

# Programa de Gestión del Comité Técnico de Aguas Subterráneas para la Zona Metropolitana de Mérida, Yucatán 2015



## Contenido

Introducción.....	4
Marco de referencia.....	6
Comité Técnico de Aguas Subterráneas para la Zona Metropolitana de Mérida, Yucatán (COTASMEY).....	7
Funciones.....	7
Integrantes.....	9
Ámbito del programa y síntesis del diagnóstico de la cuenca .....	10
Localización y descripción biofísica del territorio.....	10
Generalidades .....	10
Características de la Península de Yucatán .....	12
Localización .....	16
Clima.....	17
Características geohidrológicas .....	18
Caracterización socioeconómica.....	22

---

Diagnóstico de los recursos hídricos y elementos asociados a la Cuenca .....	30
Disponibilidad del agua .....	30
Usos del agua .....	31
Problemática identificada alrededor de los recursos hídricos .....	34
Conclusiones .....	41
Desarrollo del programa de gestión .....	46
Temas estratégicos.....	46
Misión y Visión .....	47
Misión .....	47
Visión .....	47
Objetivos, estrategias y líneas de acción por tema estratégico.....	48
Tema Estratégico 1.- Gobernanza para el manejo integral de la zona geohidrológica metropolitana. ....	48
Tema Estratégico 2.- Planeación hídrica regional y desarrollo urbano, social y económico sustentable.....	52

---

Tema estratégico 3.- Fondo ambiental para el desarrollo de mecanismos compensatorios para la restauración y mantenimiento de servicios ambientales.....	53
Tema estratégico 5.- Identificación de fuentes de contaminación y control de descargas de aguas residuales y lixiviados hacia el agua subterránea. ....	59
Tema estratégico 6.- Investigación, educación y desarrollo tecnológico para la gestión y valoración de servicios ambientales tangibles e intangibles.....	63
Alineación del Programa de Gestión del COTASMEY a Políticas Nacionales y Estatales.....	67
Programa Nacional Hídrico 2014-2018 .....	68
Plan Estatal de Desarrollo 2012-2018 .....	73
Bibliografía.....	75

## Introducción

En los últimos años se ha acelerado el crecimiento de la ciudad de Mérida y de los municipios conurbados, debido a la migración de la gente tanto del interior del estado, como de otras entidades del país y del extranjero, situación que ha incrementado la demanda de diversos servicios incluidos los relacionados con el agua.

Este crecimiento ha obligado a las autoridades a tener una visión de desarrollo metropolitano con las demandas y problemáticas que se generan y que requieren ser atendidas, tales como la gobernanza, los usos del suelo, las vías de comunicación, los servicios de transporte, de agua potable, el tratamiento y disposición de los residuos sólidos y líquidos, la contaminación del acuífero, etc.

La problemática del agua de la zona metropolitana de Mérida, se ha venido atendiendo en el seno del Consejo de Cuenca de la Península de Yucatán (CCPY), planteando soluciones técnicas, legales y administrativas para garantizar las reservas de agua para uso público urbano, el tratamiento y disposición de las aguas residuales municipales, industriales, pecuarias y de servicios, el saneamiento del acuífero, el conocimiento sobre su comportamiento, entre otros.

El Acuífero Península de Yucatán, es considerado hidrológica y administrativamente como una unidad, la cual está conectada hidráulicamente, sin embargo, existen zonas que tienen distintos comportamientos dadas su condiciones y características fisiográficas, geomorfías, geológicas, estructurales, hidrogeoquímicas y geohidrológicas. Una de estas zonas, es el denominado círculo de cenotes, dentro del cual se ubica la ciudad de Mérida y su zona metropolitana.

El volumen que se extrae es para diversos usos; del círculo de cenotes se obtienen 495 Hm<sup>3</sup>, que corresponde al 42% del volumen que se aprovecha en el estado de Yucatán, y el 19% del total en la Península de Yucatán.

De ahí, la importancia de solucionar la problemática hídrica de la zona metropolitana de Mérida a nivel regional y local, a través de acciones que contribuyan a la conservación y preservación de las aguas subterráneas para garantizar su disponibilidad en el futuro. En este sentido, el Grupo de Trabajo Especializado en Saneamiento de Yucatán del Consejo de Cuenca Península de Yucatán consideró la conveniencia de instalar un Comité Técnico de Aguas Subterráneas, en el que se contemplara la gestión integrada del agua de la Zona Metropolitana de Yucatán.

Tras un trabajo organizado de los diferentes actores involucrados el 18 de enero del 2013, fue instalado en la Ciudad de Mérida el Comité Técnico de Aguas Subterráneas para la zona Metropolitana de Yucatán (COTASMEY).

El siguiente reto es lograr un trabajo organizado entre los diferentes actores, tanto políticos como de la sociedad, ante ello se ha creado el Programa de Gestión del COTASMEY.

## Marco de referencia

Los Comités Técnicos de Aguas Subterráneas (COTAS) son instancias colegiadas de integración mixta, establecidas en la Ley de Aguas Nacionales (LAN) para el auxilio en el ejercicio de las funciones de los Consejos de Cuenca, en el ámbito de un acuífero determinado según sea necesario. Son órganos auxiliares del Consejo de Cuenca, donde están representados los usuarios de las aguas nacionales subterráneas de este determinado acuífero.

El objeto de los COTAS es la formulación, la promoción y el seguimiento de la ejecución de programas y acciones que contribuyan a la preservación, estabilización o recuperación en cantidad y calidad de las aguas subterráneas.

Entre sus funciones están las de participar en la elaboración de estudios, en la propuesta de plan de gestión y reglamentación del acuífero, así como en la ejecución de acciones que se deriven de ellos; recibir y canalizar ante el Organismo de Cuenca las sugerencias, solicitudes, denuncias o quejas de usuarios con relación a la explotación del acuífero; informar periódicamente a la COVI del Consejo sobre los acuerdos y avances de actividades relacionadas con el COTAS; colaborar con la Comisión en la resolución de los conflictos por el uso y la distribución de las aguas del acuífero; promover la participación de los usuarios en la programación hídrica del acuífero; vincularse con las organizaciones de usuarios de aguas superficiales que incidan en la contaminación y recarga del acuífero a fin de establecer programas y acciones conjuntas que contribuyan al cumplimiento de su objeto.

## **Comité Técnico de Aguas Subterráneas para la Zona Metropolitana de Yucatán (COTASMEY).**

Conforme a lo anterior, se consideró como una primera etapa, generar el Comité Técnico de Aguas Subterráneas para la subzona1 (recarga-transición-descarga) de la Región Metropolitana de Yucatán-Mérida (COTASMEY), con la finalidad de garantizar y promover el uso responsable y eficiente del agua, de forma integral y sustentable, mediante la formulación, promoción y seguimiento de la ejecución de programas y acciones que contribuyan a la preservación, estabilización o recuperación en cantidad y calidad de las aguas subterráneas, manteniendo la congruencia con los propósitos del Consejo y sus funciones apegadas a los preceptos de la Ley de Aguas Nacionales, su Reglamento y las Reglas Generales de Integración, Organización y Funcionamiento del Consejo de Cuenca de la Península de Yucatán, así como con el plan rector en materia de agua para la protección, conservación y recuperación ambiental de la Península de Yucatán, así como con la agenda 2030; mismo que podrá ampliarse en la medida que sea requerido.

### **Funciones**

El Comité se ha enfocado en el manejo integrado de la zona metropolitana enfatizando en los siguientes temas estratégicos:

1).- Gobernanza para el manejo integral de la zona metropolitana a través de la recepción y canalización ante el Organismo de Cuenca de las sugerencias, solicitudes, denuncias o quejas de usuarios con relación a la explotación del acuífero.

- 2).- Colaborar en la resolución de los conflictos por el uso y la distribución de las aguas del acuífero, en conjunto con la CONAGUA, así como la planeación hídrica regional y desarrollo urbano, social y económico sustentable.
- 3).- Promover la participación de los usuarios en la programación y conservación hídrica del acuífero y fomentar el desarrollo de mecanismos compensatorios para la restauración y mantenimiento de servicios ambientales a través de la creación de un Fondo ambiental.
- 4).- Conservación y recuperación de los servicios ambientales de las áreas de recarga en los ecosistemas de selva y cenotes y en áreas de descarga de humedales costeros, así como en las áreas de tránsito subterráneo urbanizadas.
- 5).- Vincularse con las organizaciones de usuarios del recurso hídrico que incidan en la contaminación y recarga del acuífero, para que de forma conjunta se pueda establecer programas y acciones que contribuyan al cumplimiento de su objeto.
- 6).- Participar en la elaboración de estudios, investigación y desarrollo tecnológico para proponer un plan de gestión, reglamentación y valoración de servicios ambientales tangibles e intangibles del acuífero.
- 7).- Informar periódicamente a la COVI del Consejo sobre los acuerdos y avances de actividades relacionadas con el COTAS, así como a sus representados.
- 8).- Las demás que contribuyan al cumplimiento de los objetivos de los COTAS.

## Integrantes

Este comité, integrado por:

- Presidente
- Secretario
- Tesorero
- Asamblea de Usuarios del Acuífero, que cuenta con representantes de los siguientes sectores: Público-Urbano, Industrial, Servicios, Agrícola, Pecuario, Academia, Investigación y Ambiental.

Todos ellos con derecho a voz y voto.

- Grupo Técnico Consultivo integrado por: la Secretaría de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente (SEDUMA), Junta de Agua Potable y Alcantarillado de Yucatán (JAPAY), Secretaría de Fomento Agropecuario y Pesquero (SAGARPA), Instituto para el Desarrollo de la Cultura Maya del Estado de Yucatán (INDEMAYA), Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), Comisión para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas (CDI) y los Municipios

Quienes únicamente tienen derecho a voz.

Los integrantes durarán en su cargo tres años, podrán nombrar un suplente con facultades suficientes para la toma de decisiones, pudiendo ser reelectos hasta por un periodo más.

## Ámbito del programa y síntesis del diagnóstico de la cuenca

### Localización y descripción biofísica del territorio

#### Generalidades

La Región Hidrológica XII, Península de Yucatán, está integrada por los estados de Campeche, Quintana Roo y Yucatán, y se ubica al sureste de la República Mexicana. La superficie total de los estados de la Península de Yucatán, equivale a 141,523 km<sup>2</sup> de los cuales el 37% corresponde a Campeche, el 36% a Quintana Roo y el 28% a Yucatán.



Fuente: Atlas Digital del Agua en México, 2010 CONAGUA

De acuerdo con el conteo 2010 del INEGI, la población total de los estados de la Península de Yucatán, es de 4'103,596 habitantes, de los cuales el 20% corresponde al estado de Campeche; el 32% a Quintana Roo y el 48% a Yucatán. Proyectándose, de acuerdo con la CONAPO, un crecimiento al año 2030 de 6'103,000 habitantes que equivale al 3.7% de la población total del país, y contribuye con el 4.2% del Producto Interno Bruto a nivel nacional.

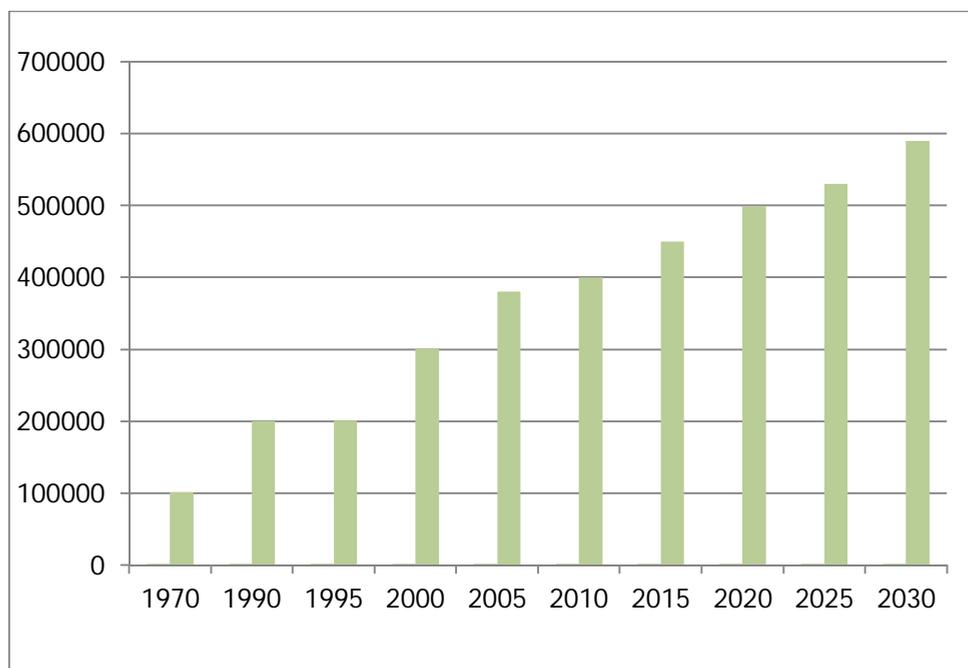
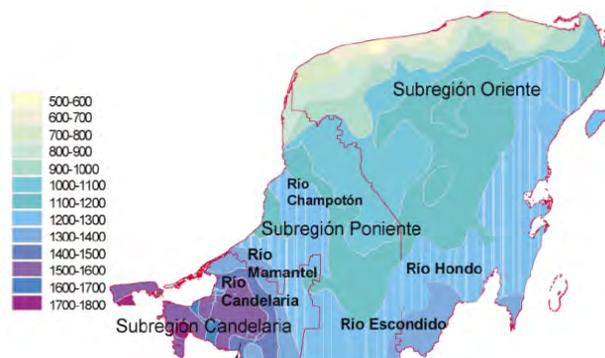


Tabla 1. Crecimiento poblacional en la Península de Yucatán (Fuente: INEGI 2010)

## Características de la Península de Yucatán

En la Península de Yucatán no se tienen montañas, ni grandes elevaciones de terreno ni escurrimientos superficiales de importancia. Se describe como una superficie plana y de baja altitud; su principal rasgo fisiográfico es la Sierrita de Ticul, con una extensión de 110 km y una elevación de 250 metros sobre el nivel del mar.

La precipitación media en la región Península de Yucatán, se estima en 1,157 mm anuales; y acorde con los registros de lluvias puntuales varía desde los 458 mm en la costa norte de Yucatán, a los 1,615 mm en la cuenca del río Champotón, en el sur de Campeche. Observándose que la precipitación media anual de la Región es superior a la media nacional (772 mm); mientras que las medias estatales son de: 1,232 mm en Campeche, 1,232 mm en Quintana Roo y 1,006 mm en Yucatán.



Fuente: Programa Hidráulico Regional 2002-2006, Región XII Península de Yucatán

La Península de Yucatán está constituida por sedimentos calcáreos de origen marino del período Terciario y Cuaternario (Butterlin y Bonet, 1963). Las rocas más antiguas corresponden a la porción sur central (X'pujil), así como a la sierrita de Ticul, mientras que los más recientes se encuentran hacia la línea costera; de acuerdo a sus características geológicas se divide en 6 zonas geohidrológicas.



Fuente: Sinopsis geohidrológica del estado de Yucatán

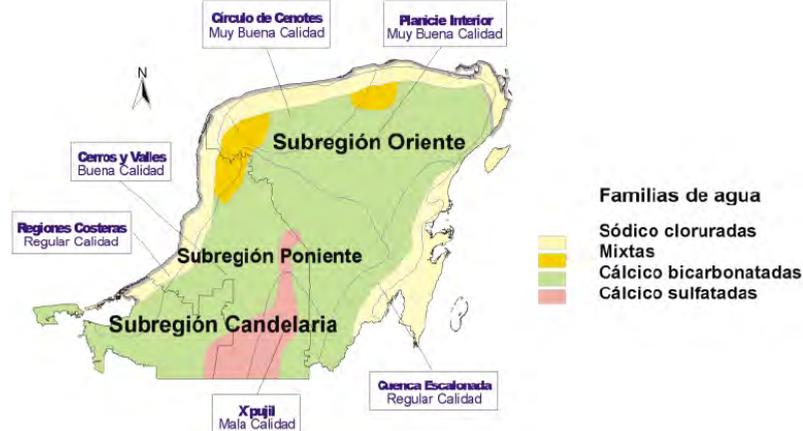
Presenta rasgos estructurales característicos de formaciones cársticas, los cuales evolucionan como resultado de la acción erosiva del agua sobre las formaciones calizas que actúan sobre la piedra, disolviéndola, lo cual, tras largos períodos de tiempo, deriva en la formación de cámaras o cavidades subterráneas, conocidas como conductos de disolución.



La calidad del agua subterránea depende en gran medida de la composición geoquímica del material del que está constituido el acuífero de la Península de Yucatán y del comportamiento hidrodinámico de los flujos subterráneos, aunado al tiempo de permanencia del agua en la matriz que la contiene.

El tipo de agua que predomina en el acuífero, corresponde a la clase cálcico – magnésica - bicarbonatada.

Sigue en orden de importancia la clase magnésico-sulfatada; por último, en la zona costera, el agua tiende a ser sódico-clorurada, debido a la influencia del agua marina provocando una zona de mezcla entre ésta y el agua subterránea.



Fuente: Programa Hidráulico Regional 2002-2006, Región XII Península de Yucatán

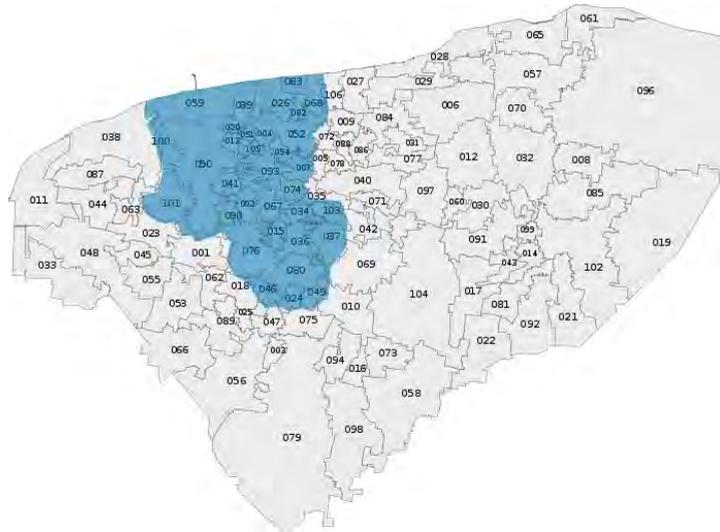
## Localización

El estado de Yucatán está localizado entre los paralelos 19° 40' y 21° 37' latitud norte y los meridianos 87° 30' y 90° 26' latitud oeste; sus límites son: al norte con el Golfo de México, al sureste con el estado de Campeche y hacia el este y sureste con el estado de Quintana Roo. El área que ocupa el estado de Yucatán es de 3, 930,00 ha (Duch 1991 en Bautista et al., 2005).

La zona geohidrológica metropolitana de Yucatán, se encuentra dentro del círculo de cenotes. La integran 33 municipios, de los cuales 13 están dentro del área considerada como zona de recarga, 15 en la zona de tránsito y 5 en la de descarga.

Zona	Subzona 1	Subzona 2
Recarga	Seye	Tahmek
	Acanceh	Hoctún
	Timucuy	Xocchel
	Homún	Hocabá
	Cuzamá	Sanahcat
	Tecoh	Huhí
	Tekit	
Tránsito	Chichulub Pueblo	Motul
	Mocochá	Telchac Pueblo
	Mérida	Baca
	Ucú	Muxupip
	Conkal	Yaxkukul
	Tixpéhuil	Tixkokob
	Kanasin	Cacalchén
Descarga	Uman	
	Ixil	Sinanché
	Progreso	Telchac Puerto
		Dzemul

Tabla 2 Municipios que conforman la Zona Geohidrológica Metropolitana de Yucatán



Mapa 1 Localización de la Zona Geohidrológica

## Clima

El clima predominante en Yucatán es el tipo Aw, que es cálido subhúmedo con lluvias en verano, también se encuentra los siguientes subtipos: Awo, cálido subhúmedo con lluvias en verano y una marcada sequía en la mitad del año (este es el más representativo en el estado), y al sur del estado podemos encontrar clima cálido subhúmedo intermedio Aw1 y el Aw2 que es el más húmedo (Bautista et al., 2005).

## Características geohidrológicas

Esta zona geohidrológica, se caracteriza por la relativa uniformidad que presenta el sustrato geológico, en particular el estrato más superficial. Destaca el origen sedimentario marino, constituido químicamente por carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) en una alta proporción y bajo la forma mineral de calcita y en menor medida dolomita o aragonita. El sustrato geológico de la zona geohidrológica muestra tres agrupaciones superficiales principales con relación a su edad:

- 1).- Materiales del Eoceno (Inferior, Medio y Superior) con una edad aproximada de 36 a 58 millones de años, en las porciones sur y central, con alturas que superan los 20 msnm.
- 2).- Materiales del Mioceno Superior y Plioceno, con diversas edades alrededor de los 13 millones de años aproximadamente, ubicados hacia el oeste, sur y oriente de la zona geohidrológica, con alturas que van entre los 5 y 20 msnm.
- 3).- Materiales del Pleistoceno y Holoceno, con una edad menor a un millón de años desplegados en forma periférica a partir de los materiales terciarios, formando una angosta franja entre estos y la actual línea de costa, con alturas menores a los 5 msnm.

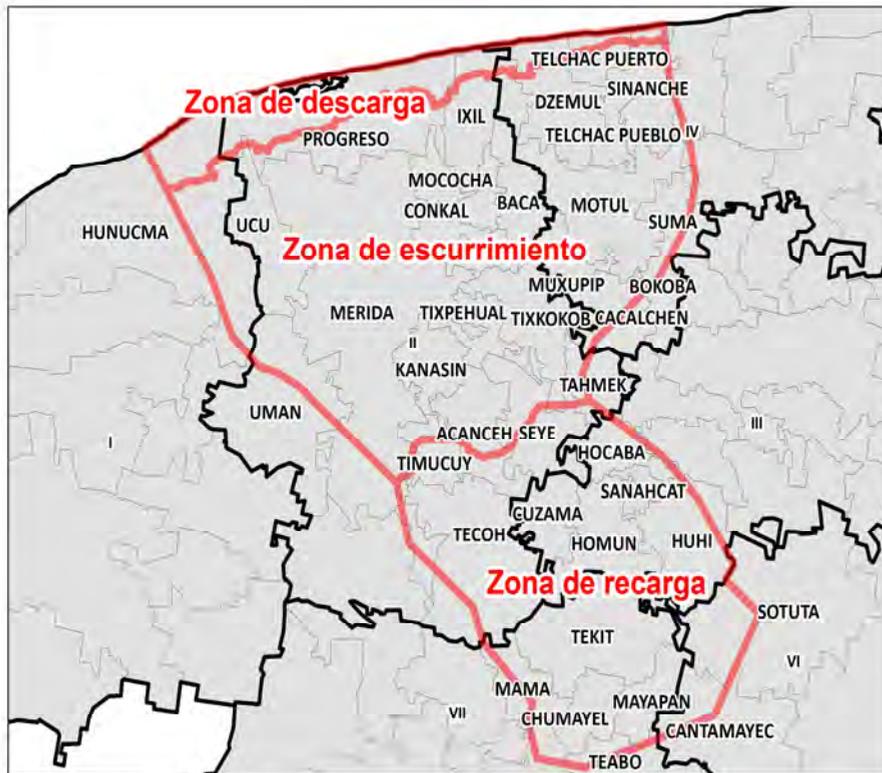
La zona geohidrológica se encuentra principalmente en el acuífero miocénico, donde el proceso geoquímico que prevalece es la mezcla de agua de reciente infiltración y con enriquecimiento salino por presencia de depósitos muy solubles y por mezcla con agua de mar con un amplio rango de dispersión. Dada las características de la roca y su alta permeabilidad se considera con una alta vulnerabilidad a la contaminación.

En el semicírculo de cenotes, que tiene un acuífero con un espesor de 40 m, la explotación actual del agua subterránea asciende al 23 % de la disponibilidad efectiva, y se espera que se incremente a un 48 % en el 2020, en el mejor escenario. Si a lo anterior sumamos las características salinas de las aguas subterráneas costeras, la vulnerabilidad de la cuenca se incrementará significativamente. En este sentido, el acercamiento al binomio agua - bosque se materializa en el manejo de la zona de borde entre las zonas de recarga y descarga de la cuenca, particularmente en el paisaje costero caracterizado como sabana o selva inundable, donde se desarrollan actualmente actividades agropecuarias cada vez con mayor intensidad. Es en este paisaje donde el proceso de formación del acuitardo costero (caliche, capa impermeable de carbonato de calcio en la cual el paso del agua a través de su matriz es muy lento o nulo) es necesario para el mantenimiento del gradiente hidráulico estacional del acuífero y el nivel de la interfase salina; además, aquí el proceso de purificación de la masa de agua contaminada, que proviene de tierras altas, amortigua el impacto que pudiera producirse en los bosques de manglar y las aguas litorales y actúa como biofiltro (depuración de la masa de agua a través de la vegetación).

La zona representa un vertedero conductor de grandes masas de agua (afectada por la agricultura y el desarrollo urbano) hacia las localidades costeras. La zona de descarga y exposición del acuífero representado por la cuenca de inundación costera es un área de alta evaporación e impermeable, y que confina las aguas subterráneas y sus vertimientos, los cuales son muy localizados (cenotes en petenes y en el mar, manantiales, etc.). Entre la duna costera y la llanura cárstica, el acuífero yucateco se confina por una capa de calcita precipitada por evaporación denominada localmente como "caliche"(acuitardo), que cementa los poros y las

fisuras de la coraza calcárea superficial, y cuya formación continúa hasta nuestros días, precisamente en la zona de descarga continental del acuífero en la costa: la zona denominada localmente como "tsekel" (sabana, selva inundable), la cual se caracteriza por una aparente falta de suelo. Esta delgada capa (0.5 a 1.4 m de espesor) se extiende a lo largo de la costa norte principalmente, en una franja de 2 a 20 Km de ancho, sosteniendo un gradiente hidráulico enorme. Por detrás del tsekel y separado de ésta por una zona de transición se encuentra las formaciones cársticas características (Perry, 1989) con sus acuíferos libres.

El acuífero bajo la ciudad de Mérida contiene una lente de agua dulce de 40 m de espesor en promedio, el cual flota sobre agua salada. La zona de mezcla o interfase salina tiene 37 m de espesor (entre 28 a 65 m de profundidad) y está muy alterada debido a que ahí se descargan grandes cantidades de aguas residuales y pluviales. Lo anterior es importante si se considera la existencia de tres conductos cársticos de flujo preferencial de agua subterránea a las profundidades de 8-12 m, 20-22 m y 28-32 m, asociados con antiguas posiciones del nivel freático, directamente relacionados con variaciones del nivel del mar durante el Pleistoceno. Es un acuífero que presenta una gran porosidad secundaria almacenando grandes volúmenes de agua y donde el gradiente hidráulico es muy pequeño (0.003 m/km en los alrededores de Mérida), lo que significa que el agua se mueve en promedio algunos metros por día.

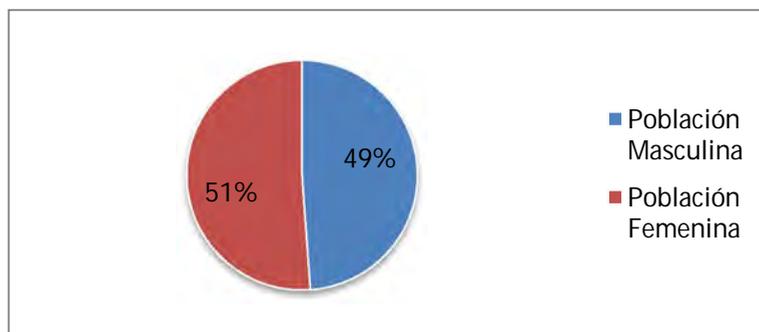


Mapa 2 Zona Geohidrológica Metropolitana de Yucatán

## Caracterización socioeconómica

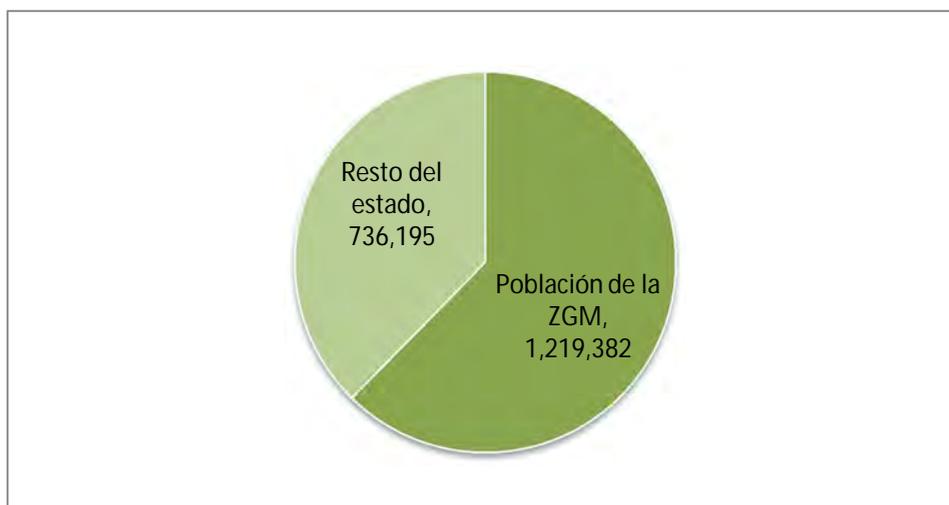
Según datos del INEGI 2010, la población total en los 33 Municipios que integran la Zona Geohidrológica Metropolitana de Yucatán, es de 1,219, 382 habitantes, de los cuales 595,694 son hombres, y 623,688 son mujeres.

Municipios de la ZGM		
Acanceh	Ixil	Tecoh
Baca	Kanasin	Tekit
Cacalchén	Mérida	Telchac Pueblo
Chicxulub Pueblo	Mocochá	Telchac Puerto
Conkal	Motul	Timucuy
Cuzamá	Muxupip	Tixkokob
Dzemul	Progreso	Tixpéhual
Hocabá	Sanahcat	Ucú
Hoctún	Seyé	Umán
Homún	Sinanché	Xocchel
Huhí	Tahmek	Yaxkukul



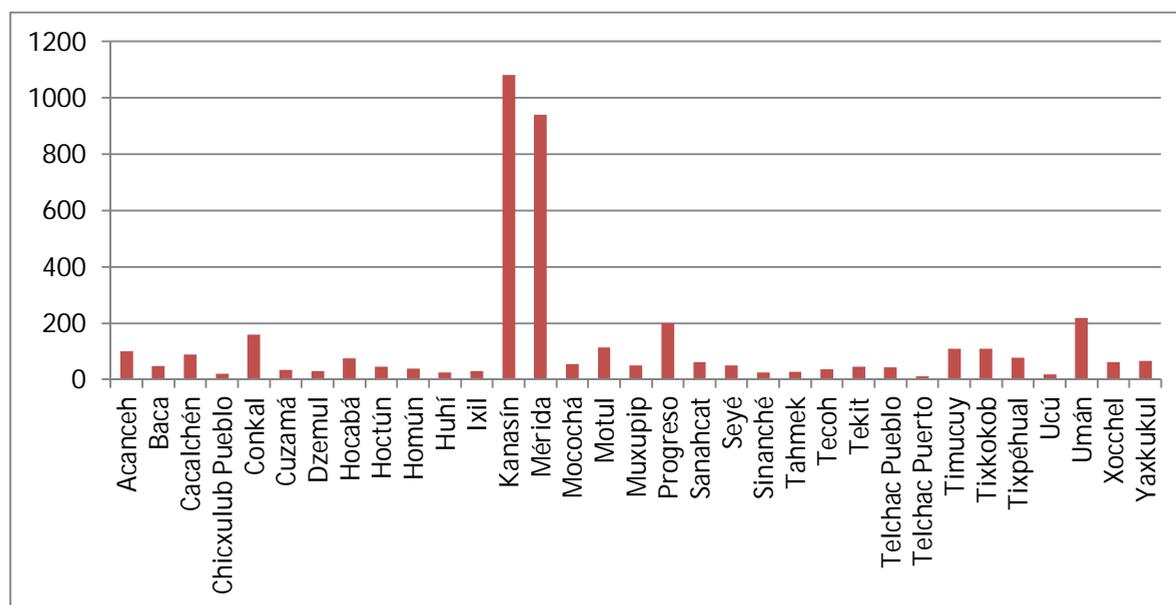
Gráfica 1 Porcentaje hombres y mujeres en la Zona Geohidrológica Metropolitana

La población total de la Zona Geohidrológica Metropolitana (ZGM) representa el 62% del total estatal según datos del INEGI 2010; en ella se localiza la Zona Metropolitana de Mérida. De los 33 municipios que integran la región, Mérida es el más densamente poblado, concentra al 68% de la población convirtiéndose en el centro urbano en torno al cual se ha conformado su zona metropolitana, el cual sumado a los municipios de Kanasín, Progreso y Umán concentran al 83% de la población de la región.



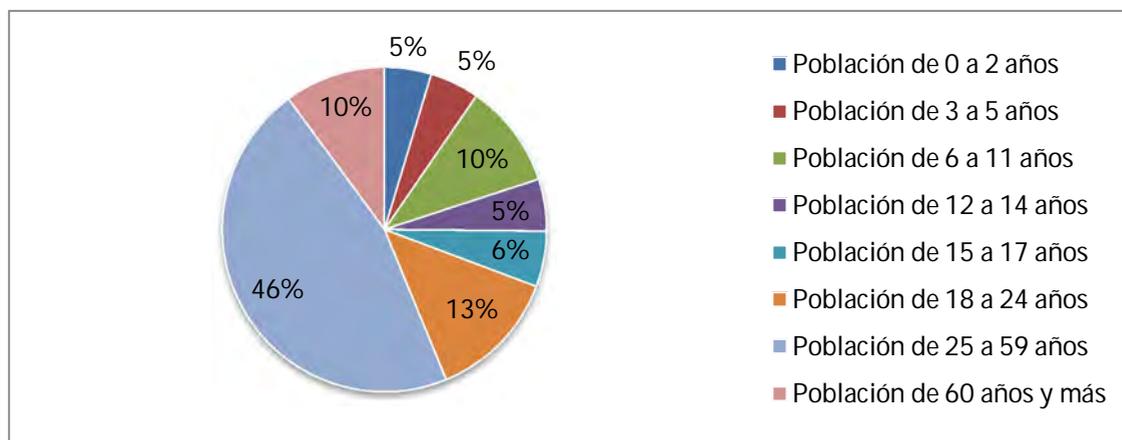
Gráfica 2 Población de la Zona Geohidrológica Metropolitana con respecto al resto del estado, Fuente: INEGI 2010

En cuanto a la densidad demográfica, según datos del 2010, se registra un promedio de 199 habitantes por kilómetro cuadrado, cifra que es rebasada en los municipios de Mérida (940) y Kanasín (1081), siendo los más bajos los observados en Huhí, Ucú y Telchac Puerto, con menos de 20 h/km<sup>2</sup>. La región es eminentemente urbana, el 84% de la población habita en localidades de más de 15 mil habitantes.



Gráfica 3 Densidad de población en la ZGM, Fuente INEGI 2010

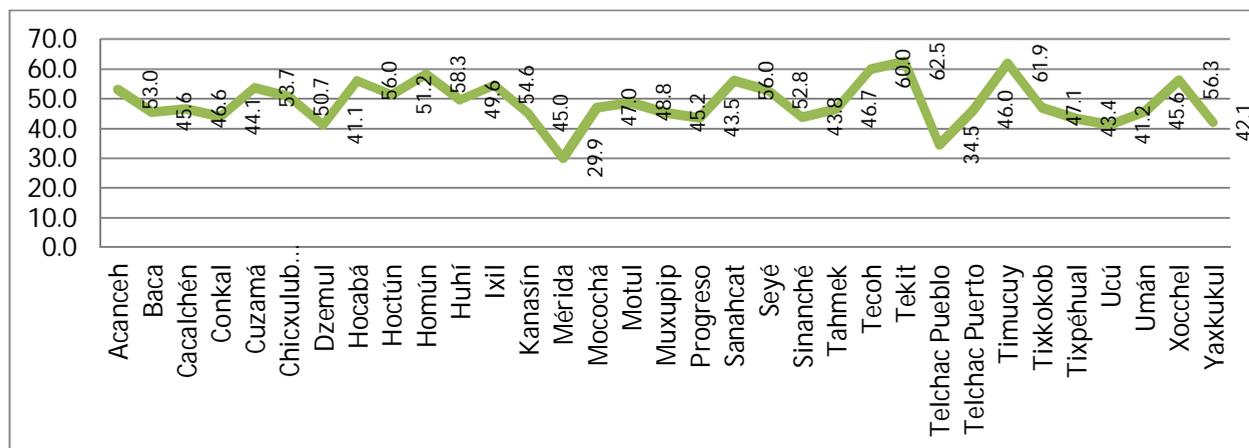
El 46% de la población de la región se encuentra en el rango de 25 a 59 años, convirtiendo esto en una oportunidad para su desarrollo, al tener un mayor tamaño de población en edad de trabajar, lo que se refleja en la razón de dependencia, ya que por cada 100 habitantes 54 son población dependiente de aquella que trabaja. Otro sector importante de la población son los jóvenes, entre 15 y 24 años que representan el 19% de la población, por las oportunidades de formación de capacidades académicas, y en esta región el 5% de la población mayor de 15 años o más no tiene algún nivel de escolaridad.



Gráfica 4 Porcentaje de población en la ZGM por rango de edad, Fuente: INEGI 2010

El 43% de la población es económicamente activa, y el 64% de esta población son hombres.

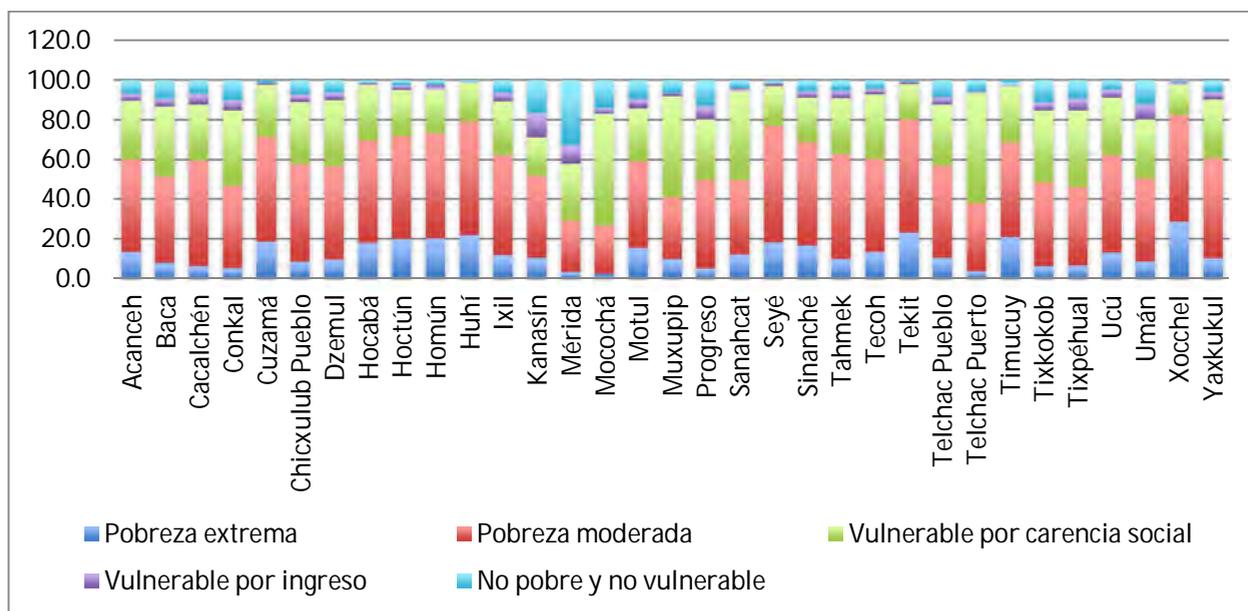
Según datos CONAPO del año 2010, el porcentaje de viviendas con algún nivel de hacinamiento es del 49%, pero hay municipios donde disminuye, como es el caso de Mérida donde se presenta un 39.9%. En el polo opuesto, se encuentran los municipios de Tekit, Tecoh y Timucuy, donde se presentan porcentajes entre el 60% y un poco más.



Gráfica 5 Porcentaje de viviendas con nivel de hacinamiento, Fuente: CONAPO con datos del INEGI 2010

Esta región es la que tiene los niveles más bajos de pobreza del Estado. Al año 2010, el 12% de la población no cuenta con el ingreso per cápita suficiente para cubrir sus necesidades alimenticias correspondientes establecidas en la canasta alimentaria INEGI – CEPAL. En los municipios de Homún, Huhí, Tekit, Timucuy, Xochel, se localizan los mayores porcentajes de población en situación de pobreza extrema, entre el rango del 20% al 28.7%.

El 46% de la población de la región se encuentra en situación de pobreza moderada, es decir, que se encuentran en situación de pobreza pero su ingreso ya es suficiente para cubrir las necesidades alimenticias. En este rango Huhí, Seyé y Tekit, son los municipios con porcentajes más altos de población en esta situación. El 35% de la población se encuentra en algún rango de vulnerabilidad, y únicamente el 7% de la población no se encuentra en situación de pobreza ni de vulnerabilidad, y esta se concentra principalmente en Mérida y Kanasín.



Gráfica 6 Porcentaje de población en situación de pobreza extrema, pobreza y vulnerabilidad; Fuente: CONAPO con datos del INEGI 2010

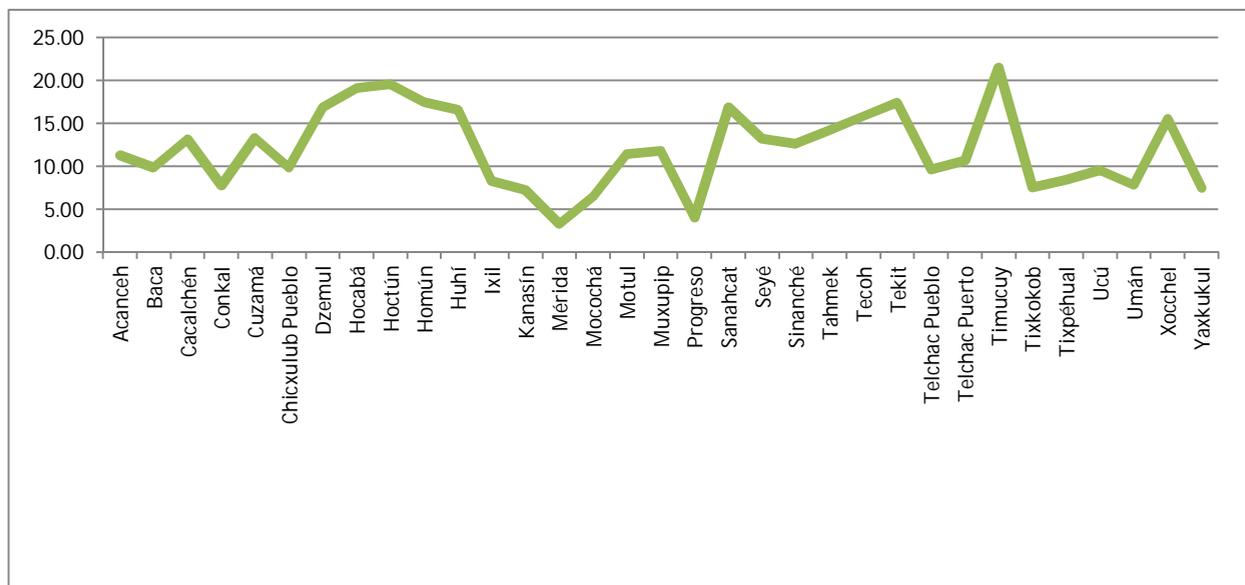
Los municipios con mayor grado de marginación son Hoctún, Huhí, y Timucuy. Mérida por el contrario presenta un grado de marginación muy bajo, y es notoria la influencia que este municipio tiene en otros como Kanasín, Progreso y Umán, que presentan un nivel bajo de marginación. La dispersión de la población es otro de los factores que marginan a la población de la región, en Cuzamá, Chicxulub Pueblo, Dzemul, Huhí, Ixil, Mocochoá, Muxupip, Sinanché, Tahmek, Telchac Puerto, Telchac Pueblo, Ucú, Xocchel y Yaxkukul, son localidades de menos de 5,000 habitantes, condición que dificulta el acceso de servicios básicos, de equipamiento e infraestructura, situación que va en decremento de su calidad de vida.

Acanceh	Ixil	Tecoh
Baca	Kanasín	Tekit
Cacalchén	Mérida	Telchac Pueblo
Chicxulub Pueblo	Mocochoá	Telchac Puerto
Conkal	Motul	Timucuy
Cuzamá	Muxupip	Tixkokob
Dzemul	Progreso	Tixpéhual
Hocabá	Sanahcat	Ucú
Hoctún	Seyé	Umán
Homún	Sinanché	Xocchel
Huhí	Tahmek	Yaxkukul



Tabla 3 Grado de marginación en los municipios de la ZGM, Fuente: CONAPO con datos del INEGI 2010.

El nivel educativo de la población es otro de los indicadores que incrementan el grado de marginación y rezago social, en esta región el 12% de la población de 15 años o más es analfabeta, presentándose el índice más alto en Timucuy con el 21% y los más bajos en Mérida con el 3.2 % y Progreso con el 4%. El grado promedio de escolaridad en los municipios de la región fluctúa entre 5 y 8 con excepción de Mérida que presenta un 10.



Gráfica 7 Porcentaje de analfabetismo, Fuente CONAPO con datos del INEGI 2010

## Diagnóstico de los recursos hídricos y elementos asociados a la Cuenca

### Disponibilidad del agua

Para efectos de administración de las aguas nacionales del subsuelo, la Península de Yucatán está dividida en cuatro regiones hidrogeológicas denominadas Península de Yucatán, Cerros y Valles, Cozumel e X'Pujil, siendo la más importante la correspondiente a la Península de Yucatán, donde se ubican las localidades de Mérida, Cancún y Campeche. Donde la disponibilidad Subterránea, de acuerdo con los datos del Registro Público de Derechos el Agua, al 31 de diciembre de 2009, se tenían concesionados 2,283 millones de metros cúbicos y se dispone de 5,691 millones de metros cúbicos que pueden ser aún concesionados para diversos USOS.

		RECARGA MEDIA	DESCARGA NATURAL COMPROMETIDA	VOLUMEN CONCESIONADO <sup>(1)</sup>	DISPONIBILIDAD MEDIA <sup>(2)</sup>
405	X'PUJIL	2,099.40	1,784.10	0.253	315.05
2301	CERROS Y VALLES	1,194.20	854.90	4.626	334.67
2305	ISLA DE COZUMEL	208.70	160.40	12.959	35.34
3105	P. DE YUCATÁN	21,813.40	14,542.20	2,265.600	5,005.60
	<b>S U M A S</b>	<b>25,315.70</b>	<b>17,341.60</b>	<b>2,283.44</b>	<b>5,690.66</b>

Tabla 4 Disponibilidad del agua en la Península de Yucatán  
Fuente: REPDA, CONAGUA

## Usos del agua

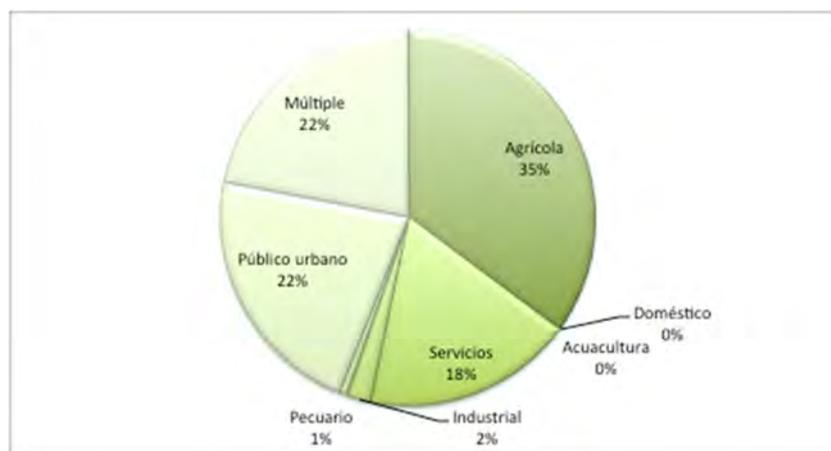
De acuerdo a la información proporcionada por el REPDA al 31 de diciembre de 2010, la extracción de aguas subterráneas en los estados que conforman esta Región Administrativa asciende a 2,653 Hm<sup>3</sup>/año (dos mil seiscientos cincuenta y tres millones de hectómetros cúbicos por año) en los que el Estado de Yucatán utiliza poco más del 45%, seguido del estado de Campeche con el 25% y Quintana Roo con el 30%.

Estado	Volumen (m3)
Campeche	666,646,820.07
Quintana Roo	800,872,081.51
Yucatán	1,186,242,481.69

2,653,761,383.27

Fuente: REPDA 2010

El principal uso a nivel regional corresponde al agrícola con el 35% del volumen total concesionado, seguido por el público-urbano 22% y múltiple 22% (corresponde a usos agrícola, pecuario principalmente), seguido por el uso en servicios 18%, industrial 2%, acuacultura 1%, y pecuario y doméstico con prácticamente 0%.



Gráfica 8 Distribución de la extracción del agua por uso, Fuente: REPDA 2010

En el caso específico del estado de Yucatán, se utilizan  $1,186 \text{ Hm}^3$  que equivalen al 45% del total regional, siendo los principales usuarios el correspondiente al uso múltiple 41%, agrícola con 33%, seguido por el público urbano con 21%. Los Usos Agrícola, Pecuario y múltiple, suman un volumen total de  $894.9 \text{ Hectómetros cúbicos}$ , que representa el 75% del total utilizado en la entidad.

De acuerdo con el Registro Público de Derechos del Agua, REPDA, particularmente para el área del círculo de cenotes, se extrae para los diversos usos un volumen anual de  $495 \text{ Hm}^3$ , que equivalen al 42% de los  $1,186 \text{ Hm}^3$  que se aprovecha en el estado de Yucatán y al 19% de los  $2,653 \text{ Hm}^3$  que se extraen del acuífero para todos los usos en la Península de Yucatán.

Usos del agua	Volumen (m3)
Agrícola	395,597,114.72
Doméstico	24,711.95
Acuacultura	113,936.00
Servicios	7,861,239.85
Industrial	37,322,400.64
Pecuario	16,045,720.59
Público urbano	246,003,959.84
Múltiple	483,273,398.10

**1,186,242,481.69**

Fuente: REPDA dic 2010

En términos generales, si consideramos los usos agrícola, pecuario y múltiple, nos da un total de 58% del volumen total concesionado, mientras que el 42% restante corresponde al uso público urbano, industrial, servicios, acuícola y doméstico.

En el caso específico del estado de Yucatán, se utilizan 1,186 Hm<sup>3</sup> que equivalen al 45% del total regional, siendo los principales usuarios el correspondiente al uso múltiple 41%, agrícola con 33%, seguido por el público urbano con 21%. Los Usos Agrícola, Pecuario y múltiple, suman un volumen total de 894.9 Hectómetros cúbicos, que representa el 75% del total utilizado en la entidad.

De acuerdo con el Registro Público de Derechos del Agua, REPDA, particularmente para el área del círculo de cenotes, se extrae para los diversos usos un volumen anual de 495 Hm<sup>3</sup>, que equivalen al 42% de los 1,186 Hm<sup>3</sup> que se aprovecha en el estado de Yucatán y al 19% de los 2,653 Hm<sup>3</sup> que se extraen del acuífero para todos los usos en la Península de Yucatán.

### **Problemática identificada alrededor de los recursos hídricos**

En general la principal problemática hídrica del acuífero de la Península de Yucatán, está asociada con la contaminación del acuífero por causas de origen natural y antropogénico que constituye una problemática compleja y dinámica, donde intervienen diversos actores que demandan su aprovechamiento para la satisfacción tanto de necesidades básicas de las personas, como para el impulso de las actividades productivas y el desarrollo económico.

De acuerdo con el REPDA, a diciembre de 2010, en la península de Yucatán se tienen registradas 4,549 descargas de aguas residuales no municipales de 2,554 usuarios, las cuales generan anualmente 433 Hm<sup>3</sup> de aguas residuales que se infiltran al acuífero. En cuanto a su origen, predominan las aguas de uso en servicios con el 82%, seguida por los de usos acuícola 10%, industrial 5%, generación de energía 2% y pecuario 1%; donde la distribución espacial de las descargas al acuífero, muestra una mayor concentración en la zona de Mérida, Yucatán, y sus municipios conurbados.

En cuanto a descargas municipales, el volumen total anual de estas aguas residuales asciende a 307 Hm<sup>3</sup>, que generan las localidades urbanas y rurales, observándose que de los 9,073 lps de

aguas residuales que generan las poblaciones de la península de Yucatán, solo se recolectan y se tratan 1,906 lps, lo cual representa el 21 por ciento del total generado, situándose muy por debajo de la media nacional del 34%. Cabe aclarar, que para el estado de Yucatán, no obstante las importantes inversiones realizadas en los últimos años, el nivel de tratamiento de las aguas residuales, es apenas del 2.83%.

De acuerdo con las proyecciones de crecimiento del CONAPO, la población de la Península de Yucatán crecerá al 2030 a poco más de 6 millones de habitantes, lo que representa un incremento de 2 millones de habitantes, lo que equivale al 48% de la población actual. En cuanto a la zona metropolitana de Mérida, el crecimiento se estima en un 27%. Lo anterior, plantea un extraordinario desafío para el desarrollo de la infraestructura de agua potable y saneamiento para la disposición adecuada de las aguas residuales en la región.

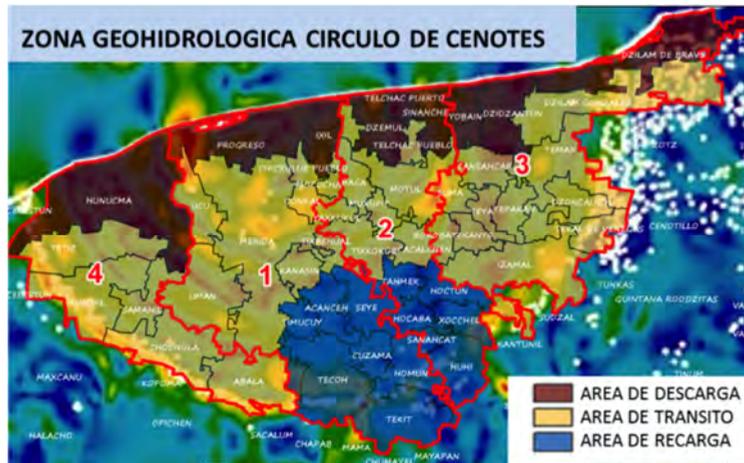
La Zona Metropolitana de Mérida ha tenido un acelerado crecimiento, situación que ha incrementado la demanda de servicios, lo que ha obligado a las autoridades a tener una visión de desarrollo metropolitano con las demandas y problemáticas que se generan y que requieren ser atendidas, tales como la gobernanza, los usos del suelo, las vías de comunicación, los servicios de transporte, de agua potable, el tratamiento y disposición de los residuos sólidos y líquidos, la contaminación del acuífero, entre otros.

Fuente de contaminación	Descripción del impacto
Desarrollo urbano	El acelerado crecimiento urbano de las grandes ciudades, que amenaza con invadir los campos de pozos de abasto de agua potable y su posible contaminación por la falta de saneamiento de las aguas residuales municipales. En el mejor de los casos, las viviendas solo cuentan con fosas sépticas. Así también se tienen las aguas del drenaje pluvial que se infiltran al acuífero.
Actividades económicas	Dentro de las principales actividades contaminantes, se tienen las descargas de aguas residuales de la actividad porcícola o pecuaria, así como por las aguas residuales de la nixtamalización para la producción de masa y tortilla, donde se utilizan pipas para trasladar los residuos líquidos sin tratamiento a sitios donde se disponen sin tratamiento adecuado, con alta contaminación orgánica y alta alcalinidad.
Nutrientes o pesticidas agrícolas	Residuos de fertilizantes y pesticidas aplicados en el medio rural amenazan la salud.
Fugas de hidrocarburos y mal manejo de residuos de aceites	La falta de medidas apropiadas de seguridad y control en gasolineras y empresas, propicia fugas o derrames deliberados con afectaciones al acuífero con efectos irreversibles.
Residuos sólidos	Falta de un manejo adecuado residuos sólidos, donde la disposición se realiza en tiraderos a cielo abierto y en algunos casos, muy próximos a fuentes de suministro de agua potable, utilizando para ello sascaberas abandonadas y las márgenes de los principales caminos de acceso a las poblaciones.
Extracción de materiales	Extracción de materiales pétreos para el suministro de la industria de la construcción, es una actividad que propicia la contaminación del acuífero, ya que para ello deben realizarse grandes oquedades que se aproximan bastante o penetran en el manto freático, cuyo abandono posterior hace propicia la entrada de contaminantes.
Falta de protección de fuentes de abasto de Agua	Riesgo de brotes de diversas enfermedades, debido a que se recurre a los pozos a cielo abierto para el abastecimiento de agua, que casi siempre se ubican en el centro del pueblo y carecen de protección.

Tabla 5 Principales fuentes de contaminación en la Zona Metropolitana de Mérida, Yucatán

El Acuífero Península de Yucatán, es considerado hidrológica y administrativamente como una unidad, la cual está conectada hidráulicamente, sin embargo, existen zonas que tienen distintos comportamientos por su condiciones y características fisiográficas, geomorfías, geológicas, estructurales, hidrogeoquímicas y geohidrológicas.

Una de estas zonas, es el denominado círculo de cenotes, dentro del cual se ubica la ciudad de Mérida y su zona metropolitana, por lo que para la gestión integrada del agua en atención a esta problemática, debe considerarse a los municipios que representan el área de recarga del acuífero que abastece a la zona metropolitana, su área de tránsito, así como los correspondientes a su área de descarga que pueden ser afectados.



Mapa 3 Zona Geohidrológica Anillo de Cenotes

En este sentido, dentro del Círculo de Cenotes, constituido por 53 municipios, se clasifican cuatro subzonas en función del aprovechamiento del agua y generación de descargas al acuífero, de acuerdo a lo siguiente:

Zona	Subzona 1	Subzona 2	Subzona 3	Subzona 4
Recarga	Seye	Tahmek		
	Acanceh	Hoctún		
	Timucuy	Xocchel		
	Homún	Hocabá		
	Cuzamá	Sanahcat		
	Tecoh	Huhí		
	Tekit			
Tránsito	Chixchulub Pueblo	Motul	Dzilám González	Tetiz
	Mocochá	Telchac Pueblo	Temax	Samahil
	Mérida	Baca	Cansahcab	Kinchil
	Ucú	Muxupip	Dzoncauich	Chocholá
	Conkal	Yaxkukul	Suma	Abalá
	Tixpéhual	Tixkokob	Tepakán	
	Kanasin	Cacalchén	Teya	
	Uman		Tekal de Venegas	
			Tekantó	
			Bokobá	
		Izamal		
Descarga	Ixil	Sinanché	Dzilam de Bravo	Hunucmá
	Progreso	Telchac Puerto	Dzidzantún	
		Dzemul	Yobaín	

Tabla 6 Zonificación de los municipios del Anillo de Cenotes

De acuerdo con la clasificación anterior e información del REPDA de la CONAGUA, el volumen que se extrae para los diversos usos en el círculo de cenotes es de 495 Hm<sup>3</sup>, que corresponde al 42% del volumen que se aprovecha en el estado de Yucatán y al 19% del total en la Península.

	Agrícola	Doméstico	Acuacultura	Servicios	Industrial	Pecuario	Público urbano	Múltiple	Total
Subzona1	37,108	19	-	7,206	24,310	2,011	178,127	59,221	308,002
Subzona2	17,071	1	36	99	1,304	779	8,863	42,937	71,090
Subzona3	24,719	-	-	54	65	869	6,600	44,772	77,079
Subzona4	23,693	-	73	118	18	3,204	3,566	8,093	38,765
<b>Subzonas1-4</b>	<b>102,591</b>	<b>20</b>	<b>109</b>	<b>7,477</b>	<b>25,697</b>	<b>6,863</b>	<b>197,156</b>	<b>155,023</b>	<b>494,936</b>
Resto del estado	293,006	5	4	384	11,626	9,182	48,849	328,251	691,307
<b>Total</b>	<b>395,597</b>	<b>25</b>	<b>113</b>	<b>7,861</b>	<b>37,323</b>	<b>16,045</b>	<b>246,005</b>	<b>483,274</b>	<b>1,186,243</b>

Tabla 7 Usos del agua en el estado de Yucatán (miles de m<sup>3</sup>/año), Fuente: REPDA 2010

En cuanto a descargas de aguas residuales, se generan 20 Hm<sup>3</sup> de aguas residuales no municipales y 108 Hm<sup>3</sup> de aguas residuales municipales para un total de 128 Hm<sup>3</sup> que representa el 70% de los 183 Hm<sup>3</sup> que se generan anualmente en el estado de Yucatán.

	Acuacultura	Servicios	Industrial	Pecuario	Total
Subzona1	7,278	3,927,387	11,760,322	1,442,249	17,137,236
Subzona2	-	133,304	901,660	749,740	1,784,704
Subzona3	7,147	48,368	383,782	168,856	608,153
Subzona4	28,708	62,402	70,058	626,718	787,886
<b>Subzonas1-4</b>	<b>43,133</b>	<b>4,171,461</b>	<b>13,115,822</b>	<b>2,987,563</b>	<b>20,317,979</b>
Resto del estado	-	1,778,791	3,338,785	1,688,400	6,805,976
<b>Total</b>	<b>43,133</b>	<b>5,950,252</b>	<b>16,454,607</b>	<b>4,675,963</b>	<b>27,123,955</b>

Tabla 8 Descargas de agua en el estado de Yucatán (miles de m<sup>3</sup>/año), Fuente: REPDA 2010

También se destaca que en el ámbito geográfico del círculo de cenotes, se tienen 1,350,627 habitantes, que representan el 69% de la población del estado de Yucatán, destacando la subzona 1, integrada por 17 municipios, donde habita el 57% de la población estatal y se aprovecha el 41% del agua de todo el estado; lo que destaca la importancia de dicha subzona1, donde se ubica el área de recarga, transición y descarga de la zona metropolitana de Mérida, que la sitúa como el espacio geográfico de mayor presión en el uso del agua de toda la Península de Yucatán y que requiere de soluciones a su problemática hídrica, a través de acciones que contribuyan a la conservación y preservación de las aguas subterráneas para garantizar su disponibilidad en el futuro.

Lo anterior, hace manifiesto el riesgo de afectación al sistema hidrológico, lo que compromete la sustentabilidad de los ecosistemas que soportan los servicios ambientales necesarios para la producción de los demás servicios, en este sentido, el Grupo de Trabajo Especializado en Saneamiento de Yucatán, en la XXV reunión del GTESY, celebrada el 28 de marzo de 2012, acordó la conveniencia de instalar el Comité Técnico de Aguas subterráneas de la Zona Metropolitana de Mérida Yucatán, COTASMEY, que contemple en el marco del Consejo de Cuenca, la gestión integrada del agua en dicha zona.

## Conclusiones

La Zona Geohidrológica Metropolitana de Mérida, Yucatán se configura como una unidad geográfica funcional, que permite aplicar un manejo integral y sustentable del agua en esta porción del acuífero libre del mioceno-plioceno del Estado, identificando tres componentes constitutivos:

1. Un área de recarga, representada por la zona de alta variabilidad hidrológica con aguas cálcico – carbonatadas de buena calidad al sureste de la Ciudad de Mérida;
2. Un área de escurrimiento subterráneo de agua en la parte central que pasa por debajo de la zona metropolitana de Mérida y Municipios de influencia, con áreas preferenciales de flujo a manera de ríos subterráneos en el anillo de cenotes y;
3. Un área de descarga en la zona costera, confinando al acuífero mediante un acuitardo que permite regular el vertimiento de agua a través de manantiales a un sistema de humedales en los municipios costeros, al tiempo que permite desarrollar un pequeño gradiente altitudinal de los niveles de agua con respecto al nivel medio del mar, empujando la interfase salina (agua sódico – clorurada) a más de 50 metros por debajo del mismo en el área de recarga, constituyendo un espesor de agua dulce útil para la sociedad.

Si bien la cantidad de agua almacenada puede cubrir las necesidades de la población y de las actividades productivas, la calidad de agua se encuentra amenazada dada la alta vulnerabilidad del acuífero a los contaminantes que se generan y que puede comprometer la sustentabilidad del desarrollo de la región metropolitana y área de influencia en el mediano y largo plazo.

Existe una fuerte polarización socioeconómica, en donde la zona metropolitana de Mérida y su área de influencia han sido sometidas a un acelerado proceso de expansión urbana y de especialización económica, que ha provocado impactos desiguales en el resto de la entidad. En la zona metropolitana de Mérida se concentra el 57% de la población total y casi 60% de la población urbana del estado, cuenta con los mejores niveles de bienestar y calidad de vida, así como de equipamiento y servicios en materia de educación, salud, servicios bancarios, empleo, transporte, vialidad, abasto, comercio, deporte, vivienda, servicios de agua potable, drenaje, electrificación, entre otros, mientras que en el resto de localidades rurales dispersas en la región se dificulta la dotación de servicios, donde se presentan procesos de hacinamiento, pobreza, exclusión y marginación que limitan las posibilidades de desarrollo humano, particularmente en aquellos grupos vulnerables, como las mujeres, niños, ancianos, personas con alguna discapacidad, así como la población indígena.

Existe una fuerte ocupación del territorio en donde predomina la vegetación secundaria, seguida de planteles agropecuarios de baja productividad y la mayor urbanización del Estado. Lo anterior representa un fuerte riesgo para las sociedades rurales, los espacios agropecuarios y las reservas ecológicas, las cuales enfrentan la urbanización sin contar con alternativas viables de desarrollo y con severas restricciones de suelo para el crecimiento urbano. Las zonas costeras cercanas a las ciudades, han sufrido procesos acelerados de urbanización al funcionar como polos turísticos altamente atractivos para la inversión. La sinergia entre las actividades económicas del corredor Mérida-Progreso requiere definir una política regional que por un lado controle las expectativas de urbanización sobre el citado corredor, y por otro, potencie el papel de Puerto Progreso en la economía regional.

La actividad agrícola ha dejado de ser una de las principales en la región debido a que ha asumido un rol urbano predominante que enfoca la ocupación de la PEA hacia actividades terciarias, sin embargo aún persiste la actividad agrícola y pecuaria.

El desarrollo en la región ha generado grandes pasivos ambientales degradando los bienes y servicios que brindan los ecosistemas contenidos en la zona geohidrológica. En la zona de recarga del acuífero y en todas aquellas áreas agrícolas el uso y abuso de agroquímicos, como fertilizantes, pesticidas y herbicidas, han generado no sólo contaminación a las aguas subterráneas, con posibilidades de afectar los balnearios naturales como los cenotes, sino que se presentan en grandes cantidades, en ocasiones superando las normas oficiales en cuanto a límites permisibles, en sangre y leche materna, tanto en personas sanas como en mujeres con cáncer cervicouterino y mamario, en municipios que van desde Progreso en la costa hasta Kanasín y Umán, por mencionar a algunos. La actividad pecuaria (porcícola, aunado a la avícola) también genera grandes cantidades de aguas residuales en las áreas rurales de la región incluyendo en muchos casos áreas urbanas.

La urbanización es otro factor que ha generado fuertes niveles de contaminación al agua subterránea, particularmente en el área de escurrimiento central debido al crecimiento expansivo inmobiliario basado en sistemas de tratamiento de aguas residuales ineficientes, o en ocasiones a través de sumideros descargando esta agua directamente al acuífero. La limpieza de las fosas sépticas y las aguas de nixtamal que se generan en todos los municipios de la región tampoco tienen un tratamiento adecuado. En las áreas industriales también se generan cantidades de aguas residuales de varios de sus procesos que también son dispuestos

de forma no adecuada, generado fuerte contaminación, aunado en que muchas de ellas se utilizan solventes, que son residuos peligrosos, y que se encuentran presentes en las aguas subterráneas. Todo lo anterior pone en grave riesgo la calidad del agua que se surte a la población por parte de los organismos operadores de agua potable, quienes sólo identifican la presencia de contaminantes como bacterias coliformes fecales o enterococos en el agua.

La zona costera, como área de descarga, recibe todos los contaminantes que se suman a los que se generan localmente, tanto en sus áreas urbanas, como en las áreas industriales pesqueras. Los humedales costeros se encuentran afectados en sus capacidades funcionales por los impactos que el desarrollo ha generado sobre ellos, aunado a los impactos naturales como huracanes, por lo que su capacidad para asimilar y procesar las aguas vertidas por manantiales y ojos de agua es baja, propiciando una contaminación y sobrefertilización en las aguas litorales creando condiciones para florecimientos algales nocivos, como marea roja, cada vez más frecuentes, impactando a la actividad pesquera y turística.

En la zona, los servicios ambientales de soporte, que son aquellos necesarios para la producción de los demás servicios, se encuentran muy afectados, sobre todo las áreas de recarga y descarga del acuífero por la presencia de contaminantes, aunado a la degradación del hábitat de selva y de manglares que amenaza la vida silvestre y acuática útil para la sociedad, así como la generación de materia orgánica vía detritus, base de cadenas alimenticias. Del mismo modo, los servicios de provisión, especialmente el agua para consumo humano y para riego están comprometidos por los niveles de contaminación además de la posible salinización en las áreas cercanas de la costa.

En cuanto a los servicios de regulación, los más afectados son sin duda, aquellos relacionados con la capacidad de depuración de masas de agua por la erosión generalizada que se presenta en la zona geohidrológica y la exportación de sedimentos en las lagunas costeras hacia la zona litoral y la degradación del ecosistema del manglar y sabanas, que además disminuyen mucho la capacidad de controlar inundaciones y proteger contra tormentas y huracanes, aunado a la gran extensión de suelo impermeabilizado en las zonas urbanas que afecta la capacidad de drenaje. El control del gradiente hidráulico también está amenazado por varios factores, entre los que destacan la afectación al acuitardo costero por la construcción de la dársena de Yucalpetén y las extracciones de piedra caliza cercana a la costa, así como por la presencia del domo de agua que se forma en el acuífero por los vertidos de agua residual en la zona metropolitana y los conos de abatimiento en los campos de extracción de agua potable, en particular en los pozos de la JAPAY I, en la Reserva de Cuxtal, que pudiera generar contracorrientes subterráneas, particularmente en temporada de secas aunado al escaso gradiente que se presenta en el área de recarga al sureste, conocida como zona de alta variabilidad hidráulica.

Todo lo anterior pone en riesgo los beneficios materiales y no materiales que los ecosistemas contenidos en la zona brindan a la sociedad en materia de experiencias recreativas en cenotes y playas, así como espirituales y cognitivas por la degradación del paisaje y la diversidad biológica, afectando la capacidad adaptativa de la sociedad en su conjunto para enfrentar los cambios cuantitativos y cualitativos que están ocurriendo, incrementando su vulnerabilidad en la perspectiva de los cambios climáticos que se predicen.

## Desarrollo del programa de gestión

### Temas estratégicos

El Programa se enfocará hacia el manejo integrado de la zona geohidrológica enfatizando en los siguientes temas estratégicos:

- 1).- Gobernanza para el manejo integral de la zona geohidrológica metropolitana.
- 2).- Planeación hídrica regional y desarrollo urbano, social y económico sustentable.
- 3).- Fondo ambiental para el desarrollo de mecanismos compensatorios para la restauración y mantenimiento de servicios ambientales.
- 4).- Conservación y recuperación de los servicios ambientales de las áreas de recarga en los ecosistemas de selva y cenotes, y en áreas de descarga de humedales costeros, así como en las áreas de escurrimiento subterránea urbanizadas.
- 5).- Identificación de fuentes de contaminación y control de descargas de aguas residuales y lixiviados hacia el agua subterránea.
- 6).- Investigación y desarrollo tecnológico para la gestión y valoración de servicios ambientales tangibles e intangibles.

## Misión y Visión

### Misión

Promover arreglos interinstitucionales que garanticen la transversalidad de políticas públicas que promuevan, desde una perspectiva de manejo integral de la zona geohidrológica, el fomento de los servicios ambientales de los ecosistemas para que los beneficios derivados de estos se repartan equitativamente entre la población.

### Visión

Para el año 2020, la zona geohidrológica metropolitana de Yucatán ha incrementado su resiliencia social y ambiental y en ella se promueve un desarrollo sustentable y armónico basado en los servicios ambientales, con equidad de género, con procesos incluyentes y distributivos de la riqueza generada en un entorno de justicia social y respetuosa de los derechos humanos.

## Objetivos, estrategias y líneas de acción por tema estratégico

### Tema Estratégico 1.- Gobernanza para el manejo integral de la zona geohidrológica metropolitana.

#### **Objetivo**

Mejorar y desarrollar nuevos mecanismos de coordinación intermunicipal y con los diversos órdenes de gobierno para la gestión hídrica de la zona geohidrológica metropolitana, fomentando la participación de los diferentes sectores de la sociedad.

**Estrategia 1.1.-** Promover una visión integral entre los órdenes de gobierno con los sectores privado, social y académico para el desarrollo de la zona geohidrológica metropolitana.

#### **Líneas de acción**

1. Promover un convenio de coordinación intermunicipal y estatal para que las Juntas Municipales de Agua Potable y del Estado constituyan un Organismo Público Descentralizado Intermunicipal que tenga las funciones de organismo operador de agua.
2. Fomentar que este organismo operador intermunicipal tenga objetivos, atribuciones, estructura, administración y las reglas de operación definidas en un Reglamento respectivo.
3. Prever que el organismo operador preste los servicios públicos de agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de sus aguas residuales así como el saneamiento y mantenimiento de los servicios ambientales de la zona geohidrológica metropolitana de los municipios que comprenda, de acuerdo a las reglas y condiciones previstas en el convenio que celebren los respectivos municipios.

4. Favorecer la gestión cualitativa de las aguas subterráneas junto con las dependencias de la Administración Pública Federal y Estatal competentes mediante el control de vertimiento de contaminantes orgánicos, sitios de disposición de residuos sólidos, plantas de tratamiento de agua en desarrollos inmobiliarios y turísticos, granjas porcícolas y avícolas, residuos tóxicos y peligrosos en zonas industriales, fertilizantes, pesticidas y plaguicidas utilizados en la agricultura, así como el funcionamiento adecuado de fosas sépticas y biodigestores, detección y clausura de sumideros y tratamiento de aguas y lodos de fosas sépticas, aguas de desecho industriales y aguas de nixtamal así como las aguas de los sanitarios portátiles, contribuyendo a garantizar agua limpia en las zonas de recarga y disminuir los contaminantes a la zona de descarga costera, prevención de mareas rojas y mejoramiento del hábitat para las pesquerías.
5. Identificar incompatibilidades entre programas de gobierno que generen conflictos por el uso de suelo y agua para alinear políticas compatibles con la conservación de los servicios ambientales, aprovechamiento sustentable y el desarrollo comunitario en la zona.

**Estrategia 1.2.-** Incentivar la participación de grupos u organizaciones civiles, a través de procesos de participación que resulten en la implementación de proyectos o actividades en beneficio de la sociedad.

### ***Líneas de acción***

1. Impulsar que este organismo público descentralizado intermunicipal del agua forme un comité de usuarios del recurso hídrico de la zona geohidrológica donde estén representados los diversos sectores que aprovechan el recurso, como el agropecuario,

agrícola, industrial, turístico, inmobiliario, pesquero, centros de investigación y organizaciones de la sociedad civil, entre otros.

2. Fomentar que el organismo operador celebre acuerdos con la actividad empresarial, que contribuya a la inversión de construcción de infraestructura hidráulica en viviendas con el mínimo costo y el máximo beneficio ambiental.
3. Fomentar que el organismo operador celebre acuerdos o convenios de coordinación con las dependencias de la Administración Pública Federal y Estatal para realizar programas integrales para el desarrollo de la infraestructura hidroagrícola dentro de la zona geohidrológica metropolitana, cuidando en todo momento los servicios ambientales que provee y regula el agua que sirve en calidad y cantidad, así como el uso en cantidad y calidad de agroquímicos y de sustancias tóxicas y peligrosas como pesticidas y herbicidas que afecten la calidad de las aguas de la zona geohidrológica.
4. Promover que el organismo operador celebre convenios con los productores agropecuarios para realizar obras y acciones para el desarrollo sustentable de los sistemas de riego y la protección de la zona geohidrológica metropolitana y los servicios ambientales que presta.

**Estrategia 1.3.-** Impulsar la aplicación de normativas que permitan el desarrollo con una visión integral que fomenten el bienestar humano y potencien el beneficio de los servicios ambientales que proveen los ecosistemas contenidos en la zona geohidrológica.

### ***Líneas de acción***

1. Impulsar la aprobación de la Ley Estatal de Agua, así como de las regulaciones necesarias para la implementación de un marco legal que regule el aprovechamiento y protección de los servicios ambientales que brindan los ecosistemas contenidos en la zona geohidrológica.

2. Reglamentar la operación, clausura y reubicación de las lagunas de oxidación actuales para el tratamiento de lodos y agua de fosas sépticas y aguas de nixtamal y baños portátiles y construcción de un nuevo sistema de tratamiento que dé cumplimiento a la Normatividad vigente para el tratamiento de estos residuos.
3. Impulsar la elaboración de un reglamento para el diseño, construcción, operación y mantenimiento de sistemas de tratamiento de aguas residuales, que fomente la infraestructura hidráulica, que pueda escalar desde biodigestores con separación de aguas grises y negras que viertan a campos de infiltración y/o conduzcan hacia cárcamos de acopio, pre tratamiento y transferencia a plantas de tratamiento que manejen grandes volúmenes de agua que aseguren su rentabilidad, relacionadas a desarrollos inmobiliarios o industriales, procurando la reutilización del agua para riego o procesos industriales.
4. Apoyar la elaboración de un reglamento para el manejo de aguas y lodos de registros pluviales, el manejo de aguas y lodos provenientes de la limpieza de fosas sépticas, manejo de aguas provenientes de la industria del nixtamal, industriales y de baños portátiles así como para regular a los prestadores de los servicios de recolección y transporte.
5. Fomentar el desarrollo y reglamentación de nuevos prototipos de manejo de aguas pluviales mediante jardines de lluvia y campos de infiltración, así como el diseño y construcción de más calles que funcionen como áreas de recarga del acuífero, disminuyendo áreas asfaltadas.
6. Realizar una identificación de domicilios y/o actividades cuyo sistema de disposición y drenaje de sus aguas servidas sea a través de pozos o sumideros y cavernas de manera directa y fomentar su reconversión a uso de biodigestores o sistemas sépticos colectivos.
7. Elaborar un reglamento que establezca sistemas de protección espacial de seguridad de los campos de pozos periurbanos para el agua potable.

8. Fomentar la celebración de convenios o acuerdos para la creación y gestión de reservas hidrológicas que aseguren regulaciones para la prevención de la contaminación y aseguren del vital líquido en el largo plazo.

## **Tema Estratégico 2.- Planeación hídrica regional y desarrollo urbano, social y económico sustentable.**

### ***Objetivo***

Promover una planeación hídrica estatal que tenga como sustento los principios de participación democrática previstos en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en la Constitución Política del Estado de Yucatán y en la Ley Estatal de Planeación.

***Estrategia 2.1.-*** Promover procesos de planeación que permita aplicar las políticas, estrategias, objetivos, programas y normas que conlleven a la preservación y conservación de las aguas de jurisdicción nacional y estatal y los servicios ambientales de la zona geohidrológica metropolitana.

### ***Líneas de acción***

1. Impulsar el Plan Hídrico de la zona geohidrológica Anillo de Cenotes para la gestión integrada de los recursos hídricos con base en un diagnóstico de la situación actual y prospectiva del recurso, evaluación participativa de alternativas y distribución de responsabilidades en el ámbito federal, estatal y municipal.

2. Definir la disponibilidad media anual del acuífero dentro de la zona geohidrológica metropolitana de acuerdo a la NOM-011-CNA-2000, que establece la metodología para tal efecto.
3. Promover la gestión cuantitativa del agua en la zona geohidrológica en periodos de estiaje o en periodos de años secos que implica una menor recarga al manto freático, concentración de sales y problemas de intrusión salina, en la perspectiva de cambio climático.
4. Orientar los servicios de agua potable y de saneamiento a las áreas de desarrollo en la zona geohidrológica metropolitana, mediante una correcta planeación del crecimiento urbano, industrial y agropecuario.

### **Tema estratégico 3.- Fondo ambiental para el desarrollo de mecanismos compensatorios para la restauración y mantenimiento de servicios ambientales.**

#### ***Objetivo***

Fomentar esquemas transparentes de financiamiento y de participación social que aseguren el saneamiento integral de la zona geohidrológica y generen oportunidades de empleos.

***Estrategia 3.1.-*** Promover mecanismos financieros transparentes que permitan apoyar acciones de saneamiento de la zona geohidrológica y valoración económica de los servicios ambientales de los ecosistemas contenidos en ella.

### ***Líneas de acción***

1. Plantear objetivos y metas generales que orienten a la sociedad respecto a la problemática hídrica en la zona geohidrológica metropolitana para crear una nueva cultura que considere al agua como un elemento vital, escaso y de valor económico, social y ambiental.
2. Mantener actualizado el inventario de aguas en pozos, norias, cenotes, manantiales, zonas de inundación temporal y permanente en selvas bajas, sabanas y lagunas costeras de la zona geohidrológica y clasificarlas de acuerdo a sus usos.
3. Crear mecanismos en la zona geohidrológica metropolitana para el pago por servicios ambientales en las áreas de recarga y descarga del acuífero provenientes de ingresos, créditos, aportaciones y otros, que aseguren la protección, restauración y saneamiento a través del fondo ambiental implementado por la Secretaría de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente promoviendo fondos concurrentes con organizaciones de la sociedad civil y dependencias del ámbito federal, que permita asimismo la construcción de drenajes, plantas de tratamiento y biodigestores para garantizar servicios de calidad y alcance de todos los habitantes, particularmente en aquellas localidades en que se presente fecalismo al aire libre y granjas porcícolas.
4. Desarrollar un Observatorio del Agua en la zona geohidrológica metropolitana que permita transparencia y participación social en la gestión y administración hídrica metropolitana.
5. Fomentar nuevas oportunidades de empleo para la supervisión y asesoría en el diseño, construcción, operación, mantenimiento e inspección de sistemas de tratamiento de aguas residuales individuales o colectivas, de rejillas y pozos de drenaje pluvial, alcantarillado, así como en restauración, conservación y mantenimiento de servicios ambientales en áreas de recarga y descarga del acuífero de la zona geohidrológica.

**Tema estratégico 4.- Conservación y recuperación de los servicios ambientales de las áreas de recarga en los ecosistemas de selva y cenotes y en áreas de descarga de humedales costeros, así como en las áreas de escurrimiento subterráneo urbanizadas.**

### ***Objetivo***

Potenciar los servicios ambientales de la zona geohidrológica mediante acciones de restauración, conservación y mantenimiento de los ecosistemas contenidos en ella.

***Estrategia 4.1.-*** Restaurar y conservar los ecosistemas de selva baja y cenotes en el área de recarga y aquellos sitios asociados a conductos preferenciales de agua subterránea.

### ***Líneas de acción***

1. Promover acciones de restauración y mantenimiento de selvas y cenotes en coordinación con entidades de los tres órdenes de gobierno, productores locales, instituciones educativas de todos los niveles y sociedad civil.
2. Fomentar actividades de recuperación y reforestación de selva en áreas deforestadas y/o degradadas para fortalecer el mantenimiento del microclima, la formación de suelo que incremente su capacidad de retener agua y drenarla al subsuelo de forma gradual y favorecer la recarga de las aguas pluviales al manto freático a la vez que conservar el hábitat de vida silvestre y acuática y la biodiversidad útil para la sociedad.
3. Fomentar la limpieza y saneamiento de los cenotes y grutas o cavernas de residuos sólidos y establecer controles para impedir escurrimientos superficiales indeseables que viertan hacia los cenotes.

4. Fomentar en aquellos cenotes que tienen un uso turístico o recreativo la colocación de contenedores para el manejo de residuos sólidos urbanos.

**Estrategia 4.2.-** Restaurar y conservar ecosistemas de humedales en manglares, sabanas y selvas inundables en el área de descarga del acuífero.

***Líneas de acción.***

1. Realizar gestiones ante las instituciones de los tres órdenes de gobierno y la coordinación con los diferentes centros educativos y de la sociedad civil para promover acciones de rehabilitación y conectividad hidráulica para consolidar la depuración de masas de agua provenientes de las áreas urbanizadas y agropecuarias que se encuentran al interior de la zona geohidrológica y asegurar el hábitat terrestre y acuático para la vida silvestre y los recursos pesqueros, conservar la biodiversidad y el paisaje para la actividad ecoturística y el transporte por agua.
2. Fomentar la limpieza y desazolve de cenotes costeros y manantiales, así como canales de drenaje para favorecer la descarga y distribución de agua subterránea y mejorar las condiciones de salinidad y temperatura y asegurar los aportes de nutrientes básicos para el desarrollo de la vegetación en ciénagas y sabanas.
3. Impulsar acciones de reforestación con especies de manglar y otras asociadas en áreas degradadas y sitios en donde la recuperación natural está impedida con la participación de la sociedad civil.
4. Fomentar acciones de prevención y control de incendios forestales en sabanas y selvas inundables derivados de causas humanas en coordinación con las autoridades de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente en la Reserva Estatal de Ciénagas y

Manglares de la costa norte de Yucatán, Dirección de Protección Civil, Bomberos y la Comisión Nacional Forestal para evitar perder la cobertura vegetal.

**Estrategia 4.3.-** Mantener las condiciones del gradiente hidráulico de la zona geohidrológica lo más favorable posible para evitar reversiones o contracorrientes indeseables en los flujos naturales del agua subterránea en la región metropolitana.

#### ***Líneas de acción.***

1. Promover que en los procesos de planeación se consideren las diversas alternativas de gestión del recurso hídrico, no sólo en términos de cantidad de agua, sino también su calidad y su evolución en el tiempo, ya que toda reducción de flujo en el área de descarga costero implica una modificación en el balance de sales, con incremento de la salinidad, particularmente cuando existe recarga con aguas residuales o excedentes de riego o se espera una gran dispersión en la zona de la interfase salina.
2. Identificar dentro de la zona geohidrológica áreas donde el incremento del bombeo este permitiendo una mayor penetración de la cuña salina.
3. Fomentar que las extracciones de agua cercanas a la costa sigan las recomendaciones emitidas por la CNA y la Facultad de Ingeniería de la UADY, para que a una distancia entre los 0 y los 5 km de la costa, o elevaciones del nivel estático (en la temporada más seca, cuando el nivel se encuentra en su mínimo) por debajo de 0.5 msnm, la extracción sea de hasta 5 lps, entre los 5 y 10 km de la costa, o elevaciones mayores a 0.5 msnm pero menores de 0.75 msnm, sea de hasta 10 lps, y entre los 10 y 15 km de la costa, o elevaciones mayores a 0.75 msnm pero menores de 1.15 msnm, sea de hasta 15 lps. Se recomienda también que la separación entre los pozos debe tener una distancia mínima de 500 metros (25 hectáreas por pozo), con lo cual se realiza el cálculo, a partir de la cantidad

de agua potable deseada por habitante por día, la densidad de lotes/ cuartos/ apartamentos por hectárea para los desarrollos inmobiliarios, los cuales deberán contar con sistemas de tratamiento de aguas residuales que cubran la totalidad de sus aguas servidas.

4. Fomentar la observación periódica de pozos construidos o campos de pozos para el estudio espacial del espesor del acuífero hasta algunos metros por debajo del agua de mar con la finalidad de evaluar los conos de abatimiento y la modificación de la interfase salina, así como la fluctuación del nivel del agua subterránea, con la finalidad de mejorar su manejo y gestión.
5. Evaluar la dinámica del domo de agua subterránea generado por la recarga que presenta la Ciudad de Mérida y zona conurbada con aguas residuales desde las fosas sépticas individuales hacia el acuífero, y considerar la posibilidad de continuar con esta forma de gestión o modificar el modelo de gestión (que pueda implicar instalación de colectores a diferentes escalas, desde biodigestores conectados por alcantarillado a cárcamos de rebombeo que lleven el agua a plantas de tratamiento y sistemas de distribución de agua residual para el control de la penetración salina), dado el riesgo de generar contracorrientes e incrementar la vulnerabilidad del acuífero y los campos de captación de los pozos de la JAPAY I y II.
6. Incentivar los métodos alternativos de captación de agua de lluvia para disminuir la importación de agua subterránea a las ciudades, así como métodos alternativos en pavimentación, principalmente en calles secundarias y terciarias de las diversas localidades de la región metropolitana para incrementar la permeabilidad de la estructura vial y mejorar la infiltración de aguas pluviales y promover la reforestación de parques, jardines y avenidas para incrementar las áreas verdes vinculados con áreas peatonales y ciclo vías que pudieran servir como campos de infiltración.

7. Promover el cuidado del acuitardo costero que confina el acuífero y regula tanto sus descargas al mar como el gradiente hídrico regional, evaluar los efectos de su modificación por dragados en dársenas y puertos así como por el aprovechamiento de piedra caliza para la industria de la construcción, para aportar elementos de gestión.

### **Tema estratégico 5.- Identificación de fuentes de contaminación y control de descargas de aguas residuales y lixiviados hacia el agua subterránea.**

#### ***Objetivo.***

Ubicar espacialmente todos aquellos contaminantes que afecten al agua derivados de actividades urbanas, agrícolas, pecuarias, industriales y hospitalarios para promover su manejo adecuado y propiciar las acciones de saneamiento necesarias.

***Estrategia 5.1.-*** Fomentar la coordinación entre dependencias de los tres órdenes de gobierno, Universidades, Tecnológicos, Centros de Investigación y sociedad civil organizada para realizar acciones de identificación de contaminantes y favorecer la inspección y vigilancia del recurso agua.

#### ***Líneas de acción***

1. Fomentar la realización de convenios de colaboración entre dependencias de gobierno, instituciones de educación y sociedad civil para desarrollar un sistema de información geográfica vinculado al Observatorio del Agua de la zona geohidrológica de la región, que ubique e identifique espacialmente los sitios y/o actividades que generan contaminantes así como su caracterización y nivel de riesgo para la salud humana y del ecosistema.

2. Realizar gestiones ante diversos organismos nacionales e internacionales para promover el desarrollo de capacidades institucionales y humanas, así como mejorar el equipamiento básico para el manejo y vigilancia de contaminantes generados por las diversas actividades sociales o productivas así como el saneamiento adecuado de sitios contaminados.
3. Difundir leyes, normas o reglamentos entre funcionarios, grupos privados y sociales, así como a la población en general para el manejo adecuados de sustancias tóxicas, peligrosas y biológico infecciosas, así como los derivados de aguas residuales domésticas e industriales y líquidos derivados de lixiviados en sitios destinados para la disposición de residuos sólidos urbanos y de manejo especial.

**Estrategia 5.2.-** Fomentar el manejo y gestión adecuados de aguas residuales de uso urbano, industrial y porcícola para mejorar la calidad de las aguas subterráneas en la zona geohidrológica.

***Líneas de acción.***

1. Elaborar un inventario y diagnóstico de los sumideros, las fosas sépticas, biodigestores, plantas de tratamiento y lagunas de oxidación en áreas urbanas y veraniegas costeras, así como en las áreas rurales de la zona geohidrológica, con la participación de autoridades de los tres órdenes de gobierno, centros de educación y sociedad civil, para evaluar su funcionamiento y el cumplimiento de la normatividad vigente.
2. Identificar aquellas viviendas que carezcan de servicios sanitarios y practiquen el fecalismo al aire libre en las áreas urbanas y rurales y fomentar junto con el Sector Salud, JAPAY u organismo operador intermunicipal y CONAGUA la construcción de infraestructura necesaria.

3. Identificar las formas y sitios de disposición de lodos derivados de fosas sépticas, lodos derivados de la cerdaza de granja porcícolas y lodos derivados de las aguas de nixtamal y fomentar el desarrollo de infraestructura para la implementación de sistemas de tratamiento para los lodos y aguas residuales de dichos sectores.
4. Reutilizar el agua residual tratada como materia prima para el riego hidro-agrícola y los lodos inertes como un nutriente y mejorador de suelo para el cultivo agropecuario.

**Estrategia 5.3.-** Fomentar el manejo y gestión adecuada de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial para mejorar la calidad de las aguas subterráneas de la zona geohidrológica.

***Líneas de acción.***

1. Elaborar un inventario y diagnósticos de los sitios de disposición de residuos sólidos urbanos y de manejo especial, tanto oficiales como clandestinos, con la participación de entidades municipales y estatales, así como centros de educación y sociedad civil, para evaluar su funcionamiento y cumplimiento de la normatividad vigente.
2. Fomentar la regionalización del manejo de residuos sólidos urbanos y de manejo especial para una adecuada recolección, transporte, tratamiento, calificación y disposición de los mismos, así como mejorar las formas de recolección y los sitios de disposición actuales, promoviendo la separación de reciclables y la elaboración de composta.
3. Promover la producción de composta y mejoradores de suelo con los residuos orgánicos derivados de la recolecta domiciliaria, residuos vegetales de parques y jardines, residuos vegetales de mercados, residuos derivados de la actividad porcícola y avícola, así como los residuos vegetales de playa (comúnmente llamado sargazo) y lodos estabilizados de

plantas de tratamiento de nixtamal y fosas sépticas para impulsar actividades agrícolas orgánicas, producción de plantas en viveros y acciones de reforestación.

4. Promover acciones de coordinación con autoridades de los tres órdenes de gobierno para la clausura y saneamiento de sitios de disposición a cielo abierto y tiraderos clandestinos.
5. Promover el manejo adecuado de residuos de manejo especial como productos de demolición y construcción, residuos agropecuarios, pesqueros, electrónicos, grandes generadores y neumáticos, entre otros, así como la coordinación entre dependencias de los tres órdenes de gobierno, centros de educación, sector privado y social para impulsar el coprocesamiento, reciclado, correcto manejo y gestión de los mismos.

**Estrategia 5.4.-** Promover acciones de coordinación entre las autoridades competentes para el control y manejo de residuos tóxico - peligrosos y biológico – infecciosos en la zona geohidrológica.

### ***Líneas de acción***

1. Elaborar un registro de hospitales, clínicas veterinarias, farmacias, laboratorios privados y en centros de investigación y universidades o tecnológicos, rastros, mercados, industrias (particularmente aquellas que procesan alimento como las pesqueras), talleres mecánicos, astilleros y de aquellos microgeneradores de residuos tóxico – peligrosos y biológico – infecciosos, en coordinación con los diferentes órdenes de gobierno para llevar a cabo acciones de supervisión y vigilancia del manejo adecuado de los mismos.
2. Promover la construcción de infraestructura para la recolección, el manejo, tratamiento y disposición adecuado de los residuos tóxicos – peligrosos y biológicos – infecciosos.

3. Fomentar acciones de prevención que conlleven a la detección y trazabilidad de sustancias tóxicas tanto en ambiente natural como en seres humanos, particularmente aquellos derivados de las actividades agropecuarias (pesticidas y herbicidas) como industriales (solventes y metales pesados).

### **Tema estratégico 6.- Investigación, educación y desarrollo tecnológico para la gestión y valoración de servicios ambientales tangibles e intangibles.**

#### ***Objetivo***

Promover una cultura del agua, así como capacidades técnicas, humanas y administrativas en los diferentes sectores de la sociedad para que estos participen de manera consciente en el manejo y conservación de los recursos en la zona geohidrológica.

***Estrategia 6.1.-*** Fomentar acciones de educación formal y no formal para generar una cultura del agua que considere al recurso hídrico como un elemento vital, escaso y de valor económico, social y ambiental.

#### ***Líneas de acción***

1. Coordinar con las autoridades educativas, estatales y federales, públicas y privadas, acciones para incorporar en los programas de estudio de todos los niveles educativos los conceptos de cultura del agua, considerando la disponibilidad del vital líquido, su valor económico, social y ambiental, su uso eficiente en las comunidades rurales y urbanas; así como la necesidad y ventaja de tratar y reusar las aguas residuales; el fomento al pago por

la prestación de los servicios y para preservar la cantidad y calidad de las aguas que se utilicen para uso doméstico o en otras actividades productivas.

2. Fomentar que en los niveles educativos básico, medio y medio superior se incorporen programas que involucren tanto al personal docente, administrativo, de intendencia, alumnado y padres de familia y que conlleven a una cultura de la conservación del agua; que incluya a la comunidad en el desarrollo de soluciones viables para temas de calidad del agua y crecimiento urbano; que promuevan los programas de salud pública relacionados con las enfermedades causadas por el agua y otros temas sobre el agua; y que se promueva la conciencia pública de apoyo al cumplimiento de las leyes y normas como parte de la política sustentable en el uso responsable del agua y de otros recursos naturales, como el suelo, la vegetación y la fauna silvestre.
3. Promover que se incluyan programas de estudio formales y actividades científicas de investigación, que incluyan acciones desde los niveles técnicos hasta el nivel universitario y programas de posgrado en ingeniería y ciencias ambientales y sociales, en las que se impartan los conocimientos, habilidades y aptitudes que se requieren para crear, desarrollar y adaptar tecnologías y capacitar los recursos humanos para incrementar la eficiencia en el uso del agua, suelo, flora y fauna, servicios ambientales y en la operación y control de la infraestructura; apoyar el desarrollo técnico, administrativo y financiero de los organismos prestadores de servicios de abastecimiento de agua y crear mediante las capacidades obtenidas el esquema que mejor se adapte para operar los planes y estrategias del manejo en la zona geohidrológica metropolitana.
4. Promover la coordinación entre entidades de los tres órdenes de gobierno, centros de educación y sociedad civil para impulsar campañas permanentes en los medios de comunicación, como radio, prensa y televisión, así como en medios electrónicos, que promuevan una nueva cultura del agua, y difundan mensajes que contribuyan a fomentar en la población el cambio de hábitos y actitudes en torno al buen uso y aprovechamiento

del recurso y produciendo materiales didácticos para promover y difundir una cultura del agua entre los diferentes sectores usuarios del recurso, tanto en localidades urbanas, rurales y comunidades indígenas.

5. Promover que los municipios instalen y mantengan en operación permanente espacios de cultura del agua con el objeto de atender la problemática educativa y cultural que incide en la contaminación, uso y aprovechamiento del recurso en localidades urbanas y rurales y fomentar la participación de la ciudadanía en acciones de monitoreo comunitario del agua en pozos y norias de las diversas localidades.
6. Fomentar en coordinación con la Secretaría de Educación que en los programas dirigidos a la población infantil y en los medios masivos de comunicación que difundan y fomenten la cultura del agua, la conservación conjunta de los ecosistemas vitales como cenotes, selva y humedales costeros.

**Estrategia 6.2.-** Fomentar capacidades técnicas, humanas y administrativas en el sector público y privado para la prevención de la contaminación y el saneamiento integral de la zona geohidrológica.

***Líneas de acción.***

1. Fomentar el diseño, desarrollo e implementación de programas de prevención de la contaminación del agua y adopción de tecnologías más limpias y eficientes para auxiliar a los municipios en el control de las fuentes puntuales de contaminación, el saneamiento y mantenimiento de servicios ambientales para así proteger las fuentes de agua dentro de la zona geohidrológica.

2. Promover la capacitación en prevención de los sectores industrial, agropecuario, comercial e institucional, sobre las técnicas generales para prevenir la contaminación, desarrollando planes de contingencia ante eventos de emergencia.

**Estrategia 6.3.-** Impulsar la participación de centros de investigación, universidades y tecnológicos para desarrollar estudios e investigaciones tendientes al manejo sustentable de la zona geohidrológica, prevenir la contaminación y desarrollar tecnología que haga más eficiente el tratamiento de las aguas residuales y remediación de áreas contaminadas.

***Líneas de acción.***

1. Promover líneas de investigación que comprendan tópicos multidisciplinarios para mejorar la sustentabilidad en el ciclo del agua, y desarrollar una red regional de investigadores que incluyan: salud pública, hidráulica, hidrología, ciencias del medio ambiente, ecología, demografía, antropología, desarrollo urbano y economía del medio ambiente, tomando en cuenta todas las instituciones académicas de la región y otras en el contexto nacional y extranjero, con la finalidad de mejorar la eficiencia y la efectividad de costos de la investigación aplicada, identificar problemas prioritarios y proveer el conocimiento que permita su solución.
2. Organizar talleres de trabajo para detectar las prioridades de la investigación y las estrategias para lograrla así como para identificar mecanismos para la colaboración en investigación y las fuentes de financiamiento y diseñar, desarrollar e implementar mecanismos para transferir los resultados de la investigación a intervenciones en el ciclo del agua, el cual incluye el ecosistema y la interacción humana.
3. Promover la calidad y la capacidad de los laboratorios para el monitoreo confiable del agua, que garantice la calidad y confiabilidad del laboratorio mediante la acreditación y

participación en programas de certificación, para que proporcionen información precisa y segura para la toma de decisiones.

4. Fomentar, apoyar y mejorar la infraestructura de los laboratorios existentes e identificar los requisitos para nuevos laboratorios, equipo o entrenamiento de personal.
5. Promover el diseño, desarrollo e implementación de un sistema de monitoreo permanente de la zona geohidrológica, así como la integración de datos en un sistema de información geográfica integrada al Observatorio del Agua que permita mejorar las capacidades en la toma de decisiones, reglamentación, administración y gestión del agua en la zona geohidrológica metropolitana.

### **Alineación del Programa de Gestión del COTASMEY a Políticas Nacionales y Estatales**

Un punto importante que se ha tomado en cuenta al momento de trabajar los temas Estratégicos del Programa de Gestión del COTASMEY, es la búsqueda de coincidencia de estos con los ejes que se establecen en las políticas públicas a nivel nacional y estatal.

## Programa Nacional Hídrico 2014-2018

1. Gobernanza para el manejo integral de la Zona Geohidrológica Metropolitana.	
Estrategias del Programa Nacional Hídrico 2014-2018	1.1.2 Adecuar la Ley Federal de Derechos en función de las zonas de disponibilidad
	1.5.2 Fortalecer la participación de organizaciones sociales y académicas en la administración y preservación del agua
	1.6.1 Formular los instrumentos legales o reformar los existentes para adecuar el marco jurídico vigente
	1.6.2 Proponer e implementar las modificaciones a la Ley Federal de Derechos
	2.1.9 Establecer esquemas de corresponsabilidad con autoridades locales para conservar las márgenes de los ríos y cuerpos de agua ordenadas y limpias
	3.2.5 Apoyar o crear organismos metropolitanos o intermunicipales para la prestación de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento
	3.4.1 Implementar proyectos productivos con tecnologías de riego apropiadas en comunidades con rezago, para mejorar ingresos, proveer empleo y producir alimentos
	3.4.2 Fomentar la participación de comunidades indígenas en la gestión de los recursos hídricos para su desarrollo sustentable
	4.2.4 Implementar programas de mejora de procesos en las entidades del sector hídrico
	4.3.4 Fomentar el desarrollo de líderes para el sector hídrico
	4.4.7 Desarrollar, adoptar y aplicar tecnologías de información y comunicación para facilitar la participación social en el sector hídrico
	6.2.1 Fortalecer el liderazgo internacional del país en las discusiones sobre el agua
	6.2.2 Reforzar la relación con organizaciones multilaterales e internacionales líderes en el tema del agua

## 2.- Planeación hídrica regional y desarrollo urbano, social y económico sustentable.

Estrategias del Programa Nacional Hídrico 2014-2018	1.6.5 Reforzar los sistemas de medición y verificación del cumplimiento de los volúmenes concesionados y asignados
	2.1.5 Evitar los asentamientos humanos en zonas con riesgo de inundación y reubicar los ya existentes a zonas seguras
	2.1.7 Fomentar la construcción de drenaje pluvial sustentable
	3.1.1 Incrementar las coberturas de agua potable y alcantarillado en zonas urbanas y rurales privilegiando a la población vulnerable
	3.1.2 Suministrar agua de calidad para el uso y consumo humano para prevenir padecimientos de origen hídrico
	3.2.1 Mejorar la eficiencia física en el suministro de agua en las poblaciones
	3.2.2 Mejorar los sistemas de medición en los usos público urbano e industrial
	3.2.3 Promover y aplicar tecnologías de bajo consumo de agua en los sistemas de abastecimiento público, industrias y servicios
3.5.1 Promover los instrumentos de coordinación que permitan la regulación de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento	

## 3.- Fondo ambiental para el desarrollo de mecanismos compensatorios para la restauración y mantenimiento de servicios ambientales.

Estrategias del Programa Nacional Hídrico 2014-2018	1.6.7 Promover el incremento de recursos para el financiamiento de las funciones de gobierno y gobernanza del agua
	1.6.8 Promover el pago por servicios ambientales para la conservación de recursos hídricos
	1.6.9. Eficientar el sistema de recaudación del sector hídrico
	3.1.3 Fomentar que la definición de tarifas de agua potable, alcantarillado y saneamiento, siga criterios técnicos, financieros y sociales
	6.1.3 Fortalecer la asistencia financiera internacional para el sector agua

**4.- Conservación y recuperación de los servicios ambientales de las áreas de recarga en los ecosistemas de selva y cenotes y en áreas de descarga de humedales costeros, así como en las áreas de escurrimiento subterránea urbanizadas.**

Estrategias del Programa Nacional Hídrico 2014-2018	1.2.1 Reutilizar todas las aguas residuales tratadas
	2.1.7 Fomentar la construcción de drenaje pluvial sustentable
	2.1.8 Realizar acciones de restauración hidrológica ambiental en cuencas hidrográficas prioritarias
	2.2.1 Incrementar la participación y corresponsabilidad de estados y municipios para acciones de adaptación frente al cambio climático o variabilidad climática
	2.2.2 Crear o fortalecer fondos financieros para la adaptación al cambio climático y para el mantenimiento y rehabilitación de infraestructura hidráulica
	3.3.1 Mejorar el funcionamiento de la infraestructura de tratamiento de aguas residuales existente
	3.3.2 Construir nueva infraestructura de tratamiento de aguas residuales y colectores e impulsar el saneamiento alternativo en comunidades rurales
	3.4.3 Difundir tecnología apropiada de suministro de agua, incluyendo captación de lluvia y niebla, cisternas, dispositivos de bombeo, filtración y desinfección

<b>5.- Identificación de fuentes de contaminación y control de descargas de aguas residuales y lixiviados hacia el agua subterránea.</b>	
Estrategias del Programa Nacional Hídrico 2014-2018	1.4.1 Fortalecer la medición y evaluación de la calidad del agua y sus principales fuentes de contaminación
	1.4.2 Incrementar las declaratorias de clasificación y estudios de calidad del agua y específicos de afectación
	1.4.3 Determinar el impacto de los agroquímicos en la calidad del agua
	1.4.4 Establecer coordinación con sectores involucrados para promover el uso adecuado de agroquímicos como medida de control de la contaminación difusa
	1.4.5 Generar y aplicar la normativa hídrica asociada a la disposición de residuos sólidos
	1.4.6 Incluir en las condiciones particulares de descarga un número mayor de parámetros contaminantes
	1.4.7 Modificar la normatividad sobre descargas de aguas residuales para contribuir a un marco de sustentabilidad de la calidad del agua
	3.3.3 Impulsar el uso y manejo de fuentes de energía alternativas para el autoconsumo en procesos de tratamiento de aguas residuales''
	3.4.4 Difundir tecnología apropiada de saneamiento, construcción de baños y lavaderos ecológicos, biodigestores, biofiltros, humedales, entre otros
	4.3.3 Identificar los avances tecnológicos en el ámbito internacional e implementar aquellos aplicables a nuestro país
	4.4.1 Fortalecer las redes automatizadas y de informantes que suministran datos sobre el agua
	4.4.2 Consolidar datos del agua a nivel nacional y regional bajo un esquema unificado
	4.4.3 Sistematizar y extender la difusión de información del agua a diversos sectores de la población

<b>6.- Investigación y desarrollo tecnológico para la gestión y valoración de servicios ambientales tangibles e intangibles.</b>	
Estrategias del Programa Nacional Hídrico 2014-2018	1.5.3 Atender la demanda de información de la población organizada
	4.1.1 Fomentar en la población la comprensión del ciclo hidrológico, la ocurrencia y disponibilidad del agua
	4.1.2 Reforzar la cultura del agua en el sistema educativo escolarizado
	4.1.3 Establecer un programa de formación y capacitación docente en materia hídrica
	4.1.4 Capacitar a los profesionales de la comunicación en temas del agua para contribuir a una sociedad mejor informada y participativa
	4.1.5 Promover la colaboración de empresas e instituciones que contribuyan con la educación y cultura del agua
	4.2.1 Promover la educación continua y la certificación de competencias en el sector
	4.2.2 Revisar y proponer el reordenamiento del servicio profesional de carrera de las instituciones del sector
	4.2.3 Apoyar la formación de recursos humanos del sector
	4.3.1 Fortalecer la investigación y desarrollo tecnológico y vincular a los centros de investigación para atender las prioridades del sector hídrico
	4.3.2 Establecer estrategias de divulgación de ciencia y tecnología en materia hídrica
	4.4.3 Sistematizar y extender la difusión de información del agua a diversos sectores de la población
	4.4.4 Fortalecer las redes y centros de información que permitan socializar y difundir el conocimiento en materia de agua
	4.4.6 Establecer canales de comunicación entre todas las entidades de investigación vinculadas con el sector hídrico a nivel nacional e internacional
	6.3.1 Impulsar la coordinación científica, técnica y financiera con agencias, academia e instituciones vinculadas con el agua de los países vecinos

## Plan Estatal de Desarrollo 2012-2018

<b>Eje:</b>	Yucatán con Crecimiento Ordenado
<b>Tema:</b>	Infraestructura para el desarrollo
<b>Objetivo:</b>	Incrementar la cobertura de infraestructura básica en el Estado
<b>Estrategias:</b>	<p>Ampliar y mejorar la infraestructura hidráulica y redes de electrificación tanto en el medio rural como urbano.</p> <p>Implementar acciones destinadas a la cobertura universal del suministro y abastecimiento de agua potable</p> <p>Implementar uso de energías renovables para la extracción de agua que sirva de riego de una forma accesible y sustentable.</p> <p>Promover sistemas de tecnología alternativa que mejor se adapten a las condiciones de la región.</p>
<b>Tema:</b>	Medio ambiente
<b>Objetivo:</b>	Disminuir la degradación ambiental del territorio
<b>Estrategias:</b>	<p>Impulsar el manejo integral de residuos con sistemas intermunicipales de gestión integral.</p> <p>Consolidar cadenas de valor ambiental en el sector privado.</p> <p>Fortalecer la infraestructura para el tratamiento de aguas residuales en la Zona Metropolitana.</p> <p>Impulsar la puesta en marcha de instrumentos económicos para la gestión sustentable del territorio.</p> <p>Fomentar una cultura ambiental responsable en la sociedad y su participación en la gestión de la calidad ambiental el territorio.</p>

<b>Objetivo:</b>	Incrementar la conservación del capital natural y sus servicios ambientales
<b>Estrategias:</b>	<p>Promover la conservación y aprovechamiento sustentable de los sitios prioritarios para la preservación de la riqueza biológica terrestre y acuática.</p> <p>Implementar acciones que reduzcan la deforestación y degradación forestal de los ecosistemas.</p> <p>Mejorar el estado de los ecosistemas prioritarios de cenotes, humedales y selvas.</p> <p>Impulsar la participación de los usuarios comunitarios en las áreas naturales protegidas.</p>
<b>Objetivo:</b>	Reducir la vulnerabilidad de los sectores productivos o sociales ante el impacto del cambio climático
<b>Estrategias:</b>	<p>Implementar acciones que ayuden a reducir las pérdidas de bienes sociales, económicos y naturales provocados por los eventos climáticos extremos.</p> <p>Fortalecer la gestión sustentable de los recursos hídricos en los centros de población vulnerables ante el cambio climático.</p>
<b>Eje:</b>	Yucatán Competitivo
<b>Tema:</b>	Desarrollo rural y Agroindustrial
<b>Objetivo:</b>	Incrementar la rentabilidad de la producción agropecuaria del estado
<b>Estrategias:</b>	Reducir la contaminación del manto freático mediante el uso generalizado de biodigestores en granjas pecuarias del estado.
<b>Eje:</b>	Yucatán Incluyente
<b>Tema:</b>	Superación del rezago
<b>Objetivo:</b>	Reducir el número de personas que viven con tres o más carencias sociales en el estado
<b>Estrategias:</b>	<p>Impulsar y fortalecer programas enfocados a abatir rezagos en electrificación y agua potable para las viviendas en localidades marginadas.</p> <p>Impulsar una cultura donde los procesos productivos, de atención sanitaria, construcción y uso de la vivienda implementen tecnologías que protejan el medio ambiente.</p>

## Bibliografía

Anónimo, 1989. Sitios para la perforación de pozos de abastecimiento de buena calidad para su uso como agua potable para la localidad de Telchac Puerto. Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán. Unidad de Posgrado e Investigación. Coordinación Académica de Hidrología. Mérida, Yucatán, México.

Batllori E., Torrijos J. y Febles, J. 1991. Programa de Manejo de la Reserva Estatal de El Palmar, Yucatán: Hidrología. Secretaría de Ecología, Gob. del Edo. de Yuc.; Manejo de Recursos Silvestres, A.C. Mérida, Yuc., Mex.

Batllori, E., J. Trejo, J. Febles, P. Dzib y R. Tuyub. 1993. Caracterización y uso del recurso hídrico del Municipio de Sinanché, Yucatán. In Dickinson F. y Ortega, J., Evaluación ecológica, social y de salud en el Municipio de Sinanché, Yucatán. Fase II. Reporte final del proyecto. Sección de Ecología Humana, CINVESTAV-IPN Unidad Mérida.

Batllori, E. 1995. Hidrología de la región costera noroccidental del Estado de Yucatán. Tesis para obtener el grado de Doctor en Ciencias Geográficas. Universidad de La Habana. Facultad de Geografía. La Habana, Cuba.

Batllori, E.; J.L. Febles y J. Díaz. 1999. Landscape change in Yucatan's northwest coastal wetlands (1948 – 1991). Human Ecology Review. Vol. 6 Núm. 1. 8 -20 p.

Batllori, E, y J.L. Febles 2007. Hidrología superficial de la región costera del Estado de Yucatán. In: Programa de Ordenamiento Ecológico del Territorio Costero del Estado de Yucatán. Gobierno del Estado de Yucatán. 2007. México.

Castillo, B.E., R.M. Sauri; B.M. Comas and N.R. Méndez 1995. Metales traza en los lixiviados generados en un proceso de composteo a ciclo abierto. Boletín Académico de la Facultad de Ingeniería de la UADY. Mérida Yucatán.

CNA 2008. Problemática del acuífero Península de Yucatán y acciones requeridas para su conservación. Organismo de Cuenca Península de Yucatán. Dirección Técnica. Comisión Nacional del Agua. SEMARNAT. México. Pp41

Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios 2009, Calidad sanitaria del agua de mar para uso recreativo (Consulta Web: <http://201.147.97.103/wb/cfp/progreso> del 26 de marzo de 2009).

DAICOS SA de CV, 2011. Diagnóstico y proyecto ejecutivo del alcantarillado y saneamiento de la Ciudad de Mérida, considerando Centro Histórico, zona de transición y zona conurbada. CNA, JAPAY-SEDUMA, Ayuntamiento de Mérida. Yucatán, México.

Escolero, O., L.E. Marín, B. Steinich, J.A. Pacheco, S.A. Cabrera and J. Alcocer, 2002. Water Resources Management 16: 351-367.

Escolero, O., L.E. Marín, B. Steinich, J.A. Pacheco, A. Molina-Maldonado and J.M. Anzaldo, 2005. Geochemistry of the hydrogeological reserve of Mérida, Yucatán, México. Geofísica Internacional. Vol. 44 No. 3, pp301-314.

Evaluación de los ecosistemas del Milenio 2009.  
<http://www.millenumassessment.org/en/index.aspx,2009>

Facultad de Ingeniería, 2008. Evaluación ambiental del exbasurero de Mérida. Universidad Autónoma de Yucatán y Gobierno del Estado de Yucatán. pp 210.

Febles, J. L, Batllori 1995. Fluctuación Diurna del nivel hidrostático en petenes de la cuenca costera noroccidental del estado de Yucatán: efecto del desazolve y canalización de manantiales. Ingeniería Hidráulica en México.

González-Herrera, R., I. Sánchez-Pinto and J. Gamboa-Vargas, 2002. Groundwater-flow modeling in the Yucatán karstic aquifer, México. Hydrogeology Journal. (10):539-552.

González R, Rodríguez R, Vadillo I y Carrasco F (2004). Sistema redox en un acuífero carbonatado afectado por lixiviado de basureros. Revista Latino-Americana de Hidrogeología, n.4, pp. 71-79.

Graniel, C.E., L.B. Morris and J.J. Carrillo-Rivera, 1999. Effects of urbanization on groundwater resources of Mérida, Yucatán, México. Environmental Geology 37 (4) : 303 – 312.

González, L., M. Martínez, M. Mejía y C. Gutiérrez, 2003. Definición de reglas de Operación del Acuífero Costero de la Península de Yucatán, Primera Parte. Proyecto TH-0218. Coordinación de Tecnología Hidrológica, Subcoordinación de Hidrología Subterránea, IMTA - CNA. México

Hernández, L.; Rebolledo V.M.; Almazán, B.A y F. Valadéz. 2011. Propuesta de creación de una reserva geohidrológica para el norte del Estado de Yucatán. Reporte Final CONACYT-FOMIX. Centro de investigación Científica de Yucatán, A.C. Mérida, Yucatán. México.

Herrera-Silveira, J. 1996. Comunidades de productores primarios asociados a las lagunas costeras en el norte de la costa de Yucatán. In: Proyecto de Ordenamiento Ecológico del Territorio Costero de Yucatán. PRONATURA-CINVESTAV-IPN, Unidad Mérida. North American Wetlands Conservation Council. 2000. Yucatán, México.

Ingeniería, Obras y Servicios a la Industria, SA de CV, 2010. Estudio costo – beneficio a nivel prefactibilidad del sistema de tratamiento de excretas porcinas en la zona noreste del Estado de Yucatán. Secretaría de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente del Estado de Yucatán. México.

Iracheta, A. y cols. 2009. Programas regionales del Estado de Yucatán, Región II Noroeste. Versión Preliminar. Secretaría de Planeación y Presupuesto, Gobierno del Estado de Yucatán.

Lesser, J.M. y A.E. Weidie, 1988. Región 25, Yucatán Península. The Geological Society of America, The Geology of North America. V. 0-2 Hidrogeology Chapter 28, pp 237-241.

Lesser, H. 1976. Estudio geohidrológico e hidrogeoquímico de la Península de Yucatán. SARH. México, D.F. 62 p.

López Ramos, E. 1973. Estudio Geológico de la Península de Yucatán. Enciclopedia Yucatanense, Tomo X: Explicación necesaria. Geología peninsular. Cultura Maya. Límites con Quintana Roo. Edición Oficial del Gobierno de Yucatán, México. p. 33-75.

Lugo-Pech, C., 1994. Modelo Matemático del Comportamiento Hidrodinámico del Acuífero de Sierra Papacal, Yucatán. Tesis de Grado. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, Yucatán, México.

Marín L., R. Sanborn, A. Reeve, T. Felger, J. Gamboa, E.C. Perry and M. Villasuso. 1988. Petenes: a key to understanding the hidrology of Yucatan, Mexico. International Association of Hydrogeologist, International Symposium on the Hydrology of Wetlands in Semi-Arid and Arid Areas. Seville, Spain. May- 9-12, 1988.

Marin, L. E. 1990. Field investigations and numerical simulation of ground-water flow in the karstic aquifer of northwestern Yucatan, Mexico. Dissertation submitted for the degree of Doctor of philosophy. Dekalb, Illinois, U.S.A. 182 pp.

Marín, I.E.; Steinich, B.; Pacheco, J., y O. Escolero. 2000. Hydrogeology of contaminated sole-source karst aquifer, Merida, Yucatán, México. Geofísica Internacional (2000) Vol. 39, Num 4, pp 359-365.

Méndez Novelo, R, Castillo Borges, E., Vázquez Borges, E., Briceño Pérez, O., Coronado Peraza, V., Pat Canul, R. y Garrido Vivas, P. 2009 Estimación del potencial contaminante de las granjas porcinas y avícolas del estado de Yucatán. Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY, 13-2, pp. 13-21.

Méndez Ramos, R. 1994. Justificación técnica para la reglamentación del acuífero de Yucatán. Comisión Nacional del Agua (CNA). Gerencia Estatal en Yucatán. Documento Interno. Yucatán, México.

Mitsch, W. y J. Gosselink. (1993). Wetlands. Second Edition. Van Nostrand Reinhold, New York, USA, 628-637 p.

Pacheco A. J. Sauri, Ma. Rosa R. Cabrera, Armando S. 1997. Impacto de la Porcicultura en el Medio Ambiente. Ingeniería, Revista Académica de la Facultad de Ingeniería. Yucatán, México. Vol 1 No. 3 Pp. 53-58.

Pérez Ceballos, R.Y. 2011. Modelo Hidrogeoquímico para la zona del anillo de cenotes de Yucatán, México. Tesis de Grado Doctor en Ciencias. CINVESTAV-IPN, Unidad Mérida, Depto. Recursos del Mar. Yucatán, México.

Perry, E., J. Swift, J. Gamboa, A. Reeve, R. Sanborn, L. Marín y M. Villasuso. 1989. Geologic and environmental aspects of surface cementation, north coast, Yucatan, Mexico. Geology, Vol. 17: p. 818-821.

Perry, E., Marin, L., McClain J y Velázquez G. 1995. Ring of Cenotes (sinkholes), northwest Yucatan, México: Its hydrogeologic characteristics and possible association with the Chicxulub impact crater. Geology p.17-20.

Perry, E. and G. Velázquez. (1993), Determination of flow directions in the ring of cenotes in the Yucatán State, Mexico. (abs): Geos (Unión Geofísica Mexicana), V. 13, No. 5, pp 59.

Perry, E., Velazquez-Oliman, G., and Marín, L., 2002. The hydrogeochemistry of the karst aquifer system of the northern Yucatán Peninsula, México. International Geology. 191-221.

Polanco, R.A. 2011. Atlas de riesgo por contaminantes orgánicos persistentes –COPs- (pesticidas) y su relación a cánceres en Yucatán. México. UADY-CONACYT. Yucatán, México.

Programa de Ordenamiento Ecológico del Territorio Costero del Estado de Yucatán. Decreto Número 801, Diario Oficial del Estado de Yucatán, Julio 2007.

Rodríguez, F.G. 2010. Expresión genética en peces cebra enjaulados como indicadores de exposición a contaminantes en cuerpos de agua en la zona norte de Yucatán. Reporte Técnico Final. In: Hernández, L.; Rebolledo V.M.; Almazán, B.A y F. Valadéz. 2011. Propuesta de creación de una reserva geohidrológica para el norte del Estado de Yucatán. Reporte Final CONACYT-FOMIX. Centro de investigación Científica de Yucatán, A.C.. Mérida, Yucatán. México.

Steinich, B. y L. Marín, 1997. Determination of flow characteristics in the aquifer of the northwestern Península of Yucatán, Mexico. *Journal of Hydrology* 191 : 315-331.

Tinajero González, J.; L. Velázquez A. y F. D. Zúñiga O. 1981. Estudio de las características geohidrológicas del acuífero en el área de Mérida, Yucatán, y diagnóstico de la contaminación del agua y propuestas de solución para su manejo adecuado. Informe para Discusión, CAP. II.2 del Proyecto CPNH-IAS 8104. Yucatán, México.

Trejo, P.J., 1988. Estudio del Sistema CO<sub>2</sub>-carbonatos en la laguna de Celestún. Tesis. Maestro en Ciencias, CINVESTAV, U. Mérida. México.

Trejo, R. (1996) Procesamiento de la basura – México. Editorial Trillas México D.F. 283 p.

Velázquez, G. 1995. Estudio geoquímico del anillo de cenotes, Yucatán. Tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geofísica. México, D.F. 77 pp.

Villasuso, M y Cols., 1989. Hurricane Gilbert Effects on the Karstic Aquifer NNW of Yucatan, Mexico. Hydrochemical and Geohydrological Historical data. Seminario sobre avances recientes en la Administración del recurso hidráulico. Facultad de Ingeniería, UADY-Univ. de Winsconsin. USA. Mérida, Yucatán, México. Sociedad Mexicana de ingeniería Ambiental y Sanitaria A.C. VI Reunión Regional y I Peninsular. 26 y 27 abril. Perspectivas de la Ingeniería Sanitaria y Ambiental en la Península de Yucatán.

Villasuso Pino, M. J. y R. Méndez Ramos. 1996. Modelo Conceptual del acuífero de la Península de Yucatán. Proyecto Población-Desarrollo-Medio ambiente. IIASA, CINVESTAV IPN. Reporte Interno. Yucatán, México. p. 18.