anteriormente.
1957	Comenzaron los trabajos de introducción de agua potable desde la zona de captación en Xul-ha.
1959	<p>Se estableció en el Territorio la gerencia de la Secretaría de Recursos Hidráulicos (SHR, antes, la gerencia en Yucatán con carácter regional que abarcaba Quintana Roo), y se iniciaron los trabajos de introducción de agua potable para Chetumal y Cozumel.</p> <p>Se inició el drenaje sanitario para la parte baja de la ciudad (zona centro)</p>

	de Chetumal.
1960	Se dio inicio al gran proyecto de dotar con agua potable a Chetumal, Cozumel e Isla Mujeres, para gradualmente ir extendiendo el servicio al medio rural.
1961	Entró en operación el primer Sistema Federal de Agua Potable.
1962	Fue inaugurado oficialmente el Primer Sistema Federal de Agua Potable en Chetumal, simultáneamente con el Sistema Cozumel.
1967	En la ciudad de Felipe Carrillo Puerto se perfora el primer pozo profundo y se amplía la red de distribución para aumentar la cobertura del servicio.
1969	Se crea el Fondo de Promoción de Infraestructura Turística (INFRATUR) que fue el organismo ejecutor del Proyecto Cancún quien aporta parte de la infraestructura hidráulica de esta ciudad.
1972	Se promulga la Ley Federal de Aguas.
1973	Terminó la responsabilidad de la SRH con el Sistema Federal de Agua Potable hasta diciembre de este año.
1974	Durante el primer semestre de este año, el Sistema Federal de Agua Potable dependió de la Secretaría de Salubridad y Asistencia (SSA) a través de su departamento de Ingeniería Sanitaria
	Del segundo semestre de este año paso a depender de la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas (SAHOP). En esta última etapa dejó de estar a cargo de una gerencia estatal para constituirse en Residencia General de Construcción de Obras de Agua Potable y Alcantarillado. El Sistema Federal de Agua Potable y la Residencia General de Construcción de Obras de Agua Potable y Alcantarillado limitaron sus operaciones a las cabeceras delegacionales.
1978	Se iniciaron las obras de ampliación de las redes de distribución de agua potable en Playa del carmen.
1981	Terminó la responsabilidad de la SAHOP con el Sistema Federal de Agua Potable y con la Residencia General de Construcción de Obras de Agua Potable y Alcantarillado hasta marzo de este año.

	En septiembre de este año se promulgó la Ley de Agua Potable y Alcantarillado del Estado de Quintana Roo, que creó la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado (CAPA) que es la que se encuentra operando actualmente.
--	---

Fuente: Modificado de Pacheco, 2001.

Actualmente la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado impulsa programas para abastecer de agua potable a las poblaciones rurales que no cuentan con el servicio y ampliar la red de esta en las ciudades de alto crecimiento poblacional, como son las ubicadas en la parte norte del estado conformando el corredor turístico Cancún – Tulum.

### 2.3 PROYECTOS DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO PARA EL PERIODO 2004 - 2005.

A continuación se presentan los proyectos que se tienen para el periodo 2004 – 2005. Esta información fue proporcionada por el Sistema Estatal de la Planeación de la Inversión (SEPI):

#### Proyectos para agua potable:

- Acueducto de Playa a Tulum (segunda etapa de Chemuyil a Akumal, la primera ya se completó que va de Playa del Carmen a Chemuyil).
- Zona limítrofe Campeche – Quintana Roo (abarca las comunidades de Nuevo Becar, Veracruz, 5 de Mayo y Doble Canal).
- Mahahual (se encuentra en proyecto).
- Ampliación de la red de agua potable Col. Colosio de la ciudad de Playa del Carmen
- Agua potable para la avenida Álvaro Obregón de Chetumal.

**Proyectos de alcantarillado:**

- Ampliación de capacidad del drenaje de Cozumel.
- Drenaje pluvial para las colonias nuevas de Cozumel.
- Drenaje para las colonias Colosio y Ejidal de la ciudad de Playa del Carmen.
- Ampliación de la red de alcantarillado Colonia del bosque de la ciudad de Chetumal.
- Segunda etapa de drenaje de la ciudad de Chetumal.
- Construcción de drenaje sanitario colonias: Territorio Federal, Proterritorio y Lázaro Cárdenas de la ciudad de Chetumal.
- Drenaje para la avenida Álvaro Obregón de Chetumal.

**Proyectos para Plantas de tratamiento:**

- Construcción y rehabilitación de las plantas de tratamiento de Playa del Carmen, Cozumel, Cancún e Isla Mujeres.

En la planeación de servicios municipales, se considera que una población de 2,500 habitantes debe contar con sistema de agua potable, pero no siempre se les presta el servicio inmediatamente debido a que en ocasiones resultan comunidades móviles, es decir solo se establecen durante un periodo de tiempo y después se desplazan a las ciudades para una mejor calidad de vida. Otras son las comunidades con una población mayor de 2,500 habitantes, las cuales deben contar con alcantarillado, sin embargo, esto no siempre se considera porque algunas comunidades que ya cuentan con esta población no cuentan con la infraestructura característica de una población urbana, como las que se presentan en el punto 4.2 del capítulo IV de este documento.

CAPITULO III

PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EMPLEADOS EN QUINTANA ROO

3.1 PANORAMA GENERAL DE LOS PROCESOS BIOLÓGICOS EN EL ESTADO

En Quintana Roo existen dieciocho plantas de tratamiento de aguas residuales. De éstas, quince tratan aguas residuales domésticas de las cuales ocho maneja la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado (CAPA), cuatro están a cargo de Desarrollos Hidráulicos de Cancún (DHC) mejor conocido como AGUAKAN, dos el Fidecomiso del Caribe (FIDECARIBE) y una por un particular en un fraccionamiento (Playa Blanca) de la ciudad de Cancún.

Las tres restantes tratan aguas de la zona turística de Cancún recibiendo agua de los hoteles que no tienen su propia planta de tratamiento las cuales maneja el Fondo Nacional del Turismo (FONATUR). Los procesos de tratamiento utilizados en las diferentes plantas de tratamiento se muestran en la tabla 3.1 y son:

Tabla 3.1 Procesos de tratamiento de aguas residuales usados en diferentes localidades.

NÚMERO DE P.T.A.R.	LOCALIDAD	OPERA		PROCESO
3	Chetumal	CAPA		Lodos Activados
1	Mahahual	FIDECARIBE		
2	Playa del carmen	Número	Opera	
		1	CAPA	
		1	FIDECARIBE	
1	Felipe Carrillo Puerto	CAPA		
1	Cozumel	CAPA		

NÚMERO DE P.T.A.R.	LOCALIDAD	OPERA		PROCESO
1	Isla Mujeres	CAPA		
7	Cancún	Número	Opera	
		3	FONATUR	
		2	AGUAKAN	
		1	Frac. Playa Blanca	
		1	AGUAKAN	Lodos Activados – Filtros Percoladores
1	Chemuyil	CAPA		Estanque de estabilización tipo anaerobio
1	Tulum	CAPA		Manto de lodos de flujo ascendente (Anaerobio)

Fuente: Elaboración propia con información de CAPA.

De las dieciocho Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, cuatro funcionan adecuadamente mientras que catorce, no cuentan con gasto suficiente para funcionar a su capacidad de diseño. De acuerdo con información proporcionada por CAPA en la tabla 1.2, se estima que en los municipios Othón P. Blanco, Cozumel, Solidaridad, y Felipe Carrillo Puerto se vierten alrededor de 1,583,260.71 m<sup>3</sup> de agua municipal que son descargadas mediante fosa séptica en el mejor de los casos, sin embargo, un sector importante de la población descarga simplemente en un pozo superficial (llamado hoyo negro) mayores a tres metros de profundidad, según la región, contaminando los mantos freáticos que son las fuentes de agua potable para el estado.

A continuación se describen los procesos de tratamiento de aguas residuales domésticas que se utilizan en Quintana Roo.

### 3.2 GENERALIDADES DEL TRATAMIENTO BIOLÓGICO

El tratamiento biológico de las aguas residuales se basa en el proceso aparentemente simple en el que una población mixta de microorganismos utiliza como nutrientes sustancias que contaminan el agua, este es el mecanismo por el cual las corrientes de agua natural, como los lagos y los ríos, se autopurifican. Las aguas residuales que contienen solutos contaminantes se ponen en contacto con una densa población de microorganismos apropiados, durante un tiempo suficiente que permita a los microbios descomponer y eliminar, los solutos contaminantes. En los procesos naturales, los solutos se eliminan principalmente por descomposición, por lo general oxidación, por metabolismo microbiano y conversión en materias microbianas celulares. Los procesos intensificados en gran escala poseen un mecanismo adicional de remoción por medio del cual los contaminantes se adsorben y aglomeran con las densas masas microbianas que se utilizan, lo que permite remover estas materias, las que no se verían afectadas por los otros dos mecanismos: oxidación y conversión en materias microbianas celulares. El grado con que cada uno de estos procesos contribuye al efecto total de purificación dependerá del sistema de tratamiento que se use, de la operación y de los contaminantes presentes en el agua residual en tratamiento. (Winkler, 1998).

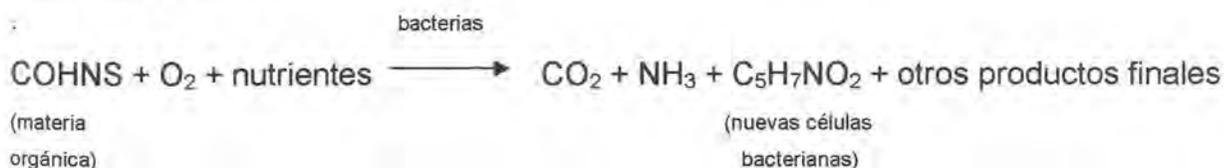
A continuación se describen de forma general los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales empleados en Quintana Roo.

### 3.3 PROCESO DE LODOS ACTIVADOS

**Descripción del proceso.** Desde el punto de vista del funcionamiento, el tratamiento biológico de aguas residuales mediante el proceso de lodos activados se lleva al cabo como se muestra en el diagrama de flujo de la Figura 3.1. El residuo orgánico se introduce en un reactor, donde se mantiene un cultivo bacteriano aerobio en suspensión. El contenido del reactor se conoce con el nombre de «licor de

mezclado». En el reactor, el cultivo bacteriano realiza la conversión de materia orgánica presente en las aguas residuales de acuerdo con la estequiometría de las ecuaciones siguientes.

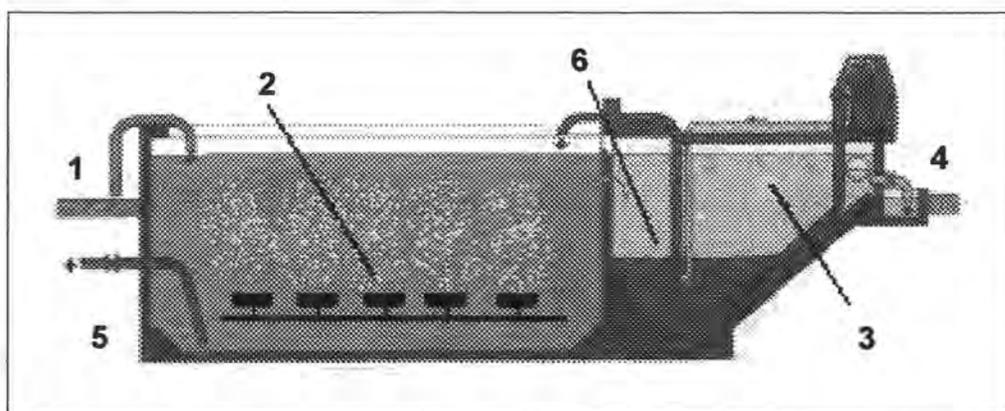
*Oxidación y síntesis:*



*Respiración endógena:*



En estas ecuaciones, COHNS representa la materia orgánica del agua residual. A pesar de que la reacción de la respiración endógena conduce a la formación de productos finales relativamente sencillos y al desprendimiento de energía, también se forman algunos productos orgánicos estables.



**Figura 3.1.** Esquema de un reactor de mezcla completa con recirculación y purga de lodos. (1- Llegada agua bruta después de desbaste y desarenado; 2- Aireación; 3- Clarificación; 4- Salida efluente depurado; 5- Extracción de lodos; 6- Lodos de retorno) Fuente: Hernández, 1992.

El ambiente aerobio en el reactor se consigue mediante el uso de difusores o de aireadores de burbuja fina que también a su vez mantienen el líquido en estado de mezcla completa. Al cabo de un periodo determinado de tiempo, la mezcla de las nuevas células con las viejas (lodos activados) se conduce hasta un tanque de sedimentación para la separación del agua residual tratada. Una parte de las células sedimentadas se recircula con la finalidad de mantener en el reactor la concentración de células necesarias para continuar con el proceso de oxidación de la materia orgánica, mientras que la otra parte se retira del proceso mediante un sistema de purga (véase Fig. 3.1). El nivel al que se debe mantener la masa biológica depende de la eficacia deseada en el tratamiento y de otras consideraciones relacionadas con la cinética del crecimiento. (Metcalf y Eddy, 1996).

En la naturaleza, el papel clave de las bacterias es descomponer la materia orgánica producida por otros organismos vivos. En el proceso de lodos activados, las bacterias son los microorganismos más importantes, ya que son los causantes de la descomposición de la materia orgánica del afluente. En el reactor, o tanque de aireación, las bacterias aerobias y facultativas utilizan parte de la materia orgánica del agua residual con el fin de obtener energía para la síntesis del resto de la materia orgánica formando células nuevas. En realidad, sólo una parte del residuo original se oxida a compuestos de bajo contenido energético tales como nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), sulfatos ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ); el resto se sintetiza formando nuevas células.

En general, las bacterias que intervienen en el proceso de lodos activados incluyen los géneros *Pseudomonas*, *Zoogloea*, *Achromobacter*, *Flavobacterium*, *Nocardia*, *Bdellovibrio*, *Mycobacterium* y las dos bacterias nitrificantes más comunes, los *Nitrosomas* y las *Nitrobacter*. Adicionalmente, se pueden presentar diversas formas filamentosas tales como la *Sphaerotilus*, *Beggiatoa*, *Thiothrix*, *Lecicothrix* y *Geotrichum*. En tanto que las bacterias son los microorganismos que realmente degradan el residuo orgánico del afluente, las actividades metabólicas de otros microorganismos son, igualmente, importantes en el sistema de lodos activados. Por ejemplo, los protozoos y rotíferos ejercen una acción de refinado de los efluentes. Los

protozoos consumen las bacterias dispersas que no han floculado y los rotíferos consumen cualquier partícula biológica pequeña que no haya sedimentado.

Por otro lado, del mismo modo que es importante que las bacterias descompongan el residuo orgánico tan pronto como sea posible, también lo es el que formen un flóculo adecuado, puesto que este punto constituye un requisito previo para la separación de los sólidos biológicos en la etapa de sedimentación. Se ha observado que cuando se aumenta el tiempo medio de retención celular mejoran las características de sedimentación del flóculo biológico. En el caso de aguas residuales domésticas, los tiempos medios de retención celular necesarios para conseguir una buena sedimentación oscilan entre 3 y 4 días. Aunque se obtenga una excelente formación de flóculos, el efluente del sistema podría tener un alto contenido de sólidos biológicos, como consecuencia de un mal diseño de la unidad de sedimentación secundaria, mal funcionamiento de los dispositivos de aireación, o por la presencia de organismos filamentosos como el *Sphaerotilus*, los *E. coli* u hongos.

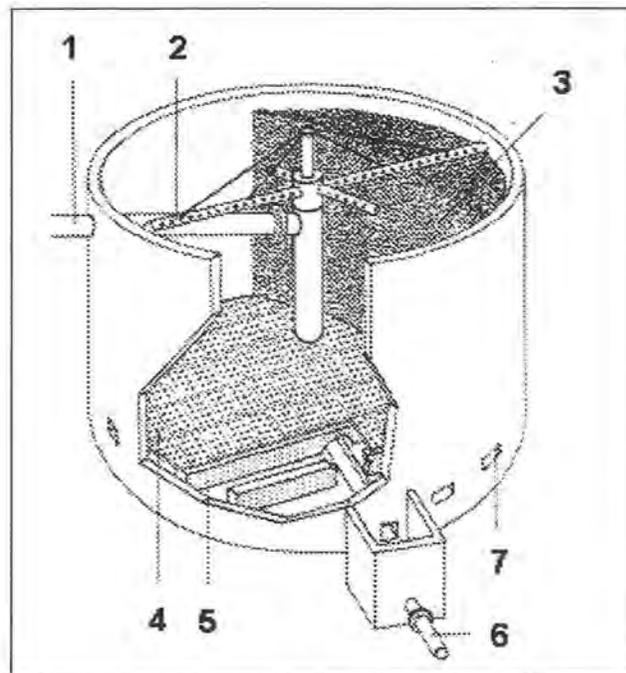
### 3.4 FILTROS PERCOLADORES

**Descripción del proceso.** El filtro percolador (véase Fig. 3.2) consiste en un lecho formado por un medio sumamente permeable al que se adhieren los microorganismos y a través del cual percola el agua residual. El medio filtrante suele estar formado por piedras (en ocasiones también se emplean escorias), o diferentes materiales plásticos de relleno. En el caso de filtros percoladores con medio filtrante de piedra, el diámetro de las piedras oscila entre 2,5 y 10 cm. La profundidad del lecho varía en cada diseño particular, pero suele situarse entre 0,9 y 2,5 m, con una profundidad media de 1,8 m. Los filtros de piedra suelen ser circulares, y el agua residual se distribuye por la parte superior del filtro mediante un distribuidor rotatorio. Los filtros percoladores que emplean lechos de material plástico pueden tener diversas formas, habiéndose construido filtros circulares, cuadrados y de otras formas diversas, con profundidades entre 4 y 12 m. (Metcalf y Eddy, 1996).

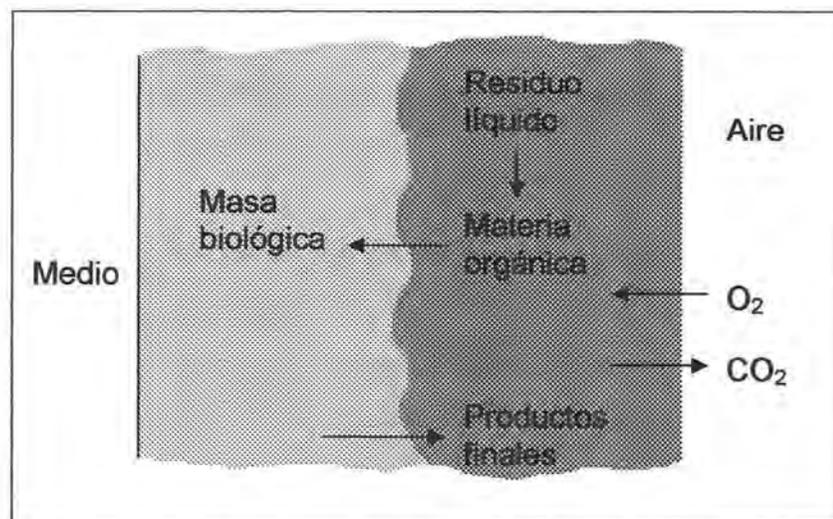
Los filtros incluyen un sistema de drenaje inferior para recoger el líquido tratado y los sólidos biológicos que se hayan separado del medio. Este sistema de drenaje inferior es importante, tanto como recolección como por su estructura discontinua a través de la cual puede circular el aire (véase Fig. 3.2). El líquido recogido pasa a un tanque de sedimentación en el que se separan los sólidos del agua residual. En la práctica, se recicla una parte del líquido colectado en el sistema de drenaje inferior o del efluente del tanque de sedimentación, para diluir la concentración del agua residual que entra en el sistema y para mantener la humedad de la película biológica.

La materia orgánica presente en el agua residual se degrada por la acción de la población de microorganismos adherida al medio (véase Fig. 3.3). La materia orgánica del líquido es adsorbida en la película biológica, en cuyas capas externas (0,1 a 0,2 mm) se degrada bajo la acción de los microorganismos aerobios. Cuando los microorganismos crecen, aumenta el espesor de la película, y el oxígeno se consume antes de que pueda penetrar en todo el espesor de la película. Por lo tanto, en la proximidad de la superficie del medio, se crea un ambiente anaerobio.

Conforme la película aumenta de espesor, la materia orgánica adsorbida se metaboliza antes de que pueda alcanzar los microorganismos situados cerca de la superficie del medio filtrante. La consecuencia de no disponer de una fuente orgánica externa de carbono celular es que los microorganismos situados cerca de la superficie del medio filtrante se hallan en la fase de crecimiento endógena, en la que pierden la capacidad de adherirse a la superficie del medio. En estas condiciones, el líquido arrastra la película a su paso por el medio, y se inicia el crecimiento de una nueva capa biológica. Este fenómeno de pérdida de la película biológica, conocido como arrastre, es básicamente función de la carga hidráulica y orgánica del filtro. La carga hidráulica origina las velocidades de arrastre, y la carga orgánica influye en la velocidad de metabolismo en la capa biológica. En los filtros percoladores modernos, la carga hidráulica del sistema se regula para asegurar un espesor uniforme de la película biológica. (Metcalf y Eddy, 1996).



**Figura 3.2.** Sección de un filtro percolador típico. (1- Llegada de agua a tratar; 2- Distribuidor rotatorio; 3- Material; 4- Placa perforada; 5- Soporte de placas; 6- Salida de agua tratada; 7- Alimentación de aire.) Fuente: Degremont, 1979.



**Figura 3.3.** Representación esquemática de la sección transversal de una película biológica en un filtro percolador. Fuente: Metcalf y Eddy, 1996.

La comunidad biológica presente en un filtro está compuesta principalmente por protistas, incluyendo bacterias facultativas, aerobias y anaerobias, hongos, algas y protozoos. También suelen encontrarse algunos animales superiores como gusanos, larvas de insectos y caracoles. En el filtro percolador, los organismos predominantes son las bacterias, su misión junto con las bacterias aerobias y anaerobias, es la de descomponer la materia orgánica del agua residual. Entre las especies bacterianas habitualmente presentes están las *Achromobacter*, *Flavobacterium*, *Pseudomonas* y *Alcaligenes*.

Dentro de la capa viscosa, en la que prevalecen condiciones adversas para el crecimiento, se presentan las formas filamentosas *Sphaerotilus natans* y *Beggiatoa*. En las zonas más bajas del filtro se encuentran las bacterias nitrificantes, *Nitrosomonas* y *Nitrobacter*. (Metcalf y Eddy, 1996).

Los hongos presentes, también contribuyen a la estabilización del agua residual, pero su contribución sólo es importante a pH bajos, ya que sólo pueden sobrevivir en un intervalo de tolerancia entre 2 y 9 siendo el pH óptimo para la mayoría de las especies de 5.6. En ocasiones, su crecimiento puede ser tan rápido que produce la obstrucción del filtro y limitan la ventilación del mismo. Entre las especies que suelen presentarse en los filtros percoladores se han identificado las siguientes: *Fusarium*, *Mucor*, *Penicillium*, *Geotrichum*, *Sporotrichum* y diversas levaduras.

Las algas sólo pueden crecer en las capas superiores del filtro, en las zonas hasta las que puede llegar la luz solar. Entre las especies de algas que se encuentran en los filtros percoladores se pueden citar la *Phormidium*, *Chlorella* y *Ulothrix*. Por lo general, las algas no toman parte directa en la degradación de los residuos, pero añaden oxígeno al agua residual que se está filtrando durante las horas del día. Desde un punto de vista operacional las algas son un estorbo, ya que pueden originar la obstrucción de la superficie del filtro, lo que conduce a la producción de olores. (Metcalf y Eddy, 1996).

Los protozoos que se pueden encontrar en los filtros percoladores son predominantemente del grupo ciliata, e incluyen la *Vorticella*, la *Opercularia* y la *Epistylis*. Al igual que en el proceso de lodos activados, su función no es estabilizar el agua residual sino controlar la población bacteriana. Los animales superiores tales como caracoles, gusanos e insectos, se alimentan de las capas biológicas del filtro, con lo que ayudan a mantener la población bacteriana en estado de gran crecimiento o de rápida utilización del alimento.

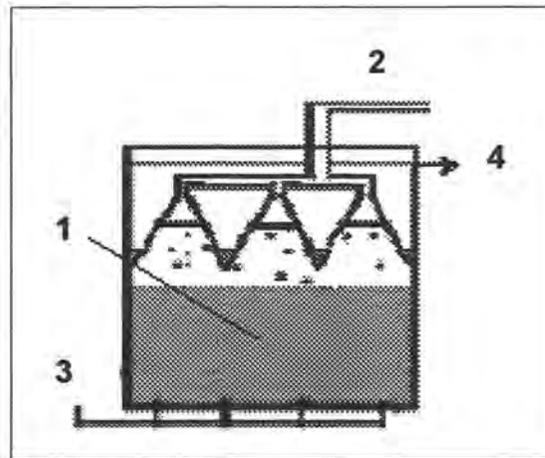
Las formas de vida superiores no son tan comunes en los filtros percoladores de alta carga. La presencia de caracoles es especialmente problemática en los filtros nitrificantes, en los que se sabe que consumen la mayor parte del crecimiento de las bacterias nitrificantes. Las poblaciones individuales de la comunidad biológica sufren variaciones a lo largo de la profundidad del filtro, en función de los cambios que se produzcan en la carga orgánica, la carga hidráulica, la composición del agua residual afluyente, el pH, la temperatura, la disponibilidad de aire y otros factores. (*Metcalf y Eddy, 1996*).

### **3.5 PROCESO ANAEROBIO DE MANTO DE LODOS DE FLUJO ASCENDENTE**

En este proceso (véase Fig. 3.4), el residuo que se quiere tratar se introduce por la parte inferior del reactor. El agua residual fluye en sentido ascendente a través de un manto de lodos constituido por gránulos o partículas formadas biológicamente. El tratamiento se produce al entrar en contacto el agua residual y las partículas. Los gases producidos en condiciones anaerobias (principalmente metano y dióxido de carbono) provocan una circulación interior, que colabora en la formación y mantenimiento de los gránulos.

Parte del gas generado dentro del manto de lodos se adhiere a las partículas biológicas, tanto el gas libre como las partículas a las que se ha adherido gas, se desplazan hacia la parte superior del reactor, produciéndose la liberación del gas

adherido a las partículas, al entrar éstas en contacto con unos deflectores desgasificantes. Las partículas desgasificadas, regresan nuevamente hasta la superficie del lecho de lodos. El gas libre y el gas liberado de las partículas se recibe en una bóveda de captura de gases instalada en la parte superior del reactor. El líquido, que contiene algunos sólidos residuales y algunos de los gránulos biológicos, se conduce a una cámara de sedimentación, donde se separan los sólidos residuales. Los sólidos separados se reconducen a la superficie del lecho de lodos a través del sistema de deflectores. Para mantener el lecho de lodos en suspensión, es necesario que la velocidad de flujo ascendente tenga un valor entre 0,6 y 0,9 m/h. (Metcalf y Eddy, 1996).

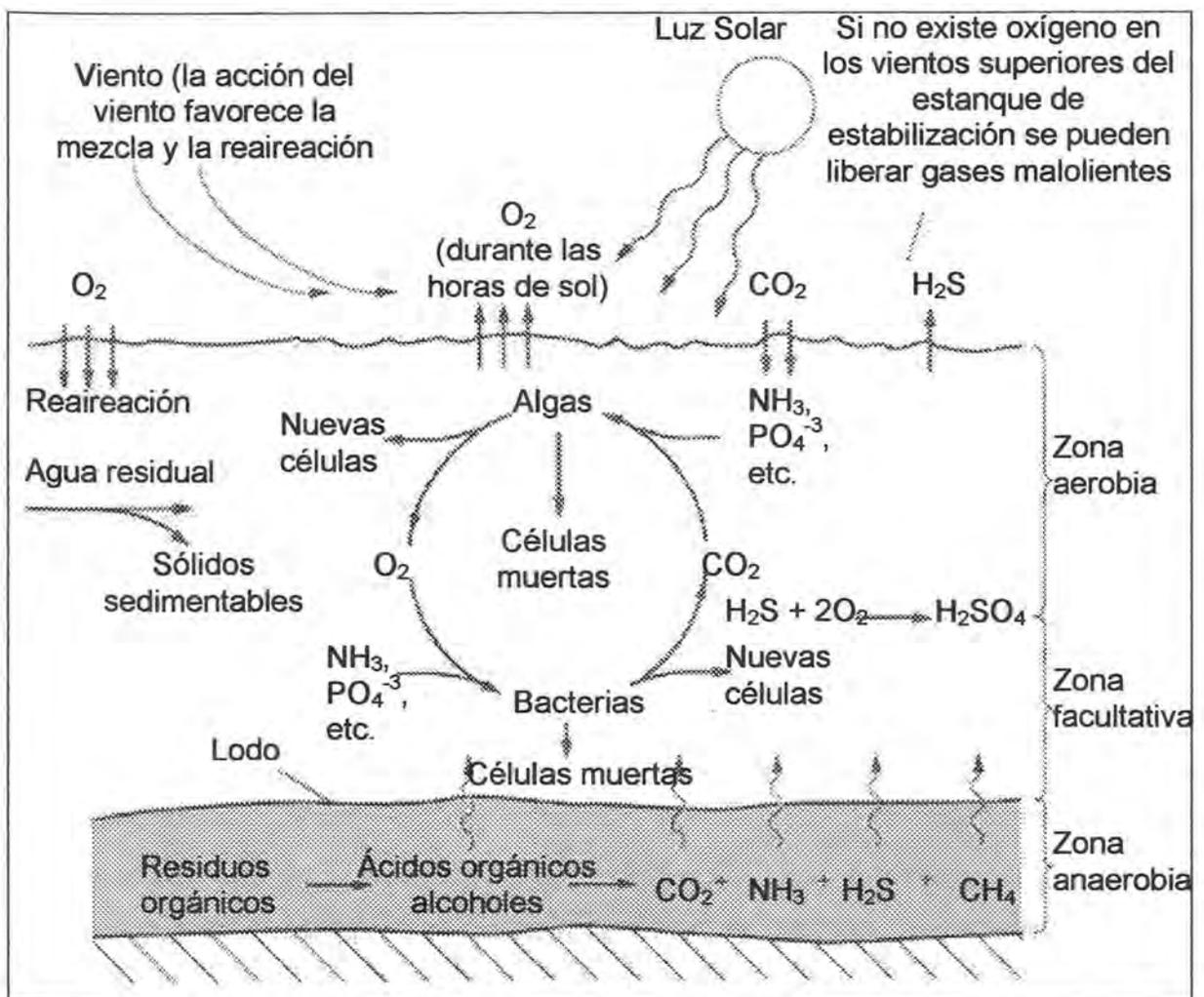


**Figura 3.4.** Vista esquemática de un reactor anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente (UASB). (1- Lodos; 2- Salida de gas; 3- Influyente; 4- Efluente.) Fuente: Metcalf y Eddy, 1996.

### 3.6 ESTANQUE DE ESTABILIZACIÓN (FACULTATIVO)

Los estanques en los que la estabilización de las aguas residuales se lleva a cabo mediante una combinación de bacterias facultativas, anaerobias y aerobias, se conocen con el nombre de estanques de estabilización facultativos (aerobios-anaerobios).

**Descripción del proceso.** Como se puede apreciar en la Figura 3.5, en un estanque facultativo existen tres zonas: (1) una zona superficial en la que existen bacterias aerobias y algas en una relación simbiótica, (2) una zona inferior anaerobia en la que se descomponen rápidamente los sólidos acumulados por acción de las bacterias anaerobias, y (3) una zona intermedia, que es parcialmente aerobia y anaerobia, en la que la descomposición de los residuos orgánicos la llevan a cabo las bacterias facultativas.



**Figura 3.5.** Representación esquemática de un tanque de estabilización. Fuente: Metcalf y Eddy, 1996.

Los estanques de estabilización facultativos son tanques excavados en el terreno que se alimentan con agua residual procedente de un proceso previo de desbaste o con el efluente de un tratamiento primario. Los sólidos de gran tamaño sedimentan para formar una capa de lodo anaerobio. Los materiales orgánicos sólidos y coloidales se oxidan por la acción de las bacterias aerobias y facultativas empleando el oxígeno generado por las abundantes algas presentes cerca de la superficie. (Metcalf y Eddy, 1996).

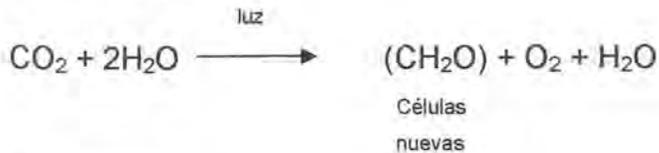
El dióxido de carbono, que se produce en el proceso de oxidación orgánica, sirve como fuente de carbono para las algas. La descomposición anaerobia de los sólidos de la capa de lodo comporta la producción de compuestos orgánicos disueltos y de gases tales como el  $\text{CO}_2$ , el  $\text{H}_2\text{S}$  y el  $\text{CH}_4$ , que o bien se oxidan por las bacterias aerobias, o se liberan a la atmósfera.

En la práctica, la presencia de oxígeno en la capa superior del estanque se consigue por las algas o mediante aireadores de superficie. Si se emplean aireadores de superficie, la presencia de algas no es necesaria. La ventaja de utilizar aireadores de superficie es que permiten aplicar cargas orgánicas más elevadas. Sin embargo, la carga orgánica aplicada no debe exceder de la cantidad de oxígeno que pueda ser suministrada por los aireadores sin que se produzca un mezclado completo del contenido del estanque, ya que en este caso se pierden las ventajas derivadas de la descomposición anaerobia. (Metcalf y Eddy, 1996).

La comunidad biológica de la capa superior o aerobia es similar a la de un estanque aerobio. Los microorganismos de la zona inferior del estanque son bacterias facultativas y anaerobias. La respiración también se produce en presencia de luz solar; sin embargo, la reacción neta es la producción de oxígeno.

Las Ecuaciones siguientes representan reacciones bioquímicas simplificadas de la fotosíntesis y de la respiración:

Fotosíntesis:



Respiración:



Debido a que las algas usan dióxido de carbono en su actividad fotosintética, ello puede dar lugar a condiciones de pH altos, especialmente en aguas residuales con alcalinidades bajas. En muchos casos, las algas presentes en los estanques facultativos obtienen el carbono necesario para la síntesis celular del ion bicarbonato. Cuando se emplea como fuente de carbono el ion bicarbonato, se pueden producir altas variaciones diurnas del pH. Además, con el aumento del pH cambian los componentes de la alcalinidad, y tiende a predominar la alcalinidad debida a la presencia de carbonato y de hidróxido. Si el agua residual presenta altas concentraciones de calcio, se producirá el precipitado de carbonato de calcio cuando las concentraciones de carbonato y de ion calcio sean las suficientemente elevadas para alcanzar el valor del producto de solubilidad. Esta eliminación del ion carbonato evitará que el pH siga subiendo. (Metcalf y Eddy, 1996).

### 3.7 REACTOR ANAEROBIO CON DOS CÁMARAS (PRINCIPIO FOSA SÉPTICA)

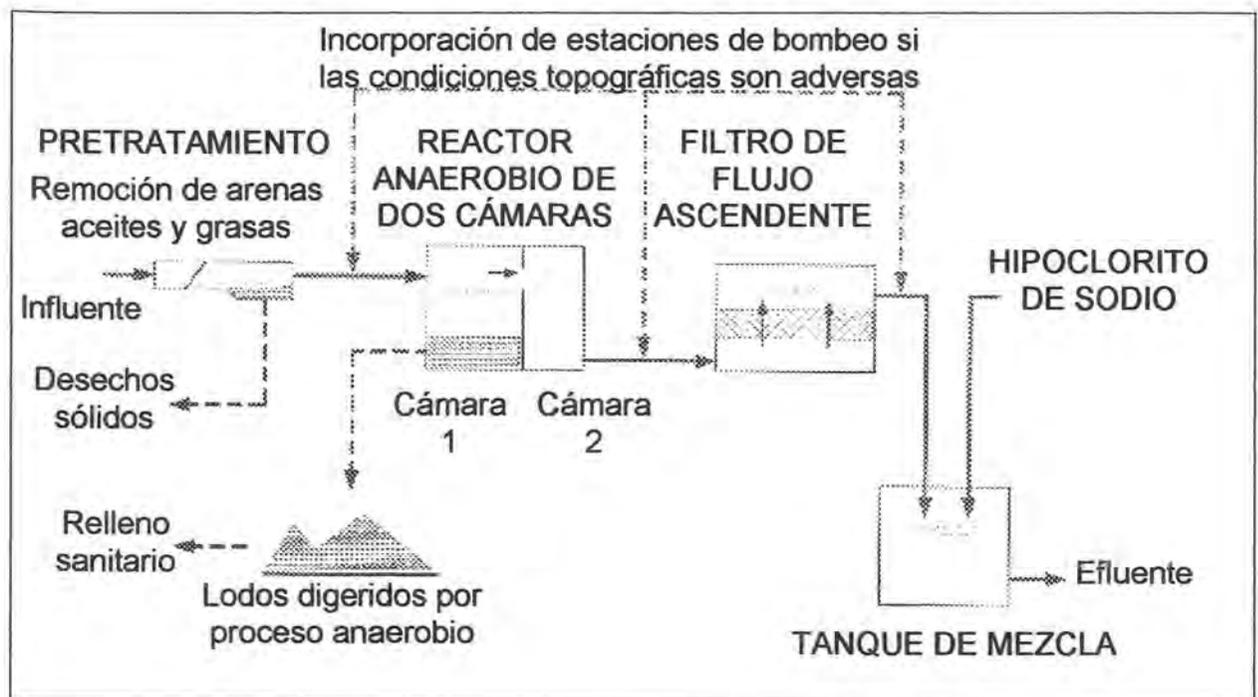
Este tipo de unidades se utilizan principalmente para el tratamiento de aguas negras provenientes de casas habitación de zonas rurales, es decir de origen doméstico. Se diseñan con tiempos de retención que varían de 1 a 3 días y tirantes de 1 a 2 m.

Existen diversos arreglos, acorde al número de cámaras en serie con las que cuente la unidad. En la figura 3.6, se observan 2 cámaras, esto hace que la eficiencia de

549543

remoción de sólidos y la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) sea mayor en comparación con un reactor del mismo volumen y una sola cámara.

La mayor parte de la población microbiana se ubicará al inicio de la primera cámara y tenderá a disminuir al final de la misma; el alimento (aguas negras) quedará atrapado y disponible para su digestión también en esta unidad. En la segunda cámara se repite el proceso, pero con menor carga orgánica y población de microorganismos. Si se proyectara con una cámara, la posibilidad de que las aguas negras pasen al efluente sin ser digeridas aumenta. (CAPA, 2003).



**Figura 3.6.** Reactor anaerobio con dos cámaras y filtro de flujo ascendente más usado en comunidades rurales del estado de Quintana Roo. Fuente: CAPA, 2003.

**CAPITULO IV**

**PROBLEMÁTICA EN QUINTANA ROO ASOCIADA A LAS DESCARGAS DE  
AGUA RESIDUAL**

En Quintana Roo, los problemas de agua para consumo humano están asociados principalmente a la calidad y no a la cantidad del agua (subterránea), esta situación se atribuye a la contaminación por introducción de sustancias químicas o de microorganismos a causa de la actividad humana y por la interferencia cuantitativa en los esquemas naturales de circulación a que da lugar el bombeo de las aguas subterráneas; favorecidas por las condiciones naturales. (INEGI, 2002).

El acuífero de Quintana Roo es altamente vulnerable a la contaminación, debido al gran fracturamiento y abundancia de oquedades de disolución de las rocas que lo constituyen. Su alta conductividad hidráulica y el escaso espesor de los suelos de la zona no saturada, propician la casi inmediata respuesta del medio hidrogeológico al agente externo (aguas residuales, agroquímicos, efluentes industriales y materia orgánica); así mismo, el acuífero es susceptible a degradación por el movimiento de la interfase salina a consecuencia de cualquier variación en las condiciones de flujo (entradas y salidas) del agua a su interior.

En el Estado existen alrededor de 15 plantas de tratamiento, que descargan al acuífero un total de 105,234,507.45 m<sup>3</sup>/año de agua residual tratada, por medio de pozos de absorción o de inyección; provenientes principalmente de las áreas urbanas como: Cancún, Isla Mujeres, Cozumel y Chetumal; otras descargas provienen de la industria, los servicios y el sector pecuario. (INEGI, 2002).

A continuación se presenta la información obtenida de las distintas instituciones consultadas, las cuales son las responsables en materia de agua en el estado, como son: la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado (CAPA) y la Comisión Nacional del Agua (CNA), también se recurrió al Instituto Nacional de Estadística, Geografía e

Informática como responsable de la información oficial nacional, para hacer una comparación con las instituciones mencionadas anteriormente.

Cabe mencionar que fue difícil conseguir esta información, por los siguientes factores:

- La mayoría de los datos no siempre están actualizados (CNA, INEGI, CAPA).
- No manejan los datos por que no es su prioridad como institución (CNA, su responsabilidad es tener los expedientes de cada organismo operador y no supervisa las condiciones de operación de estos, salvo periódicas inspecciones; y si estos no cumplen o no operan como debe de ser, se hacen acreedores a una sanción económica).
- No tienen personal para generarla (CAPA y CNA).
- Mucha de la información se encuentra archivada (CNA y CAPA), pero aún no la han procesado.

#### **4.1 INFORMACIÓN REFERENTE A AGUA POTABLE**

La tabla 4.1 presenta el número de fuentes de abastecimiento existentes en Quintana Roo sumando un total de 713, de las cuales, 708 fuentes son pozos profundos, siendo la principal fuente de obtención de agua potable del acuífero subterráneo.

Se observa que se utilizan pocos cuerpos de agua superficial como lagunas y cenotes para captación de agua potable, ya que muchos de ellos no cuentan con la calidad de agua necesaria para éste servicio.

Además se muestra que el volumen promedio diario extraído fue de 305.5 miles de metros cúbicos, equivalentes a 111,507,500 m<sup>3</sup> anuales en el año 2003.

Tabla 4.1 Fuentes de abastecimiento y volumen promedio diario de extracción de agua potable por municipio según tipo de fuente 2003.

MUNICIPIO	FUENTES DE ABASTECIMIENTO (a)			VOLUMEN PROMEDIO DIARIO DE EXTRACCIÓN (Miles de metros cúbicos)		
	TOTAL	POZO PROFUNDO	OTROS (b)	TOTAL	POZO PROFUNDO	OTROS (b)
ESTADO	713	708	5	305.5	300.6	4.8
BENITO JUAREZ	115	115 (c)	0	147.9	147.9	0.0
COZUMEL	256	256	0	14.5	14.5	0.0
FELIPE CARRILLO PUERTO	76	75	1	17.5	17.4	0.1
ISLA MUJERES	11	11	0	2.7	2.7	0.0
JOSÉ MARIA MORELOS	60	60	0	8.4	8.4	0.0
LÁZARO CARDENAS	38	37	1	7.4	6.9	0.5
OTHÓN P. BLANCO	123	122	1	74.9	74.2	0.7
SOLIDARIDAD	34	32	2	32.2	28.6	3.6

(a) Datos referidos al 31 de diciembre.

(b) Comprende: cenotes, manantiales y norias.

(c) Comprende fuentes que abastecen a Isla Mujeres.

Fuente: INEGI, 2004.

En la tabla 4.2 se muestra que existen 295 sistemas independientes de abastecimiento de agua potable en el estado, estos pueden incluir un pozo profundo de abastecimiento o más en una misma zona, como en el caso de Cozumel que sólo existe un sistema de abastecimiento, pero con 256 pozos de extracción (véase tabla 4.1).

El motivo de la existencia de muchos pozos de extracción en la isla es debido a que el acuífero de agua dulce se encuentra cercano a la superficie - a 12 metros de profundidad - por lo tanto enfrenta un grave riesgo de contaminación por intrusión salina. Al explotar demasiado el acuífero, se rompe el equilibrio entre el agua dulce y el agua salada, cabe mencionar que los pozos de extracción en Cozumel se encuentran a 500 y 600 metros de distancia uno del otro, se diseñó de esta manera porque al iniciar con las obras de abastecimiento de agua potable, se empezó a extraer del cenote Chentuk contaminándose de agua salada y se tuvo que abandonar por la sobreexplotación del acuífero. (Pacheco 2001).

También se observa que del total de tomas de agua potable, la mayoría son de tipo doméstico. Los municipios que presentan el mayor consumo de agua son los siguientes:

**Tabla 4.2** Sistemas, tomas domiciliarias instaladas y localidades con red de distribución de agua potable por municipio, 2003.

MUNICIPIO	SISTEMAS DE AGUA POTABLE	TOMAS DOMICILIARIAS INSTALADAS				LOCALIDADES CON RED DE DISTRIBUCIÓN
		TOTAL	DOMÉS TICAS	COMER CIALES	INDUS TRIALES	
ESTADO	295	225,059	210,008	14,295	756	295
BENITO JUAREZ	4	115,129	108,219	6,585	325	4
COZUMEL	1	12,619	11,437	1,093	89	1
FELIPE CARRILLO PUERTO	70	13,143	12,585	552	6	70
ISLA MUJERES	1	2,710	2,385	270	55	1
JOSÉ MARIA MORELOS	57	8,126	7,664	457	5	57

MUNICIPIO	SISTEMAS DE AGUA POTABLE	TOMAS DOMICILIARIAS INSTALADAS				LOCALIDADES CON RED DE DISTRIBUCIÓN
		TOTAL	DOMÉS TICAS	COMER CIALES	INDUS TRIALES	
LÁZARO CARDENAS	32	5,865	5,460	373	32	32
OTHÓN P. BLANCO	111	51,805	48,771	2,966	78	111
SOLIDARIDAD	19	15,652	13,487	1,999	166	19

Fuente: INEGI, 2004.

El volumen que se presenta en la tabla 4.3 es el volumen consultado en la página de Internet de la CNA (<http://cna.gob.mx/eCNA/Espaniol/Directorio/Default.aspx>), este es la sumatoria de cada pozo de extracción por localidad, cabe mencionar que existe más de un pozo de extracción por localidad, y en el caso de áreas urbanas se extrae el agua de una localidad cercana.

**Tabla 4.3** Volumen de extracción de agua potable autorizado por CNA 2004

INSTITUCIÓN	VOLUMEN DE EXTRACCIÓN EN (m <sup>3</sup> /año)
CAPA	88,900,011.32
FONATUR	10,171.00
<b>TOTAL</b>	<b>88,910,182.32</b>

Fuente: CNA, 2004.

#### Comparación de la tabla 4.3 con la tabla 4.1

A continuación se hará un análisis con el volumen de extracción de agua potable que reportan INEGI y CNA, para mostrar el porcentaje de volumen de agua que se destina al servicio doméstico.

VPDE = Volumen promedio diario de extracción para todo el estado (tabla 4.1) = 305.5 miles de  $m^3$ .

$$VPAE = VPDE \times 1000 \times 365 = 305,5 \times 1000 \times 365 = 111,507,500 m^3$$

VPAE = Volumen promedio anual de extracción para todo el estado (conversión de tabla 4.1) = 111,507,500  $m^3$ .

VEA = Volumen de extracción autorizado por CNA (tabla 4.3) para servicio doméstico = 88,910,182.32  $m^3$ .

$$\%AASD = \frac{VEA \times 100}{VPAE} = \frac{88,910,182.32 m^3 \times 100}{111,507,500 m^3} = 79.73\%$$

% AASD = Porcentaje de agua autorizado para servicio doméstico = 79.73%

Al hacer una comparación de la tabla 4.3 con la tabla 4.1, se muestra que el volumen de extracción de agua potable de las instituciones que suministran el servicio de tipo doméstico es el 79.73% del total que se extrae en el Estado, y el resto corresponde a particulares.

En la tabla 4.4 se muestra que el volumen extraído de agua potable en el 2003 registrado por CAPA fue de 113,236,254.09  $m^3$  (incluyendo el volumen extraído por la empresa AGUAKAN por su concesión con CAPA) y se observa que en el municipio de Benito Juárez fue extraído el mayor volumen de agua potable, seguido de Othón P. Blanco y Solidaridad.

Como punto sobresaliente, el volumen presentado por CAPA es mayor que el volumen que presenta INEGI (111,507,500  $m^3$ ) en casi 2 millones de metros cúbicos anuales, el porcentaje de diferencia entre las dos instituciones es de 1.52 %, lo cual muestra la diferencia de resultados entre instituciones.

Tabla 4.4 Volumen total producido de agua potable en 2003.

MUNICIPIO	VOLUMEN ANUAL(m <sup>3</sup> /año)	VOLUMEN DIARIO (m <sup>3</sup> /día)	VOLUMEN DIARIO (l/s)
OTHON P. BLANCO	27,076,788.32	74,182.98	858.59
FELIPE CARRILLO P.	8,382,464.40	17,486.20	202.39
JOSÉ MARIA MORELOS	3,047,414.19	8,349.08	96.63
SOLIDARIDAD	11,761,719.48	32,223.89	372.96
COZUMEL	5,274,973.10	14,451.98	167.27
LÁZARO CARDENAS	2,708,359.60	7,420.16	85.88
BENITO JUAREZ	53,985,745.00	147,906.15	1,711.80
ISLA MUJERES	998,790.00	2,736.41	31.67
<b>TOTAL</b>	<b>113,236,254.09</b>	<b>310,236.31</b>	<b>3,590.69</b>

Fuente: CAPA, 2004.

#### 4.2 INFORMACIÓN REFERENTE A DRENAJE Y ALCANTARILLADO

En la tabla 4.5, se puede ver que el número de sistemas de drenaje corresponden al número de localidades, lo cual muestra que existen, sólo ocho localidades con servicio de drenaje y por ende no existen más plantas de tratamiento de las aguas residuales en otras localidades que deberían contar con este servicio.

Las localidades que cuentan con el servicio de drenaje y alcantarillado son:

- Cancún en el municipio de Benito Juárez
- Cozumel en el municipio del mismo nombre.
- Felipe Carrillo Puerto en el municipio del mismo nombre.

- Isla mujeres en el municipio del mismo nombre.
- Chetumal y Mahahual en el municipio de Othón P. Blanco.
- Playa del carmen y Chemuyil en el municipio de Solidaridad.

**Tabla 4.5** Sistemas y localidades con el servicio de drenaje y alcantarillado por municipio, 2003.

MUNICIPIO	SISTEMAS DE DRENAJE Y ALCANTARILLADO	LOCALIDADES CON EL SERVICIO
ESTADO	8	8
BENITO JUÁREZ	1	1
COZUMEL	1	1
FELIPE CARRILLO PUERTO	1	1
ISLA MUJERES	1	1
OTHÓN P. BLANCO	2	2
SOLIDARIDAD	2	2

FUENTE: INEGI, 2004.

De acuerdo con un experto del INEGI, el procedimiento interno del Instituto para los estudios de población y vivienda, es que las localidades mayores a 2,500 habitantes se consideran urbanas, y las menores de 2,500 habitantes se consideran rurales, por lo tanto la localidades urbanas deberían contar con todos los servicios básicos incluyendo drenaje. Sin embargo la tabla 4.6 muestra las localidades con una población mayor a 2,500 habitantes, que deberían contar con el servicio de drenaje y planta de tratamiento y no lo tienen.

Además muestra el porcentaje concentrado de habitantes del total existente en el municipio que se encuentran en esa localidad. Por ejemplo que el 98.56% de habitantes del municipio de Cozumel se encuentran en la Ciudad de Cozumel.

**Tabla 4.6** Principales localidades de 2,500 o más de habitantes y porcentaje de población municipal que concentran.

LOCALIDAD	NÚMERO DE HABITANTES	POBLACIÓN TOTAL MUNICIPIO	PORCENTAJE CONCENTRADO
Cozumel	59,225	60,091	98.56
Cancún	39,7191	419,815	94.61
Isla Mujeres	10,024	11,313	88.61
Playa del Carmen	43,613	63,752	68.41
Chetumal	121,602	208,164	58.42
Felipe Carrillo Puerto	18,545	60,365	30.72
José María Morelos	9,446	31,052	30.42
Kantunilkin	5,782	20,411	28.33
Tulum	6,733	63,752	10.56
Dziuche	2,666	31,052	8.59
Chunhuhub	4,198	60,365	6.95
Tihosuco	3,965	60,365	6.57
Bacalar	9,239	208,164	4.44
Calderitas	4,493	208,164	2.16
Alfredo V. Bonfil	8,148	419,815	1.94
Nicolás Bravo	3,668	208,164	1.76
Javier Rojo Gómez	2,934	208,164	1.41
Álvaro Obregón	2,921	208,164	1.40
Leona Vicario	4,599	419,815	1.10
Joaquín Zetina Gasca	2,546	419,815	0.61

Fuente: INEGI, 2002.

La tabla 4.6 muestra a veinte localidades que ya deben tener drenaje y planta de tratamiento, de las cuáles sólo 8 tienen este servicio (véase la tabla 4.5) de acuerdo con el INEGI. Se observa que aún falta atender a 12 localidades que ya necesitan tener los servicios básicos.

### **Observaciones**

Según la tabla 3.1 proporcionada por CAPA y la tabla 4.8 proporcionada por CNA, la localidad de Tulum ya cuenta con planta de tratamiento y por ende con servicio de drenaje, pero esta localidad no está considerada en la tabla 4.5 ya que pertenece al municipio de Solidaridad y sólo consideran a las localidades de Playa del Carmen y Chemuyil.

Una vez más se ve la diferencia de datos proporcionados entre las instituciones. Debido a esta observación, se concluye que en lugar de ser 12 las localidades consideradas como urbanas que no tienen servicio de drenaje y planta de tratamiento son 11, por considerar a Tulum.

### **4.3 PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

La tabla 4.7, es la más actual proporcionada por el INEGI, al comparar con la tabla siguiente en cuanto al número de plantas se observa nuevamente que no existe concordancia con la tabla 4.8 proporcionada por CNA.

Se observa que el volumen tratado de agua residual con respecto al volumen de agua potable extraída (véase tabla 4.1) es sólo el 36.91% y esto muestra que existe la necesidad de contar con más plantas de tratamiento para tratar estas aguas residuales.

Tabla 4.7 Plantas públicas de tratamiento de lodos activados en uso, capacidad instalada y volumen tratado de aguas residuales por municipio, 2003.

MUNICIPIO	PLANTAS DE TRATAMIENTO DE LODOS ACTIVADOS (a)	CAPACIDAD INSTALADA (a) (litros por segundo)	VOLUMEN TRATADO (miles de metros cúbicos)
ESTADO	15	1,658	41,167
BENITO JUÁREZ (b)	7	1,197	32,167
COZUMEL	1	125	3,154
FELIPE CARRILLO PUERTO	1	5	63
ISLA MUJERES	1	30	725
OTHÓN P. BLANCO	3	126	2,062
SOLIDARIDAD	2	175	2,996

(a) Datos referidos al 31 de diciembre.

(b) Servicios concesionados a empresas particulares.

Fuente: INEGI, 2004.

La tabla 4.8 fue proporcionada por CNA, se puede observar que las plantas de tratamiento, están ubicadas principalmente en los centros urbanos y en las zonas que tienen demanda turística, y que no existen plantas de tratamiento en los municipios de José María Morelos y Lázaro Cárdenas.

También se puede destacar que la cobertura de alcantarillado y saneamiento en algunos centros urbanos, no es superior al 70 % para garantizar una aceptable recolección de las aguas residuales, esto influye en la disposición de las aguas residuales que le da la población mediante fosas sépticas u hoyos negros.

*CAPÍTULO 4*

La diferencia entre Alcantarillado y Saneamiento es que: Alcantarillado es la cobertura de drenaje que se tiene en la ciudad y Saneamiento se refiere a la captación de agua residual que tratan estas Plantas en la localidad en la que se encuentran.

Las razones por las que varias plantas de tratamiento no trabajan a toda su capacidad (el gasto tratado no es igual al instalado) son:

- Existe poca cobertura de drenaje en la ciudad: varias colonias sobre todo las que se encuentran en los alrededores de la ciudad no cuentan con el servicio.
- La población no se conecta a la red de drenaje existente: debido al alto costo que representa la conexión, además del daño a su propiedad por la instalación de tubería nueva.
- Se conectan al alcantarillado pluvial: por el desconocimiento y confusión de la tubería.

Además se puede notar que las plantas de tratamiento descargan principalmente al acuífero subterráneo, exceptuando dos: la planta Centenario que descarga a un cuerpo superficial (Humedal) y la planta Isla Mujeres que descarga al mar. Algunas otras tienen descargas para riego en la ciudad de Cancún.

Puede verse que el proceso que predomina es el de Lodos Activados, debido a que es el más eficiente para aguas residuales municipales.

Una observación notable, es la diferencia entre la tabla 3.1 elaboración propia con información proporcionada por CAPA, la tabla 4.7 proporcionada por INEGI y la tabla 4.8 proporcionada por CNA, por el número de plantas que reportan con 18, 15 y 17 respectivamente.

Tabla 4.8 Relación de las plantas de tratamiento.

MUNICIPIO	LOCALIDAD	NOMBRE DE LA PLANTA	PROCESO DE OPERACIÓN	GASTO INSTALADO (LPS)	GASTO TRATADO (LPS)	CUERPO RECEPTOR O REUSO	OPERA	COBERTURA MUNICIPAL	
								ALCANTARILLADO	SANEAMIENTO
Benito Juárez	Cancún	Pok-ta-pok	Lodos Activados	245	200	Acuífero	Fonatur	83 %	70 %
Benito Juárez	Cancún	Gukumatz	Lodos Activados	200	160	Acuífero	Fonatur		
Benito Juárez	Cancún	El Rey	Lodos Activados	100	68.5	Acuífero	Fonatur		
Benito Juárez	Cancún	Caribe 2000	Lodos Activados	250	250	Acuífero	Aguakan		
Benito Juárez	Cancún	Corales	Lodos Activados	50	50	Acuífero	Aguakan		
Benito Juárez	Cancún	Norte	Lodos Activados	350	290	Acuífero	Aguakan		
Benito Juárez	Cancún	Playa Blanca	Lodos Activados	2	1.5	Acuífero	Fraccionamiento Playa Blanca		
Cozumel	San Miguel de Cozumel	San Miguel de Cozumel	Lodos Activados	125	100	Acuífero	CAPA	90 %	90 %
Felipe Carrillo Puerto	Felipe Carrillo Puerto	Fovisste (Francisco Villa)	Lodos Activados	5	1.35	Acuífero	CAPA	15 %	2 %

MUNICIPIO	LOCALIDAD	NOMBRE DE LA PLANTA	PROCESO DE OPERACIÓN	GASTO INSTALADO (LPS)	GASTO TRATADO (LPS)	CUERPO RECEPTOR O REUSO	OPERA	COBERTURA MUNICIPAL	
								ALCANTARILLADO	SANEAMIENTO
Isla Mujeres	Isla Mujeres	Isla Mujeres	Lodos Activados	30	23	Acuífero y descarga Marina (Demsias)	Aguakan	90 %	90 %
Othón P. Blanco	Chetumal	Foviste V etapa	Lodos Activados	2	0.2	Acuífero	CAPA	35 %	28 %
Othón P. Blanco	Chetumal	Santa Maria	Lodos Activados	4	0.2	Acuífero	CAPA		
Othón P. Blanco	Chetumal	Centenario	Lodos Activados	120	65	Superficial	CAPA		
Solidaridad	Playa del Carmen	Playa Car	Lodos Activados	130	50	Acuífero	Fidecaribe	33 %	28 %
Solidaridad	Playa del Carmen	Gonzalo Guerrero	Lodos Activados	45	45	Acuífero	CAPA	20 %	20 %
Solidaridad	Tulum	Villas Tulum	Digestor Anaerobio	1.5	0.6	Acuífero	CAPA		
Solidaridad	Chemuyil	Chemuyil	Estanque de Estabilización	8	2	Acuífero	CAPA	100 %	100 %
	Total	17 Plantas		1,667.5	1,307.35				

Fuente: CNA, 2004.

4.4 INFORMACIÓN SOBRE DESCARGAS DE AGUA RESIDUAL TRATADA

En la tabla 4.9 se puede observar que el volumen autorizado por la CNA para la descarga de aguas residuales de tipo municipal se ubican dentro del rubro Público Urbano, que corresponde a 11.77 millones de metros cúbicos, pero según esta misma institución, éste número no es el que en realidad se descarga, ya que puede variar, por el uso que le den los contribuyentes.

**Tabla 4.9** Volumen de descargas autorizado por CNA en Quintana Roo, 2004.

USOS	NUMERO DE DESCARGAS	VOLUMEN ANUAL (Millones de metros cúbicos)
Servicios	538	112.5710
Público Urbano	17	11.7700
Pecuario	25	0.2020
Múltiple	9	0.2660
Industrial	47	2.9300
Domestico	5	0.0004
<b>Total</b>	<b>641</b>	<b>127.7394</b>

Fuente: CNA, 2004.

Comparando la tabla 4.10 con la tabla 4.9, se observa que el volumen total de descargas de agua residual por institución en la tabla 4.10, no es igual al volumen de descargas autorizado considerado en la tabla 4.9.

Esto se debe a que en el registro de contribuyentes que se consultó en la página de Internet de CNA (<http://cna.gob.mx/eCNA/Espaniol/Directorio/Default.aspx>), no están dadas de alta todas las plantas de tratamiento que opera CAPA por que están registradas por la institución que las construyó y operó por algún tiempo; posteriormente fueron transferidas a CAPA para su operación y mantenimiento.

**Tabla 4.10** Volumen de descarga de agua residual tratada por institución, autorizado por CNA 2004.

INSTITUCIÓN	VOLUMEN DE DESCARGA (m <sup>3</sup> /año)
CAPA	36,407.84
FONATUR	22,522.00
<b>TOTAL</b>	<b>58,929.84</b>

Fuente: CNA, 2004.

#### 4.5 BALANCE DE AGUA POTABLE EXTRAIDA Y AGUA RESIDUAL TRATADA

Este balance se hará con la información proporcionada por el INEGI ya que es la más completa. Las tablas que se ocuparán son: la tabla 4.1 donde muestra el volumen promedio de agua extraído en el año 2003 y la tabla 4.7 que muestra el volumen de aguas residuales tratado en el mismo año.

El volumen promedio anual de agua potable extraído en el año 2003 fue de 111,507,500 m<sup>3</sup>.

El volumen anual de agua residual tratada en el año 2003 fue de 41,167,000 m<sup>3</sup>.

Del agua total que se extrae, se estima que el 34.5% (38,470,087.5 m<sup>3</sup>) se desperdicia en fugas de la tubería y sólo el 65.5 % (73,037,412.5 m<sup>3</sup>) llega a las casas.

Del volumen que llega a las casas (73,037,412.5 m<sup>3</sup>), el 20% (14,607,482.5 m<sup>3</sup>) se utiliza para actividades domésticas como riego y lavado, quedando un 80% (58,429,930 m<sup>3</sup>) que corresponde al agua residual que llega a las plantas de tratamiento.

Del agua residual calculada, sólo se está tratando el 70.45% faltando de tratamiento el 29.55%.

**Observaciones:**

Se pudo ver que el gasto de agua potable extraída durante el año 2003 que reporta CAPA y el gasto que reporta INEGI para el mismo año se asemejan en sus valores por una diferencia de 2 millones de m<sup>3</sup> de agua.

También se observa que existe una diferencia importante entre los valores de agua residual tratada presentados por INEGI y CAPA.

La tabla 1.2 conformada con los valores de CAPA reporta un volumen de 565,662.84 m<sup>3</sup> de agua residual tratada para los municipios de Othón P. Blanco, Felipe Carrillo Puerto, Solidaridad y Cozumel, mientras que la tabla 4.7 reporta datos del INEGI, y muestra un volumen de 8,275,000.00 m<sup>3</sup> para los mismos municipios; así que la diferencia de agua residual tratada que excede los registros de CAPA es de 7,709,337.16 m<sup>3</sup>.

Cabe mencionar que el balance se obtuvo con los registros oficiales de INEGI que a su vez les proporcionó CNA y se observa que no hay relación directa entre CAPA y CNA y que cada institución tiene sus registros.

En este balance también debe considerarse que no fueron tomadas en cuenta las descargas a fosa séptica, ni las descargas clandestinas.

#### 4.6 CASOS DE ESTUDIO DE IMPACTOS EN QUINTANA ROO

A continuación se presenta en la tabla 4.11 algunos artículos que se consultaron en Revistas, Tesis e Internet para mostrar el impacto ambiental que ocasionó la mala planeación y construcción de las ciudades y los desarrollos turísticos del estado como: Cancún, Chetumal, Riviera Maya y Mahahual. Aunado a esto se suma la alta explosión demográfica, producto de la migración de personas a estas ciudades, lo que ocasionó la descarga de contaminantes al suelo, por no proporcionarse a tiempo los servicios sanitarios a la misma velocidad que la inmigración.

**Tabla 4.11** Principal problemática e impacto a los cuerpos de agua por la descarga de aguas residuales en distintas localidades de Quintana Roo.

TITULO	PROBLEMÁTICA	IMPACTO
<p><u>Impacto medioambiental en Cancún Quintana Roo, México</u> (<a href="http://www.unesco.org/csi/wise/cancun1_s.htm">http://www.unesco.org/csi/wise/cancun1_s.htm</a>)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se construyeron carreteras elevadas para conectar los islotes que conformaban la laguna a las canteras en el continente. Para ahorrar dinero se maximizó la construcción de carreteras elevadas y se minimizó la construcción de puentes.</li> <li>Se construyeron plantas de tratamiento de aguas residuales en la isla al lado de la laguna, y el alcantarillado de</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Las carreteras elevadas restringieron el flujo de agua marina a la laguna, afectando inmediatamente la circulación de agua.</li> <li>Se descubrió que algunos hoteles y centros comerciales conectaban su drenaje de evacuación de aguas residuales al alcantarillado de evacuación de aguas de lluvia. El mismo procedimiento delictivo fue practicado por otros, que también dirigieron las aguas residuales al alcantarillado de aguas de lluvia.</li> </ul>

TITULO	PROBLEMÁTICA	IMPACTO
	<p>evacuación de aguas de lluvia se construyó para vertirse sobre la laguna.</p>	
<p><u>Evaluación rápida de los arrecifes parche de Majahual, Quintana Roo, México</u> (<a href="http://rbt.ots.ac.cr/revistas/48-1/zoobasti.htm">http://rbt.ots.ac.cr/revistas/48-1/zoobasti.htm</a>)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los arrecifes coralinos del Atlántico presentan un fenómeno en común: se están "transformando" en arrecifes algales (Lapointe 1989);</li> <li>• Majahual se encuentra en un acelerado proceso de transformación desde hace por lo menos diez años por la inversión en infraestructura turística que se ha ido incrementando en el sur del estado. Actualmente el arrecife frente a esta localidad, que forma parte de la "Barrera Arrecifal Mesoamericana", representa un atractivo menor a los visitantes del que pudo haber tenido hace 10-12 años.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ha influido el aumento de las descargas de sedimentos y materia orgánica en los sitios costeros utilizados por el hombre, que ha elevado la cantidad de nutrimentos disponibles para las algas, (Lang et al. 1998).</li> <li>• El estudio demostró que existe deterioro del arrecife por la extensa cobertura de coral muerto que comenzó hace aproximadamente 12 años. Se encontró una alta cobertura de algas filamentosas que es un indicador del enriquecimiento de nutrimentos producido por contaminación orgánica y/o resuspensión de sedimentos.</li> </ul>
<p><u>Degradación</u> (<a href="http://www.semarnat.gob.mx/regiones/laguna-">http://www.semarnat.gob.mx/regiones/laguna-</a></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El intenso desarrollo urbano y de infraestructura turística experimentado en la zona de Cancún a partir de los años 70's</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En los arrecifes de la Costa Occidental de Isla Mujeres, Punta Cancún y Punta Nizuc se ha provocado un deterioro creciente que de no</li> </ul>

TITULO	PROBLEMÁTICA	IMPACTO
nichupte/degradacion. shtml)	ha significado una importante transformación y afectación de los ecosistemas naturales.	contenerse puede provocar un daño irreversible en este ecosistema. <ul style="list-style-type: none"> <li>• El Sistema Lagunar Nichupté, especialmente las lagunas Bojórquez y Caleta, presentan problemas preocupantes de eutroficación, que se traducen en impactos negativos para la actividad turística.</li> </ul>
<u>Manati</u> ( <a href="http://agora.ya.com/amacweb/manati.html">http://agora.ya.com/amacweb/manati.html</a> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Una de las mayores amenazas para la supervivencia de manatíes lo constituyen los altos niveles de contaminación de los cuerpos de agua, tanto en el manto freático como superficiales. Los ríos, a lo largo de su recorrido hacia el mar, reciben aguas negras provenientes de los asentamientos humanos, con contenido de toda clase de materiales contaminantes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Existe afectación en la calidad del agua en general en las aguas someras del litoral matando los pastos marinos y otras plantas acuáticas de las cuales los manatíes y otras especies se alimentan.</li> <li>• La amenaza tiende a incrementarse conforme avanza la mancha urbana y en tanto no se tomen medidas efectivas para evitarlo. Siendo motivo de preocupación el que el Manatí pueda extinguirse.</li> </ul>
<u>Ecoturismo en México: Arrecifes Coralinos</u> ( <a href="http://www.ci.ulsu.mx/revista/rev21/">http://www.ci.ulsu.mx/revista/rev21/</a> )	Los arrecifes coralinos recientemente fueron afectados por la decoloración o blanqueo, que implica la pérdida de las algas llamados <i>zooxanthellas</i> , que	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los corales decolorados son difícilmente regenerados, un arrecife toma varios años para recuperarse y, subsecuentemente, la reparación total se convierte en algo imposible.</li> </ul>

TITULO	PROBLEMÁTICA	IMPACTO
8ecoturismo.pdf)	<p>contienen pigmentos que le dan color al coral. La causa de este hecho es, en gran medida, desconocida. Los principales acercamientos llevan a la contaminación, al calentamiento global y a la radiación ultravioleta como posibles orígenes, sin embargo no se tiene total seguridad de que sea alguna de ellas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro, presenta problemas de blanqueo de corales.</li> <li>• El Parque Nacional Arrecifes de Cozumel, presenta degradación de las estructuras coralinas, reducción de la biodiversidad, contaminación del agua y pérdida de hábitat originada por la elevada afluencia turística.</li> </ul>
<p><u>Evaluación del estado de condición en arrecifes del Caribe Mexicano aplicando el método AGRRA*</u> (<a href="http://www.geocities.com/leeac_cinvestav/agrra.htm">http://www.geocities.com/leeac_cinvestav/agrra.htm</a>)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Con la excepción de la Reserva de la Biósfera de Sian Ka'an la integridad de los recursos arrecifales de las costas de Quintana Roo están siendo seriamente dañados debido a la gran expansión del desarrollo costero. La calidad del agua es baja en la zona costera cercana a los grandes centros turísticos.</li> <li>• Se realizó un estudio de las comunidades coralinas dentro del estado de Quintana Roo, aplicando el método</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los porcentajes de mortalidad reciente y antigua mostraron intervalos bajos, presentándose los valores más altos en localidades hacia el sur del área de estudio (Mahahual – mortalidad reciente, Xcalak - mortalidad antigua).</li> <li>• La enfermedad coralina con mayor incidencia fue White Band (WB), teniendo una tendencia a mostrar los valores máximos hacia localidades del norte y las mínimas o ausente hacia las localidades del sur. Black Band (BB) se registró sólo en cuatro localidades (Punta Allen, Tampalam, El Placer y</li> </ul>

TITULO	PROBLEMÁTICA	IMPACTO
	<p>AGRRA*, dentro de una área que comprende zonas de influencia de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an y del proyecto de desarrollo turístico denominado "Proyecto Turístico Ecológico Costa Maya" (Daltabuit 1999). Los sitios muestreados se ubicaron tanto dentro de la Reserva de la Biosfera de Sian Ka'an (4 sitios), como fuera de la misma (4 sitios).</p>	<p>Xcalak). Los mayores porcentajes de colonias pálidas o blanqueadas parcialmente, se presentaron únicamente entre Mahahual e Xcalak, pero siendo en la primera donde se mostraron los valores máximos (35.1%) con blanqueamiento parcial y la única localidad donde se observó blanqueamiento total (3.5% de colonias).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• De manera comparativa, los sitios ubicados dentro de la reserva mostraron mayor número de especies de peces respecto a los sitios fuera de la reserva.</li> </ul>
<p><u>Efectos del material orgánico y la distribución de coliformes fecales en la Bahía de Chetumal, Quintana Roo, México.</u> (Ortiz et al, 1997).</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La ciudad de Chetumal se localiza en la costa este de la Bahía, cerca de la boca del Río Hondo. La zona urbana abarca casi 10 km de litoral, y mucha agua residual de la vieja sección de la ciudad es conducida y vertida en la Bahía, a través de un sistema de alcantarillado pluvial sin previo tratamiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La fuente más importante de la contaminación del agua fue atribuida a las descargas de agua residual.</li> <li>• Las densidades de Coliformes fecales fueron más altas en las muestras tomadas cerca de la descarga y la densidad bajaba mientras más lejos se encontraba de la descarga.</li> <li>• El área más contaminada es usada por el</li> </ul>

TÍTULO	PROBLEMÁTICA	IMPACTO
		<p>público para nadar y para actividades recreativas; esto puede resultar en un problema público de salud, porque la concentración de coliformes fecales se encuentra por encima del límite establecido por la legislación mexicana.</p>
<p><u>Detergentes domésticos como factor contaminante en la zona urbana de la Bahía de Chetumal. Quintana Roo, México.</u> (Ortiz et al. 1996).</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los componentes de las aguas residuales domésticas son muy variados y constituyen cerca del 50% del aporte del fósforo al medio. Entre las fuentes principales de fósforo se encuentran los detergentes sintéticos cuyo uso se generalizó a partir de los años cuarenta. Además del fósforo, los elementos nutritivos provenientes de aguas de desecho estimulan el crecimiento de las algas y en casos extremos, los cuerpos receptores se llegan a cubrir con masas de materia vegetal.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La bahía de Chetumal es receptora de aguas residuales urbanas que contienen agentes contaminantes como detergentes, reflejándose en los valores de ortofosfatos. A mayor distancia de los puntos de aporte las concentraciones de detergentes y ortofosfatos decrecieron, especialmente a 50 y 100 m. Sin embargo, a esas distancias los valores registrados sobrepasaron ligeramente el máximo permisible establecido en los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua que es de 0.1 mg/l para detergentes y de 0.002 mg/l de ortofosfatos.</li> </ul>

TITULO	PROBLEMÁTICA	IMPACTO
<p><u>Monitoreo de la contaminación de la Bahía de Chetumal.</u> (Ortiz et al. 1995)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La presencia de diversos compuestos en las aguas naturales se debe a procesos normales y no es posible eliminarlos, pero la calidad del agua puede ser afectada negativamente por adición de impurezas derivadas de las actividades humanas.</li> <li>• Algunos agentes contaminantes en el área de influencia urbana de la Ciudad de Chetumal fueron detectados y mostraron un efecto de dilución al alejarse de las descargas. Por otro lado, la influencia del Río Hondo en algunos parámetros analizados fue notable en su comportamiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las aguas acarreadas a la Bahía de Chetumal a través de la red pluvial contienen agentes contaminantes de origen urbano.</li> <li>• Los aportes de contaminantes a través de las descargas incrementaron las concentraciones de los nutrientes <math>\text{NO}_3^-</math>, <math>\text{NO}_2^-</math>, y <math>\text{PO}_4^{3-}</math> (como ortofosfatos), influenciados por las diversas actividades de la población.</li> <li>• Las descargas constituyeron los puntos más importantes de aporte de carga orgánica al registrar los valores más altos de <math>\text{DBO}_5</math> y de incremento en la densidad de coliformes.</li> <li>• Los valores de DQO y de materia orgánica en sedimentos fueron influenciados por aportes del Río Hondo.</li> </ul>
<p><u>Flora béntica y contaminación en la Bahía de Chetumal.</u> (Quan et al, 2000).</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Frente a la parte urbana de la Bahía se han registrado diferentes especies de los géneros Enteromorpha, Ulva y Polisiphonia, las cuales en otras zonas del</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Un aspecto importante para las colectas de 1999 fue que sólo en las estaciones 1 y 4 se presentaron especies de Enteromorpha.</li> <li>• En la estación 1, frente a la bahía de</li> </ul>

TITULO	PROBLEMÁTICA	IMPACTO
	<p>mundo se han reportado como especies indicadoras de contaminación orgánica.</p>	<p>Chetumal el origen de materia orgánica es por contaminación de descargas municipales y para la 4 por procesos naturales por la descomposición de material proveniente de la Laguna Guerrero.</p>
<p><u>Evaluación de los poliquetos neréididos como bioindicadores en la Bahía de Chetumal, Quintana Roo.</u> (González et al, 2001). <u>Evaluación de los poliquetos Neréididos, Nereis sp. y Laeonereis culveri (Webster, 1879), como bioindicadores del contenido de materia orgánica en la Bahía de Chetumal, Quintana Roo.</u> (González, 2001)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Varias especies de poliquetos, especialmente los neréididos, se han usado para monitoreo o bioensayo.</li> <li>• El macrobentos ha destacado para la detección y monitoreo del efecto biológico de la contaminación debido a la importancia en la cadena trófica, estrecho contacto con los sedimentos contaminados, forma sedentaria y ciclo de vida que le permite integrar el estrés sobre el tiempo. (González et al. 2000).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El contenido de materia orgánica fue significativamente diferente en los sitios estudiados siendo mayor frente a la Bahía de Chetumal lo cual corresponde al sitio con mayor impacto.</li> <li>• Se considera que las dos especies tienen atributos que pueden usarse como bioindicadores del contenido de materia orgánica: la densidad de Nereis sp. y, la densidad y biomasa de L. culveri. El grado de sensibilidad para cada especie es diferente, debido a sus hábitos alimenticios y hábitat. (González, 2001).</li> </ul>
<p><u>Variación espacial y temporal de los mejillones</u></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En la bahía de Chetumal se encontraron dos especies de mejillones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mytilopsis sallei fue más abundante en el punto frente a la ciudad de Chetumal y Brachidontes</li> </ul>

TITULO	PROBLEMÁTICA	IMPACTO
<u>Mytilopsis sallei</u> (Récluz, 1849) y <u>Brachidontes exustus</u> (Linné, 1758) y <u>utilidad como indicadores de contaminación orgánica en la Bahía de Chetumal, Quintana Roo.</u> (Llanes, 2002).	adheridos a las superficies de las rocas, <u>Mytilopsis sallei</u> y <u>Brachidontes exustus</u> , su distribución es afectada por la zona urbana de Chetumal.	exustus sólo se encontró en Luis Echeverría por lo que se considera que <u>M. sallei</u> es una especie resistente a los aportes tanto de las descargas residuales como las del Río Hondo mientras que la otra es sensible por lo tanto su ausencia en la primera estación.
<u>Detergentes y Ortofosfatos provenientes de descargas urbanas a la Bahía de Chetumal, Quintana Roo, México.</u> (Ortiz et al. 1997)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Una alta proporción de fosfatos proviene del drenaje doméstico que se vierte directamente dentro del ambiente acuático que induce crecimiento y reproducción de algas verdes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La más alta concentración de detergentes fueron registrados en las descargas, con un rango que va de 0.08 a 2.86 mg/l, decreciendo cuando incrementa la distancia desde la línea de costa. La prueba ANOVA** indicó que las concentraciones de detergente fueron significativamente elevadas en las descargas y a un metro, comparado con aquellas obtenidas a 50 y 10 metros.</li> </ul>
<u>Características de la calidad del agua en el sistema lagunar Nichupté:</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se detectó en la estación 9 un máximo de 11,770 col. fec; en la estación 4 un valor de 2,210 col. fec y en la estación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• De acuerdo a los Criterios Ecológicos de Calidad de Agua y en base a los resultados obtenidos, se considera que en la laguna Bojórquez</li> </ul>

TITULO	PROBLEMÁTICA	IMPACTO
<p><u>Contaminación de origen antropogénico.</u> (Chablé, 1994)</p>	<p>16 un valor de 1,264 col. fec, rebasando así el criterio máximo permisible de 200 coliformes fecales por 100 ml, recomendado por la Environmental Protection Agency. (EPA).</p>	<p>y en la laguna del Amor se debe restringir su uso para fines recreativos con contacto primario hasta que se encuentren los medios para su recuperación.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El sistema lagunar Nichupté se considera propicio para protección de vida acuática.</li> </ul>
<p><u>Estudio y análisis de la polución marina en la Bahía de Chetumal, por medio de la evaluación de técnicas para la determinación de ortofosfatos.</u> (Pérez, 1999).</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La causa principal de las condiciones de eutrofización y anoxia en las aguas es el aumento de contaminantes tales como: nutrientes, materia orgánica y metales pesados; tales contaminantes llegan como descargas pluviales, drenajes clandestinos de aguas residuales y de aguas naturales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las principales fuentes de impacto a la Bahía son: las descargas antropogénicas ininterrumpidas del Muelle Fiscal, el fraccionamiento Brisas y el canal de la colonia industrial, los santuarios de aves, y los aportes del río Hondo.</li> <li>• Existe un claro decrecimiento en el oxígeno disuelto del agua, por la acumulación de materia orgánica.</li> <li>• Las sustancias que contienen fósforo como abonos químicos y detergentes, provocan la proliferación de algas y bacterias.</li> </ul>

\* AGRRA: Atlantic Gulf Rapid Reef Assessment.

\*\* ANOVA: Analysis of variance.

#### **4.7 PROGRAMA INTEGRAL DE PLAYAS LIMPIAS**

En abril de 2003 se inició el Sistema Nacional de Información sobre la Calidad del Agua en Playas Mexicanas mediante el esfuerzo conjunto de las Secretarías de Marina, Medio Ambiente, Salud y Turismo. A lo largo de ese año se logró sistematizar y homogeneizar los monitoreos del agua de mar, de acuerdo a los criterios descritos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para las aguas de mar de contacto recreativo.

Actualmente, son los Laboratorios Estatales de Salud, siguiendo los lineamientos emitidos por la Secretaría de Salud y en coordinación con ésta, quienes realizan los muestreos y análisis del agua en cada uno de los 17 estados costeros de México. Las playas que se presentan son las que están integradas al sistema de monitoreo por ser las más concurridas, conforme el sistema se vaya ampliando se incluirán otras playas.

A continuación se presenta la calidad del agua de las playas de Quintana Roo que se encuentran dentro de este programa consultadas en la página de Internet de la SEMARNAT.

([http://www.semarnat.gob.mx/wps/portal/.cmd/cs/.ce/155/.s/3520/\\_s.155/3512.](http://www.semarnat.gob.mx/wps/portal/.cmd/cs/.ce/155/.s/3520/_s.155/3512.)).

El valor que se toma como limite es de 500 enterococos NMP/100ml y el riesgo sanitario empieza cuando se supera este valor. Cuando es menor de este valor, no representa riesgo para la salud.

La tabla 4.12 muestra que en la playa Punta Nizuc de la ciudad de Cancún se encuentra el valor más alto de contaminación por Enterococos, en el mes de septiembre de 2004, pero aún no es riesgoso para la salud, y hay que tenerlo muy presente para evitar cualquier tipo de descarga de contaminación que lo pueda alterar.

Tabla 4.12 Calidad bacteriológica del agua de mar de Cancún, 2004.

PLAYA	ENTEROCOCOS (NMP/100 ml)							
	FEB.	MARZO		MAYO	JUNIO	JULIO	AGO.	SEPT.
	03	02	09	04	01	06	03	07
Punta Nizuc (1)	10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	265
Delfines	<10	<10	<10	<10	<10	10	<10	<10
Ballenas*	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Marlín*	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	10
Caracol*	<10	<10	<10	10	<10	<10	<10	<10
Tortugas	<10	<10	<10	<10	<10	<10	10	31
Langosta	10	<10	<10	<10	<10	10	92	<10
Las Perlas	<10	<10	<10	<10	<10	<10	20	<10

\* Estación nueva considerada por la elevada afluencia turística.  
(1) Antes Río Nizuc.

Fuente: <http://www.semarnat.gob.mx>

En la tabla 4.13 no se observa ningún valor elevado del límite considerado de enterococos para las playas de la ciudad de Cozumel.

Tabla 4.13 Calidad bacteriológica del agua de mar de Cozumel, 2004.

PLAYA	ENTEROCOCOS (NMP/100 ml)								
	MARZO		MAY.	JUNIO		JUL.	AGO.	SEP.	OCT.
	02	09	11	01-08	22	13	10	14	12
Playa Bonita	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	S/R*	<10
Mirador	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	S/R*	<10
Bosch	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	S/R*	<10
Rastas	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	S/R*	<10

PLAYA	ENTEROCOCOS (NMP/100 ml)								
	MARZO		MAY.	JUNIO		JUL.	AGO.	SEP.	OCT.
	02	09	11	01-08	22	13	10	14	12
Nachicocom	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	S/R*	<10
Sol	<10	<10	<10	<10	<10	10	10	S/R*	10
San Francisco	<10	<10	31	10	<10	10	10	31	10
Chankanaab	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	20	<10
Dzul-Ha	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Paraíso	<10	<10	<10	<10	10	<10	<10	31	<10
Centro	<10	<10	<10	<10	<10	31	31	20	<10
Las Casitas	<10	<10	<10	<10	10	<10	<10	<10	<10

\* S/R: Sin registro

Fuente: <http://www.semarnat.gob.mx>

En la tabla 4.14 se observa que se registró un valor elevado en el mes de mayo de 2004, pero en los meses siguientes se regularizó. En la página de Internet ([http://www.semarnat.gob.mx/wps/portal/.cmd/cs/.ce/155/.s/3520/\\_s.155/3512.](http://www.semarnat.gob.mx/wps/portal/.cmd/cs/.ce/155/.s/3520/_s.155/3512.)) tienen una nota como explicación de estos valores que despuntan y dice que los resultados pueden afectarse sensiblemente durante la temporada de lluvias debido al arrastre de materiales de la costa.

**Tabla 4.14** Calidad bacteriológica del agua de mar de la Riviera Maya, 2004.

PLAYA	ENTEROCOCOS (NMP/100 ml)							
	FEB.	MARZO		MAYO	JUNIO	JULIO	AGO.	SEP.
	03	02	09	04	01	06	03	07
Puerto Morelos	10	41	41	<10	233	20	<10	<10

PLAYA	ENTEROCOCOS (NMP/100 ml)							
	FEB.	MARZO		MAYO	JUNIO	JULIO	AGO.	SEP.
	03	02	09	04	01	06	03	07
Playa del Carmen (1)	sin registros			<10	10	20	<10	<10
Playa del Carmen (2)	sin registros			<10	<10	<10	<10	<10

(1) Antes Playa Chunzubul

(2) Antes Balneario Porto Real

Fuente: <http://www.semarnat.gob.mx>

La misma página de Internet dice que estos microorganismos nocivos (Enterococos) provienen de efluentes de aguas residuales entre otros y que la mezcla con el agua de mar puede representar un riesgo para el bañista, ya que una dosis infecciosa de los microorganismos puede transmitirse no sólo al tragar agua sino al entrar ésta en contacto con la piel, los oídos, ojos, cavidad nasal o tracto respiratorio superior.

([http://www.semarnat.gob.mx/wps/portal/.cmd/cs/.ce/155/.s/3520/\\_s.155/3512.](http://www.semarnat.gob.mx/wps/portal/.cmd/cs/.ce/155/.s/3520/_s.155/3512.)).

También menciona que la natación en aguas insalubres puede producir enfermedades menores, tales como irritación de la piel, infecciones en oídos, ojos y aparato respiratorio, malestar estomacal y hasta diarrea a causa de infecciones gastrointestinales. También puede provocar enfermedades más graves, que podrían durar más tiempo, si las infecciones son de carácter viral como la hepatitis.

**CAPITULO V****CONCLUSIONES**

Este trabajo es una investigación acerca de la situación del tratamiento de aguas residuales utilizado en Quintana Roo. Se observó que existen dieciocho plantas de tratamiento, de las cuales quince tratan aguas residuales domésticas y las tres restantes tratan aguas de la zona turística de Cancún recibiendo agua de los hoteles que no tienen su propia planta de tratamiento. La mayoría de estas plantas usan el proceso biológico de lodos activados.

Se pudo ver que la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado (CAPA) tiene mucho trabajo por hacer para suministrar drenaje (por lo menos el 80% de cobertura) y planta de tratamiento a las principales ciudades del estado, ya que como se mostró en el capítulo IV solo existen plantas en 9 ciudades de las 20 que ya deberían contar con el servicio.

De hecho en la ciudad de Felipe Carrillo Puerto en donde se suministró el primer sistema de agua potable, sólo existe una planta de tratamiento para una zona habitacional (Fovissste) y el resto de la ciudad no cuenta con el servicio de alcantarillado y saneamiento.

También se ha descuidado a la ciudad de Chetumal, Capital del estado, que aunque tiene un proyecto de ampliación de la planta de tratamiento Centenario que puede tratar toda el agua residual producida, aún carece del suministro de drenaje en varias colonias.

De acuerdo con INEGI (2002), las ciudades de Chetumal, Cozumel y Cancún cuentan parcialmente con el servicio de alcantarillado. Si comparamos con la tabla 4.8 proporcionada por CNA, existe cierta discrepancia en esta afirmación.

## CAPÍTULO 5

Esto podría justificarse por el acelerado crecimiento poblacional del estado debido a la inmigración de personas que ocasiona el turismo; pero aún así, existen ciudades importantes que no tienen alcantarillado, ni planta tratamiento de aguas residuales como Tulum y Mahahual que a pesar de no estar en la tabla 4.6 con población mayor a 2,500 habitantes, en estos últimos 4 años después del censo general de población y vivienda, 2000, han tenido un crecimiento acelerado y descontrolado por ocupar sólo la rivera de Quintana Roo principalmente.

De acuerdo con la tabla 3.1, las ciudades de Tulum y Mahahual tienen planta de tratamiento. Pero la planta de Tulum no da servicio a la mayor parte de población, sino a un pequeño fraccionamiento llamado Villas Tulum. De hecho la planta de Tulum no estaba funcionando hasta el año 2003 y este año funcionaba con ciertas irregularidades, poniéndose al corriente el año 2004. Y la Planta de Mahahual solo da servicio a la población ya establecida formalmente, quedando descuidadas las colonias con asentamiento irregular por la migración.

De acuerdo con el Sistema Estatal de la Planeación de la Inversión (punto 2.3 del capítulo II), los proyectos que se encuentran para realizarse este año, sólo son para Riviera Maya, Cozumel, Cancún y Chetumal ya que son las ciudades más importantes del estado por concentrar la mayor cantidad de población y ser de importancia turística. Con esto se observa que no se considera una planificación para los municipios de José María Morelos y Lázaro Cárdenas.

Actualmente CAPA esta implementando un nuevo tipo de planta de tratamiento para comunidades rurales, llamado Reactor Anaerobio con dos Cámaras que fue diseñado modificando el principio de fosa séptica (mostrado en el punto 3.7 del capítulo III), estos son prototipos que se han puesto en marcha debido a las limitaciones de tipo económico en esta institución, ya que no se contaba con el dinero suficiente para financiar plantas de tratamiento con otro proceso (por ejemplo: lodos activados) y tuvieron que optar por un concepto más práctico. Se espera que estas tengan una eficiencia aceptable ya que se hicieron los cálculos teóricos

correspondientes. Las plantas de Reactor Anaeróbico con dos Cámaras se encuentran en las siguientes comunidades:

- Subteniente López (etapa de arranque)
- Huay-pix (etapa de construcción)
- Akumal (etapa de arranque)
- Puerto Aventuras (etapa de arranque)
- Hol-box (etapa de arranque)

Estas plantas no fueron consideradas en éste trabajo debido a que todavía no están operando, y se espera que inicien a operar para finales del 2005, junto con la planta Saastun-Ja en Playa del Carmen con el principio de lodos activados, que también se encuentra en etapa de arranque.

De acuerdo con Hernández (1992), la preocupación por la contaminación de las aguas puede sintetizarse en algunos efectos producidos tales como:

- Destrucción de los limitados recursos hidráulicos.
- Disminución de la calidad de agua para abastecimiento de población, o uso para riego o industria. Todos estos usos tienen sus limitaciones cualitativas
- Supresión del poder autodepurador de los cauces receptores con destrucción de su fauna y flora, imposibilitando o dificultando al menos, su utilización.

Lo anterior se puede constatar con la investigación de la bibliografía existente de estudios que se han hecho y se ha encontrado que la descarga de aguas residuales domésticas sin previo tratamiento ha causado grandes impactos en Quintana Roo.

En la tabla 5.1 se resumen algunos impactos ambientales encontrados en las principales ciudades de Quintana Roo.

**Tabla 5.1** Principales impactos ambientales por la descarga de aguas residuales sin previo tratamiento.

CIUDAD	IMPACTO
Chetumal	<p>Contaminación de la Bahía de Chetumal por coliformes fecales, fósforo como ortofosfatos provenientes de detergentes, nitratos y nitritos.</p> <p>Se encontraron valores altos de DBO<sub>5</sub> que indican contaminación por materia orgánica.</p> <p>Se encontraron especies bioindicadoras de contaminación (Ver tabla 4.11.)</p> <p>El deterioro en la calidad de agua de la Bahía de Chetumal afecta a pastos marinos y plantas acuáticas que son fuente alimenticia de los Manatíes.</p> <p>Se encontró que el río Hondo también se encuentra contaminado por materia orgánica además de altos valores de DQO que indican contaminación por materia inorgánica.</p>
Mahahual	<p>Existe deterioro del arrecife, existen colonias pálidas o blanqueadas parcialmente.</p> <p>Los arrecifes de corales se están transformando en arrecifes algales por aumento en la materia orgánica.</p>
Xcalak	<p>También se ha encontrado blanqueo de corales pero en menor grado que en Mahahual.</p>
Cancún	<p>Se encuentra afectada la laguna Nuchupté por el bloqueo de la circulación de agua y por descargas de aguas residuales de algunos hoteles.</p> <p>Se han detectado valores altos de coliformes fecales.</p> <p>Las lagunas Bojórquez, Caleta, y del Amor presentan problemas preocupantes de eutrofización.</p> <p>Los arrecifes de punta Cancún y punta Nizuc presentan deterioro.</p>

CIUDAD	IMPACTO
Isla Mujeres	La costa occidental de Isla Mujeres presenta deterioro de arrecifes.
Cozumel	El Parque Nacional Arrecifes de Cozumel, presenta degradación de las estructuras coralinas, reducción de la biodiversidad, contaminación del agua y pérdida de hábitat originada por la elevada afluencia turística.
Banco Chinchorro	La Reserva de la Biosfera Banco Chinchorro, presenta problemas de blanqueo de corales.

Fuente: Tabla 4.11 del Capítulo IV.

En la tabla 5.1 se puede ver que el desarrollo en estas ciudades es preocupante por la acelerada urbanización y esto trae como consecuencia un alto costo ambiental.

Analizando los impactos ambientales registrados en la bibliografía existente, se observa que los impactos se reflejan más en los ambientes costeros, debido a que estos se caracterizan por una estrecha interacción entre los sistemas terrestres y marinos. Los primeros aportan al mar nutrientes, sedimentos y contaminantes, incluso los que se generan muchos kilómetros tierra adentro, mediante corrientes de agua dulce superficiales o subterráneas. También se suma a esto la contaminación por vía atmosférica (ej. plaguicidas).

(<http://www.jornada.unam.mx/1999/sep99/990927/eco-pag1.html>)

De acuerdo con lo anterior, se puede concluir que el grado de contaminación de una gran ciudad se puede medir y observar en sus ambientes costeros. Y como ya se mencionó, el acuífero de Quintana Roo es altamente vulnerable a la contaminación, debido a que el suelo es de tipo calcáreo y muy permeable. (Ver punto 4.7 del capítulo IV).

## BIBLIOGRAFÍA

- CAPA. 2003. Proyecto ejecutivo para el alcantarillado sanitario por vacío de la localidad de Hol-box, municipio de Lázaro Cárdenas, Quintana Roo. Coordinación de planeación y desarrollo. Programa: PROSSAPYS. pp. 36, 38.
- Chablé, C. F. 1994. *Características de la calidad del agua en el sistema lagunar Nichupté: Contaminación de origen antropogénico*. Participación en proyectos de investigación. Instituto Tecnológico de Chetumal. Chetumal, Quintana Roo. pp. 32, 47, 48.
- Degremont. 1979. *Manual técnico del agua*. 4ª. Artes gráficas Grijelmo SA, Uribitarte, Bilbao (España). pp. 4, 207.
- González, L.E. y S.I. Salazar. 2000. Evaluación de los poliquetos neréidos como bioindicadores en la Bahía de Chetumal, Quintana Roo. En: Salazar, S. Bioindicadores bénticos de la Bahía de Chetumal. Informe final SEMARNAP – ECOSUR. pp. 52, 53.
- González, L.E. 2001. *Evaluación de los poliquetos Neréidos, Nereis sp. y Laeonereis culveri (Webster, 1879), como bioindicadores del contenido de materia orgánica en la Bahía de Chetumal, Quintana Roo*. Tesis de licenciatura. Instituto Tecnológico de Chetumal. Chetumal, Quintana Roo. pp. 54, 57-62, 64.
- Hernández, A. 1992. *Depuración de aguas residuales*. 2ª. Colección Senior No.9, Colegio de ingenieros de caminos de canales y puentes, Servicio de publicaciones de la escuela de ingenieros de caminos de Madrid (U.P.M). pp 33, 34, 583.

- Llanes, C. A. 2002. *Variación espacial y temporal de los mejillones *Mytilopsis sallei* (Récluz, 1849) y *Brachidontes exustus* (Linné, 1758) y utilidad como indicadores de contaminación orgánica en la Bahía de Chetumal, Quintana Roo*. Tesis de licenciatura. Instituto Tecnológico de Chetumal. Chetumal, Quintana Roo. pp. 1, 72, 73.
- INEGI. 2000. XII Censo general de población y vivienda, 2000. Instituto Nacional de Estadística e Informática.
- INEGI. 2002. *Estudio hidrológico del estado de Quintana Roo*. 1ª. Instituto Nacional de Estadística e Informática, Gobierno del estado de Quintana Roo. pp. 30, 47.
- INEGI. 2004. *Anuario Estadístico, Quintana Roo*. 1ª. Instituto Nacional de Estadística e Informática, Gobierno del estado de Quintana Roo. pp. 8, 9, 68, 69.
- Metcalf y Eddy. 1996. *Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización, Tomo 1*. 3ª. Mc Graw Hill. pp. 436-439, 459-463, 487, 497-499.
- Ortiz, M. C. y R. Sáenz. 1995. Monitoreo de la contaminación de la bahía de Chetumal, Quintana Roo. Centro de investigaciones de Quintana Roo (CIQROO), Consejo nacional de ciencia y tecnología (CONACyT). pp. 24, 45.
- Ortiz, M. C. y R. Sáenz. 1996. Detergentes domésticos como factor contaminante en la zona urbana de la Bahía de Chetumal, Quintana Roo, México. *Avicennia*. 4/5: 65-75.
- Ortiz, M. C. y R. Sáenz. 1997. Detergents y Orthophosphates Inputs from urban Discharges to Chetumal Bay, Quintana Roo, México. *Environmental Contamination and Toxicology*. 59: 486-491.

- Ortiz, M. C. y R. Sáenz. 1997. Effects of organic material and distribution of fecal coliforms in Chetumal Bay, Quintana Roo, México. In: Wiersma, G. B. (Ed.). 1999. *Environmental Monitoring and Assessment. An international journal devoted to progress in the use of monitoring data in assessing environmental risks to man and the environment*. Volume 55. No. 3. pp 423 – 432.
- Pacheco, M. 2001. *Cerca de un manantial. El agua y el desarrollo de Quintana Roo*. 1ª. Instituto Quintanarroense de la cultura, CAPA, Gobierno del estado. pp. 15-17, 35-39, 49-54, 127- 130.
- Pérez, G. R. 1999. *Estudio y análisis de la polución marina en la Bahía de Chetumal, por medio de la evaluación de técnicas para la determinación de ortofosfatos*. Tesis de licenciatura. Universidad de Quintana Roo. Chetumal, Quintana Roo. pp. 1, 139 -141.
- Quan, L.I., G. Jiménez, y J. Espinoza. Flora béntica y contaminación en la Bahía de Chetumal. 2000. En: Salazar, S. Bioindicadores bénticos de la Bahía de Chetumal. Informe final SEMARNAP – ECOSUR. pp. 5, 22.
- Winkler M. A, y E Horwood. 1998. *Tratamiento biológico de aguas de desecho*. 5ª. Limiusa. p. 15.
- Xacur, J. A. *Enciclopedia de Quintana Roo*, Tomo 7. 1998. 1ª. Gobierno del estado de Quintana Roo. pp. 42, 59.

**INTERNET**

- 1.- [http://www.unesco.org/csi/wise/cancun1\\_s.htm](http://www.unesco.org/csi/wise/cancun1_s.htm). 21 de octubre de 2003, 20:10 hrs.
- 2.- <http://www.jornada.unam.mx/1999/sep99/990927/eco-pag2.html>. 21 de octubre de 2003, 20:30 hrs.
- 3.- <http://www.semarnat.gob.mx/regiones/laguna-nichupte/degradacion.shtml>. 28 de septiembre de 2004, 12:05 hrs.
- 4.- <http://agora.ya.com/amacweb/manati.html>. 29 de septiembre de 2004, 10:40 hrs.
- 5.- [http://www.geocities.com/leeac\\_cinvestav/agrra.htm](http://www.geocities.com/leeac_cinvestav/agrra.htm). 5 de octubre de 2004, 14:50 hrs.
- 6.- <http://www.ci.ulsal.mx/revista/rev21/8ecoturismo.pdf>. 11 de octubre de 2004, 21:30 hrs.
- 7.- <http://www.jornada.unam.mx/1999/sep99/990927/eco-pag1.html>. 28 de octubre 2004, 14:40 hrs.
- 8.- [http://www.semarnat.gob.mx/wps/portal/.cmd/cs/.ce/155/.s/3520/\\_s.155/3512](http://www.semarnat.gob.mx/wps/portal/.cmd/cs/.ce/155/.s/3520/_s.155/3512). 23 de noviembre de 2004, 13:40 hrs.

**ANEXO**

**OPERACIÓN DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

En las siguientes tablas se presenta las condiciones de operación de las plantas de tratamiento a cargo de CAPA y AGUAKAN. Se reunieron los datos disponibles de los últimos tres años (2001-2003), de los dos organismos operadores; todos estos datos fueron proporcionados por CAPA, debido a su concesión a la empresa AGUAKAN que es la encargada de ver agua potable y saneamiento en la parte norte del estado en los municipios de Benito Juárez e Isla mujeres. El resto de los municipios son responsabilidad de CAPA.

Los datos proporcionados son los siguientes:

- Gastos de operación
- Calidad de influentes y efluentes

Y se hace un análisis de estos datos proporcionados en cuanto a:

- Si se esta cumpliendo con la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, en cuanto a calidad de efluente tratado que se descarga al cuerpo de agua receptor, y.
- Cual es la eficiencia de remoción de los parámetros fisicoquímicos que se utilizan como determinantes de calidad de agua.

Los parámetros de calidad de agua medidos en las plantas de tratamiento son los siguientes:

pH, Temperatura, Coliformes fecales, Cianuros totales, DBO, Grasas y Aceites, Huevos de helminto, Materia flotante, Nitritos, Nitratos, Nitrógeno total Kjeldhal, Nitrógeno total, Fósforo total, Sólidos sedimentables, Sólidos suspendidos totales y DQO.

## **A.1 GASTO DE OPERACIÓN**

A continuación se presenta el gasto de operación anual por las plantas operadas por CAPA en los últimos 3 años.

En las tablas A.1, A.2, A.3 se puede observar que en los tres años registrados, algunas plantas han aumentado sus caudales de tratamiento por la ampliación en su cobertura de drenaje, pero en otras, no aumenta su caudal debido a que sólo tratan pequeños fraccionamientos con poco o ningún aumento de habitantes que puedan incrementar la aguas residuales.

De acuerdo con un experto de CAPA, existen variaciones importantes en los caudales debido a que la mayoría de las plantas de tratamiento no cuentan con equipo de medición de gasto, y si lo tienen, los medidores no están funcionando. Debido a éste problema, los operadores calculan el gasto de entrada y de salida de manera rudimentaria.

Tabla A.1 Gasto de operación de las plantas de tratamiento en (lps), año 2001.

PLANTAS DE TRATAMIENTO	ENERO	FEB.	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.
OTHON P. BLANCO												
Centenario	18,43	19,72	14,81	16,06	15,46	0	17,98	11,98	26,81	36,91	26,60	17,99
Santa Maria	0,25	0,26	0,24	0,25	0,24	0	0,24	0,24	0,25	0,24	0,25	0,24
Fovissste V etapa	0,17	0,18	0,16	0,17	0,16	0	0,16	0,16	0,17	0,16	0,17	0,16
Laguna de Oxidación	15,08	15,92	14,39	19,36	30,61	0	35,74	78,36	54,10	18,74	20,06	35,74
FELIPE CARRILLO PUERTO												
Fovissste	1,743	1,68	1,6875	0	0	1,62	0,9	0,9	0,9	1,35	1,35	1,35
SOLIDARIDAD												
Playa del Carmen	68,18	69,00	70	0	0	0	66,33	62,88	0	54,17	65,77	0
Cd. Chemuyil	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tulum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
COZUMEL												
Cozumel	0	0	0	0	135	0	97	95	125	100	98	100
BENITO JUAREZ												
Caribe 2000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Norte	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Corales	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zona Hotelera	0	0	0	705,80	705,62	684,85	705,11	704,87	717,59	708,18	759,08	719,82
Playa Blanca	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ISLA MUJERES												
Isla Mujeres	0	0	0	8,66	10,16	8,33	8,66	8,66	11	11,61	11,43	13,25

Tabla A.2 Gasto de operación de las plantas de tratamiento en (lps), año 2002.

PLANTAS DE TRATAMIENTO	ENERO	FEB.	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.
OTHON P. BLANCO												
Centenario	18,82	12,73	13,14	16,28	16,20	25,83	0	25,05	26,29	20,96	26,96	21,98
Santa Maria	0,25	0,24	0,24	0,25	0,23	0,24	0	0,25	0,24	0,25	0,25	0,24
Fovissste V etapa	0,17	0,16	0,16	0,17	0,15	0,16	0	0,17	0,18	0,19	0,18	0,15
Laguna de Oxidación	36,94	35,30	31,74	19,36	18,14	18,65	0	19,45	20,54	21,74	21	21,84
FELIPE CARRILLO PUERTO												
Fovissste	1,39	1,35	1,35	1,35	1,35	1,25	0	0	1,35	1,35	1,35	1,35
SOLIDARIDAD												
Playa del Carmen	68,2	66	64,05	65	57,01	69,47	0	0	0	0	0	59,08
Cd. Chemuyil	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tulum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
COZUMEL												
Cozumel	96,1	95	93	95,00	94	93,39	95	95,99	95,13	95,99	97,12	93,87
BENITO JUAREZ												
Caribe 2000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Norte	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Corales	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zona Hotelera	724,45	752,70	729,17	726,41	728,55	761,58	735,53	746,52	756,47	725,54	731,40	737,49
Playa Blanca	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ISLA MUJERES												
Isla Mujeres	10,15	12,85	11,612	16	15	15,40	15,48	15,48	16	15,48	16	15,49

Tabla A.3 Gasto de operación de las plantas de tratamiento en (lps), año 2003.

PLANTAS DE TRATAMIENTO	ENERO	FEB.	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.
OTHON P. BLANCO												
Centenario	18,93	28,92	28,14	32,93	31,55	20,74	63,29	67,99	65	61,99	68	63,99
Santa Maria	0,25	0,26	0,22	0,24	0,25	0,16	0,24	0,17	0,17	0,16	0,17	0,15
Fovissste V etapa	0,17	0,23	0,22	0,22	0,22	0,15	0,22	0,16	0,17	0,16	0,17	0,17
Laguna de Oxidación	32,80	34,18	32,65	32,92	17,06	0	0	0	0	0	0	0
FELIPE CARRILLO PUERTO												
Fovissste	1,39	1,35	1,35	1,35	0	1,29	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35
SOLIDARIDAD												
Playa del Carmen	57,86	0	0	36,21	49,22	39,94	41,26	44,36	46,10	42,08	44,91	43,05
Cd. Chemuyil	0	0	0	0	0	0	0	1,77	1,89	1,79	1,85	1,760
Tulum	0	0	0	0	0	0,41	0,44	0	0	0	0	0
COZUMEL												
Cozumel	100,23	0	91,6	94,03	100	95,99	97,99	94,99	96,1	60	95	95
BENITO JUAREZ												
Caribe 2000	159,59	126,74	119,70	169,86	173,25	166,15	0	0	0	193,15	182,69	113,32
Norte	229,54	237,88	226,70	205,30	228,69	220,58	0	0	0	257,56	246,30	220,66
Corales	31,23	37,23	35,85	37,50	33,755	35,48	0	0	0	23,97	24,18	22,19
Zona Hotelera	310	295,86	300	300	300	288,85	0	0	0	300	300	300
Playa Blanca	0,99	1,06	0,96	0,99	0,96	0,95	0	0	0	0	0	0
ISLA MUJERES												
Isla Mujeres	9,63	10,61	13,13	9,28	6,89	9,68	0	0	0	0	0	0

**A.2 CALIDAD DE INFLUENTES Y EFLUENTES DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO QUE OPERA AGUAKAN y CAPA**

En las siguientes tablas se presenta la calidad de Influentes y Efluentes de las plantas de tratamiento de CAPA y AGUAKAN, para su posterior análisis, en cuanto a su eficiencia de remoción y comparación con la Norma 001-ECOL-1996 para observar si están cumpliendo con los límites máximos permitidos en cuanto a su descarga de agua tratada.

**Tabla A.4** Influyente de las plantas de tratamiento que opera AGUAKAN, 2002.

PARAMETROS	UNID	NORTE	CARIBE	ISLA	PLAYA
pH	pH	7,08	7	7,5	6,99
Temperatura	°C	27,19	27,6	31,4	27,14
Coliformes fecales	NMP/100ml	*	*	*	*
Cianuros totales	mg/l	*	*	*	*
DBO	mg/l	194,7	737,1	306,5	108,6
Grasas y Aceites	mg/l	45,29	75,3		611,16
Huevos de helminto	mg/l	*	*	*	*
Materia flotante	mg/l	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Nitritos	mg/l	0,011	0,041	0,022	0,01
Nitratos	mg/l	0,15	0,2	0,04	0,11
Nitrógeno total kjeldhal	mg/l	38,639	75,367	77,896	30,132
Nitrógeno total	mg/l	38,8	75,61	77,96	30,25
Fósforo total	mg/l	8,765	33,741	11,071	5,527
Sólidos sedimentables	ml/l	2,1	30	1,9	0,5
Sólidos Susp. Totales	mg/l	200	1045	192,5	64
DQO	mg/l	440	1744	654,48	ND**

\* Parámetro no medido.

\*\* Valor no determinado en el análisis fisicoquímico.

Tabla A.5 Efluente de las plantas de tratamiento que opera AGUAKAN, 2002.

PARAMETRO	UNID	NORTE	CARIBE	ISLA	PLAYA
pH	pH	7,1	7,27	7,54	6,76
Temperatura	°C	27,51	27,36	30,38	27,61
Coliformes fecales	NMP/100ml	6	586	10	7
Cianuros totales	mg/l	0,0559	0,0102	0,0457	0,011
DBO	mg/l	7	94,2	23,7	61,7
Grasas y Aceites	mg/l	ND**	7,82	ND**	16,72
Huevos de helminto	mg/l	0	3	0	0
Materia flotante	mg/l	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Nitritos	mg/l	0,184	0,014	0,076	0,019
Nitratos	mg/l	2,32	0,14	0,16	0,15
Nitrógeno total kjeldhal	mg/l	13,614	65,254	63,482	35,799
Nitrógeno total	mg/l	16,11	65,4	63,71	35,97
Fósforo total	mg/l	5,111	8,17	1,464	4,186
Sólidos sedimentables	ml/l	ND**	ND**	ND**	0,4
Sólidos Susp. Totales	mg/l	3	92	40	57
DQO	mg/l	20	264	64,64	184,92

\*\* Valor no determinado en el análisis fisicoquímico.

Tabla A.6 Influyente de las plantas de tratamiento que opera AGUAKAN, 2003.

PARAMETRO	UNIDADES	NORTE	CARIBE	CORALES
pH	pH	7,51	7,41	7,7
Temperatura	°C	27,12	26,63	25,72
Coliformes fecales	NMP/100ml	*	*	*
Cianuros totales	mg/l	*	*	*
DBO	mg/l	122,6	382	402,6
Grasas y Aceites	mg/l	27,96	48,3	65,02
Huevos de helminto	mg/l	*	*	*
Materia flotante	mg/l	*	*	*
Nitritos	mg/l	0,044	0,059	0,039
Nitratos	mg/l	0,05	0,09	0,08
Nitrógeno total kjeldhal	mg/l	43,874	60,999	54,347
Nitrógeno total	mg/l	43,97	61,15	54,46

Fósforo total	mg/l	8,548	22,98	18,956
Sólidos sedimentables	ml/l	1	6,5	1,3
Sólidos Susp. Totales	mg/l	115	320	200
DQO	mg/l	285,6	1134,2	632,4

\* Parámetro no medido.

Tabla A.7 Efluente de las plantas de tratamiento que opera AGUAKAN, 2003.

PARAMETRO	UNIDADES	NORTE	CARIBE	CORALES
pH	pH	7,08	7,47	7,28
Temperatura	°C	25	25,6	24,78
Coliformes fecales	NMP/100ml	ND**	9	12
Cianuros totales	mg/l	0,0277	0,0415	0,0599
DBO	mg/l	23,3	75,1	39,9
Grasas y Aceites	mg/l	ND**	4,76	ND**
Huevos de helminto	mg/l	0	0	0
Materia flotante	mg/l	Ausente	Ausente	Ausente
Nitritos	mg/l	0,261	0,084	0,098
Nitratos	mg/l	3,48	0,08	0,2
Nitrógeno total kjeldhal	mg/l	11,667	49,166	38,995
Nitrógeno total	mg/l	15,41	49,33	39,29
Fósforo total	mg/l	5,071	12,806	2,326
Sólidos sedimentables	ml/l	ND**	ND**	ND**
Sólidos Susp. Totales	mg/l	4,66	40	28,75
DQO	mg/l	36,72	134,64	77,52

\*\* Valor no determinado en el análisis fisicoquímico.

**Tabla A.8** Influyente de las plantas de tratamiento que opera CAPA, Abril 2001.

PARAMETRO	UNIDADES	CENTENARIO	STA. MARIA	FOVISSTE V	CARRILLO	PLAYA	COZUMEL
pH	pH	7,665	7,6	7,735	7,683	7,56	7,745
Temperatura	°C	29,62	30,98	30,77	27,17	28,79	28,58
Grasas y Aceites	mg/l	59,01	112,79	78,23	11,6	100,45	121,06
Coliformes fecales	NMP/ 100ml	139793	917675	53109	108	9165151	1888450
DBO	mg/l	138,83	329,32	133,19	27,73	306	322,89
DQO	mg/l	392,85	821,43	607,14	249,99	398,57	859,37
Sólidos Susp. Totales	mg/l	265	450	260	55	487,5	455
Nitrógeno total	mg/l	15,721	10,702	5,078	2,11	10,413	16,899
Fósforo total	mg/l	0,609	0,487	0,89	1,25	0,59	1,99

**Tabla A.9** Efluente de las plantas de tratamiento que opera CAPA, Abril 2001.

PARAMETRO	UNIDADES	CENTENARIO	STA. MARIA	FOVISSTE V	CARRILLO	PLAYA	COZUMEL
pH	pH	8,09	8,125	8,215	8,18	7,735	7,715
Temperatura	°C	30,22	30,06	28,88	27,36	28,69	28,16
Grasas y Aceites	mg/l	10,88	14,65	5,21	0	127,76	34,68
Coliformes fecales	NMP/ 100ml	33	23	566	20	7172119	709,389
DBO	mg/l	5,49	6,9	6,91	2	323,4	80,75
DQO	mg/l	40,63	60,38	53,92	15,13	533,81	213,52
Sólidos Susp. Totales	mg/l	10,5	16,25	39,995	12	465	141,665
Nitrógeno total	mg/l	2,749	7,533	3,43	2,818	2,81	3,152
Fósforo total	mg/l	1,22	2,01	1,02	1,66	0,825	2,51

**Tabla A.10** Influyente de las plantas de tratamiento que opera CAPA, Octubre 2001.

PARAMETRO	UNIDADES	CENTENARIO	STA. MARIA	FOVISSTE V	CARRILLO	PLAYA	COZUMEL
pH	pH	7,363	7,857	7,967	7,522	7,515	7,338
Temperatura	°C	29,833	30,667	30,833	28,833	27,667	28,333
Grasas y Aceites	mg/l	17,551	55,349	60,12	13,425	48,959	76,58
Coliformes fecales	NMP/ 100ml	123375	10671	115586	123375	9116	115586
DBO	mg/l	42,93	254,15	250,13	100,8	171,44	47,59
DQO	mg/l	136,7	470,91	530,26	245,33	425,74	507,27
Sólidos Susp. Totales	mg/l	36	112,5	193,33	68,33	113,33	202,5
Nitrógeno total	mg/l	10,11	81,565	58,795	4,435	36,805	27,785
Fósforo total	mg/l	2,25	5,7	8,9	4,51	7,02	15,166

**Tabla A.11** Efluente de las plantas de tratamiento que opera CAPA, Octubre 2001.

PARAMETRO	UNIDADES	CENTENARIO	STA. MARIA	FOVISSTE V	CARRILLO	PLAYA	COZUMEL
pH	pH	7,338	7,592	8,035	7,817	7,652	7,807
Temperatura	°C	30,033	30,667	31	28,833	28,667	28,333
Grasas y Aceites	mg/l	5	5,56	11,91	5	34,33	13,83
Coliformes fecales	NMP/ 100ml	3	14	5	3	590	5
DBO	mg/l	2	2,78	2	2	38,63	45,32
DQO	mg/l	14,26	10,33	10,33	13,94	250,08	257,2
Sólidos Susp. Totales	mg/l	6,25	5	7,5	2,75	207,5	74
Nitrógeno total	mg/l	7,603	27,515	2,757	4,535	24,27	32,79
Fósforo total	mg/l	0,21	3,25	0,21	1,2	5,83	4,39

**Tabla A.12** Influyente de las plantas de tratamiento que opera CAPA, Septiembre 2003.

PARAMETRO	UNIDADES	CENTENARIO	MAHAHUAL	TULUM	CHEMUYIL
pH	pH	7,53	7,68	7,75	7,62
Temperatura	°C	30,67	29,83	30,17	28,67
Coliformes fecales	NMP/ 100ml	2400000	1311	580429	31551
DBO	mg/l	140,18	64,35	166,01	204,24
Grasas y Aceites	mg/l	19,06	5,26	24,65	69,37
Nitrógeno total	mg/l	33,72	42,08	42,33	3,017
Fósforo total	mg/l	5,37	6,74	5,54	7,43
Sólidos sedimentables	ml/l	0,7	0,1	0,1	1
Sólidos Susp. Totales	mg/l	90	20	50	127,5
DQO	mg/l	298,01	211,95	486,37	496,35

**Tabla A.13** Efluente de las plantas de tratamiento que opera CAPA, Septiembre 2003.

PARAMETRO	UNIDADES	CENTENARIO	MAHAHUAL	TULUM	CHEMUYIL
pH	pH	7,42	7,74	8,02	7,87
Temperatura	°C	31,33	30,67	29,75	28,5
Coliformes fecales	NMP/ 100ml	164	1197	21	1625
DBO	mg/l	1,21	7,61	43,79	92,02
Grasas y Aceites	mg/l	5	5	5,41	21,01
Nitrógeno total	mg/l	28,09	2,118	0,515	16,21
Fósforo total	mg/l	3,16	4,13	2,9	6,06
Sólidos sedimentables	ml/l	0,1	0,1	0,1	0,1
Sólidos Susp. Totales	mg/l	0	0	34	136,67
DQO	mg/l	15,45	57,27	123,38	334,19

**A.3 COMPARACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS EFLUENTES CON LA NORMA OFICIAL MEXICANA 001-ECOL-1996**

Se presenta un análisis de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento comparándolos con la Norma Oficial Mexicana, NOM-001-ECOL-1996 en descarga a ríos, sección Uso Público Urbano. Se comparó con la subsección promedio diario (PD), por que las muestras que se tomaron, fueron tomadas en un día en el mes que se muestra en la tabla. De acuerdo con un experto de CAPA, sólo se hacen análisis de calidad de influentes y efluentes, cada seis meses, debido a que son muy costosos por ser de un laboratorio certificado de la ciudad de Mérida, Yucatán.

El análisis siguiente se hizo con las tablas de calidad de efluentes, presentadas en el punto A.2. Los números en rojo significan que se rebasó el límite establecido. En la tabla A.14 se observa que en las plantas Caribe e Isla Mujeres, se rebasó el límite establecido para Nitrógeno total, y en la planta Caribe se rebasó el límite de huevos helminto por litro, aunque la norma no es muy clara a este respecto, ya que sólo contempla para riego agrícola y no en lo que tiene que ver a descarga de aguas residuales. En general, para el año 2002, se muestra una buena remoción en todas las plantas operadas por AGUAKAN.

**Tabla A.14** Comparación de la calidad de efluentes de las plantas de tratamiento de AGUAKAN 2002.

PARAMETRO	UNID	LIMITE MÁXIMO	NORTE	CARIBE	ISLA	PLAYA
pH	pH	5 - 10	7,1	7,27	7,54	6,76
Temperatura	°C	40	27,51	27,36	30,38	27,61
Coliformes fecales	NMP/100ml	2000	6	586	10	7
Cianuros totales	mg/l	2	0,0559	0,0102	0,0457	0,011
DBO	mg/l	150	7	94,2	23,7	61,7
Grasas y Aceites	mg/l	25	ND**	7,82	ND**	16,72

PARAMETRO	UNID	LIMITE MÁXIMO	NORTE	CARIBE	ISLA	PLAYA
Huevos de helminto	mg/l	1	0	3	0	0
Materia flotante	mg/l	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Nitrógeno total	mg/l	60	16,11	65,4	63,71	35,97
Fósforo total	mg/l	30	5,111	8,17	1,464	4,186
Sólidos sedimentables	ml/l	2	ND**	ND**	ND**	0,4
Sólidos Susp. totales	mg/l	125	3	92	40	57

\*\* Valor no determinado en el análisis fisicoquímico.

En la tabla A.15 se observa que la calidad de efluentes en el año 2003 de las plantas que opera AGUAKAN mejoró con el año anterior (tabla A.14) y por lo tanto no se presenta ningún valor por encima de la norma.

**Tabla A.15** Comparación de la calidad de efluentes de las plantas de tratamiento de AGUAKAN 2003.

PARAMETRO	UNIDADES	LIMITE MÁXIMO	NORTE	CARIBE	CORALES
pH	pH	5 - 10	7,08	7,47	7,28
Temperatura	°C	40	25	25,6	24,78
Coliformes fecales	NMP/100ml	2000	ND**	9	12
Cianuros totales	mg/l	2	0,0277	0,0415	0,0599
DBO	mg/l	150	23,3	75,1	39,9
Grasas y Aceites	mg/l	25	ND**	4,76	ND**
Huevos de helminto	mg/l	1	0	0	0
Materia flotante	mg/l	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Nitrógeno total	mg/l	60	15,41	49,33	39,29
Fósforo total	mg/l	30	5,071	12,806	2,326
Sólidos sedimentables	ml/l	2	ND**	ND**	ND**
Sólidos Susp. totales	mg/l	125	4,66	40	28,75

\*\* Valor no determinado en el análisis fisicoquímico.

La tabla A.16 muestra que las plantas de Playa del Carmen y Cozumel tienen valores por encima de la norma y se puede ver que en la planta de Playa del Carmen es preocupante por que tiene valores altos en Coliformes fecales y de DBO, esto quiere decir que en el 2001 no se encontraba operando eficientemente.

**Tabla A.16** Comparación de la calidad de efluentes de las plantas de tratamiento de CAPA, Abril 2001.

PARAMETRO	UNID.	LIMITE MÁXIMO	CENTENARIO	STA. MARIA	FOVISSTE V	CARRILLO	PLAYA	COZUMEL
pH	pH	5 - 10	8,09	8,125	8,215	8,18	7,735	7,715
Temperatura	°C	40	30,22	30,06	28,88	27,36	28,69	28,16
Coliformes fecales	NMP/100ml	2000	33	23	566	20	7172119	709,389
DBO	mg/l	150	5,49	6,9	6,91	2	323,4	80,75
Grasas y Aceites	mg/l	25	10,88	14,65	5,21	0	127,76	34,68
Nitrógeno total	mg/l	60	2,749	7,533	3,43	2,818	2,81	3,152
Fósforo total	mg/l	30	1,22	2,01	1,02	1,66	0,825	2,51
Sólidos Susp. totales	mg/l	125	10,5	16,25	39,995	12	465	141,665

En la tabla A.17 se observa que la planta de Playa del Carmen todavía se encontraba operando de manera deficiente y la planta Cozumel ya se encontraba operando mejor que hace seis meses.

**Tabla A.17** Comparación de la calidad de efluentes de las plantas de tratamiento de CAPA, Octubre 2001.

PARAMETRO	UNID.	LIMITE MÁXIMO	CENTENARIO	STA. MARIA	FOVISSTE V	CARRILLO	PLAYA	COZUMEL
pH	pH	5 - 10	7,338	7,592	8,035	7,817	7,652	7,807
Temperatura	°C	40	30,033	30,667	31	28,833	28,667	28,333
Coliformes fecales	NMP/ 100ml	2000	3	14	5	3	590	5
DBO	mg/l	150	2	2,78	2	2	38,63	45,32
Grasas y Aceites	mg/l	25	5	5,56	11,91	5	34,33	13,83
Nitrógeno total	mg/l	60	7,603	27,515	2,757	4,535	24,27	32,79
Fósforo total	mg/l	30	0,21	3,25	0,21	1,2	5,83	4,39
Sólidos Susp. Totales	mg/l	125	6,25	5	7,5	2,75	207,5	74

Se observa que en la tabla A. 18 solo la planta Chemuyil tiene un valor por encima de la norma y que se tienen valores de calidad de agua de las plantas Mahahual y de Tulum que se nota que estaban operando bien el año 2003.

**Tabla A.18** Comparación de la calidad de efluentes de las plantas de tratamiento de CAPA, Septiembre 2003.

PARAMETRO	UNIDADES	LIMITE MÁXIMO	CENTENARIO	MAHAHUAL	TULUM	CHEMUYIL
pH	pH	5 - 10	7,42	7,74	8,02	7,87
Temperatura	°C	40	31,33	30,67	29,75	28,5
Coliformes fecales	NMP/ 100ml	2000	164	1197	21	1625
DBO	mg/l	150	1,21	7,61	43,79	92,02
Grasas y Aceites	mg/l	25	5	5	5,41	21,01

PARAMETRO	UNIDADES	LIMITE MÁXIMO	CENTENARIO	MAHAHUAL	TULUM	CHEMUYIL
Nitrógeno total	mg/l	60	28,09	2,118	0,515	16,21
Fósforo total	mg/l	30	3,16	4,13	2,9	6,06
Sólidos Susp. Totales	mg/l	125	0	0	34	136,67
Sólidos sedimentables	ml/l	2	0,1	0,1	0,1	0,1

Analizando los datos se puede notar que los datos en color rojo están por encima de la Norma, de lo que se concluye que tienen deficiencias en cuanto a la operación, y que deben revisarse los procesos para eficientarlos y no contaminar los acuíferos subterráneos que es donde se descargan estas aguas.

Se puede notar que los valores tanto de Coliformes fecales, Grasas y Aceites, DBO, Sólidos Suspendidos Totales, Nitrógeno y Fósforo, sobrepasan la Norma y esto es riesgoso para los acuíferos por que se incrementa la contaminación de tipo urbano.

#### A.4 EFICIENCIA DE REMOCIÓN

En las tablas siguientes se presenta la eficiencia de remoción de las plantas de tratamiento que opera AGUAKAN y CAPA, analizando la remoción por cada parámetro fisicoquímico. Se puede analizar esta información con los valores de entrada y de salida de estos parámetros en las tablas anteriores de calidad de influentes y efluentes de las plantas de tratamiento (de la Tabla A.4 hasta Tabla A.13).

La fórmula que se utiliza para calcular la remoción por parámetro en las plantas de tratamiento es la siguiente:

$$\text{Remoción} = \left( \frac{\text{Influente} - \text{Efluente}}{\text{Influente}} \right) \times 100$$

La eficiencia de remoción esta dada en porcentaje (%).

**Tabla A.19** Eficiencia de remoción de las plantas de tratamiento de AGUAKAN 2002.

PARAMETROS	UNIDADES	NORTE	CARIBE	ISLA	PLAYA
DBO	mg/l	96,40	87,22	92,26	43,18
Grasas y Aceites	mg/l	*	89,61	*	97,26
Nitritos	mg/l	-1572,72	65,85	-245,45	-90
Nitratos	mg/l	-1446,66	30	-300	-36,36
Nitrógeno total kjeldhal	mg/l	64,76	13,41	18,50	-18,80
Nitrógeno total	mg/l	58,47	13,50	18,27	-18,90
Fósforo total	mg/l	41,68	75,78	86,77	24,26
Sólidos sedimentables	ml/l	*	*	*	20
Sólidos Susp. Totales	mg/l	98,5	91,19	79,22	10,93
DQO	mg/l	95,45	84,86	90,12	*

\* Eficiencia de remoción no calculada por falta de datos de influentes y/o efluentes en las tablas.

Tabla A.20 Eficiencia de remoción de las plantas de tratamiento de AGUAKAN 2003.

PARÁMETROS	UNIDADES	NORTE	CARIBE	CORALES
DBO	mg/l	80,99	80,34	90,08
Grasas y Aceites	mg/l	*	90,14	*
Nitritos	mg/l	-493,18	-42,37	-151,28
Nitratos	mg/l	-6860	11,11	-150
Nitrógeno total kjeldhal	mg/l	73,40	19,39	28,24
Nitrógeno total	mg/l	64,95	19,32	27,85
Fósforo total	mg/l	40,67	44,27	87,72
Sólidos sedimentables	ml/l	*	*	*
Sólidos Susp. Totales	mg/l	95,94	87,5	85,62
DQO	mg/l	87,14	88,12	87,74

\* Eficiencia de remoción no calculada por falta de datos de influentes y/o efluentes en las tablas.

**Tabla A.21** Eficiencia de remoción de las plantas de tratamiento de CAPA, Abril 2001.

PARAMETROS	UNIDADES	CENTENARIO	SANTA MARIA	FOVISSTE	CARRILLO	PLAYA	COZUMEL
Grasas y Aceites	mg/l	81,56	87,01	93,34	100	-27,18	71,35
Coliformes fecales	NMP/ 100ml	99,97	99,99	98,93	81,48	21,74	99,96
DBO	mg/l	96,04	97,90	94,81	92,78	-5,68	74,99
DQO	mg/l	89,65	92,64	91,11	93,94	-33,93	75,15
Sólidos Susp. Totales	mg/l	96,03	96,38	84,61	78,18	4,61	68,86
Nitrógeno total	mg/l	82,51	29,61	32,45	-33,55	73,01	81,34
Fósforo total	mg/l	-100,32	-312,73	-14,60	-32,8	-39,83	-26,13

**Tabla A.22** Eficiencia de remoción de las plantas de tratamiento de CAPA, Octubre 2001.

PARAMETROS	UNIDADES	CENTENARIO	SANTA MARIA	FOVISSTE	CARRILLO	PLAYA	COZUMEL
Grasas y Aceites	mg/l	71,51	89,95	80,18	62,75	29,88	81,94
Coliformes fecales	NMP/ 100ml	99,99	99,86	99,99	99,99	93,52	99,99
DBO	mg/l	95,34	98,90	99,20	98,01	77,46	4,76
DQO	mg/l	89,56	97,80	98,05	94,31	41,25	49,29
Sólidos Susp. Totales	mg/l	82,63	95,55	96,12	95,97	-83,09	63,45
Nitrógeno total	mg/l	24,79	66,26	95,31	-2,25	34,05	-18,015
Fósforo total	mg/l	90,66	42,98	97,64	73,39	16,95	71,05

Tabla A.23 Eficiencia de remoción de las plantas de tratamiento de CAPA, Septiembre 2003.

PARAMETROS	UNIDADES	CENTENARIO	MAHAHUAL	TULUM	CHEMUYIL
Coliformes fecales	NMP/ 100ml	99,99	8,69	99,99	94,84
DBO	mg/l	99,13	88,17	73,62	54,94
Grasas y Aceites	mg/l	73,76	4,94	78,05	69,71
Nitrógeno total	mg/l	16,69	94,96	98,78	-437,28
Fósforo total	mg/l	41,15	38,72	47,65	18,43
Sólidos sedimentables	ml/l	85,71	0	0	90
Sólidos Susp. Totales	mg/l	100	100	32	-7,19
DQO	mg/l	94,81	72,97	74,63	32,67

*ANEXO*

Observando las tablas, se puede notar que la mayoría de las plantas de tratamiento tienen una buena eficiencia de 80 a 90% de remoción tanto de DBO y de Sólidos Suspendidos Totales.

Los valores negativos quieren decir que el valor de entrada fue menor que el de salida, como si se tratara de una producción de éste parámetro, principalmente aumenta el nitrógeno y el fósforo.

Según Metcalf y Eddy (1996), el nitrógeno se encuentra presente en múltiples formas (Nitritos  $[\text{NO}_2]^-$ , Nitratos  $[\text{NO}_3]^-$ , Nitrógeno amoniacal  $[\text{NH}_4]^+$  y Nitrógeno gas  $[\text{N}_2]$ ), y son numerosas las transformaciones que puede sufrir en los diferentes procesos de tratamiento. Debido a que el nitrógeno es un nutriente, los microbios presentes en los procesos de tratamiento tenderán a asimilar el nitrógeno amoniacal y a incorporarlo a su masa celular. Una parte de éste nitrógeno amoniacal retornará al agua residual con la lisis y muerte de células.

Por lo tanto se puede concluir que existe una importante muerte de células en la mayoría de las plantas presentadas en este anexo.

En lo que respecta al fósforo, Metcalf y Eddy (1996), mencionan que el fósforo está presente en forma de ortofosfato  $(\text{PO}_4)^{3-}$ , polifosfato  $(\text{P}_2\text{O}_7)$  y formas orgánicas del fósforo. Los microbios utilizan el fósforo para la síntesis celular y en el transporte de energía. Como consecuencia de ello, entre el 10 y el 30 % del fósforo presente se elimina durante el tratamiento biológico secundario.

De esta manera se concluye que las bacterias de los reactores biológicos tienen más fósforo del que necesitan.