

# **Programa Nacional Contra la Sequía**

## **PRONACOSE**

### **ETAPA 2 DE 6:**

## **Programa de Medidas Preventivas y de Mitigación de la Sequía (PMPMS)**

## **Ciudad de Mérida**

Elaborado por:

Universidad Autónoma de Yucatán

Responsable: Dr. Héctor Estrada Medina

Coordinador: M. en C. Santiago Franco Brito

Colaboradores: Biol. Ana María Moreno Arjona

P. en Biol. Mar. Adrian Andrés Morales Guadarrama

P. en Agroec. Oscar Omar Álvarez Rivera

**Diciembre 2014**

## ÍNDICE

<b>CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN</b> .....	10
<b>CAPITULO 2. ¿QUÉ SON LAS SEQUÍAS?</b> .....	14
<b>2.1 Tipos de sequía</b> .....	14
<b>2.2 Impactos de la sequía</b> .....	16
<b>2.3 Rangos de intensidad de la sequía</b> .....	17
<b>2.4 Indicadores de sequía</b> .....	19
<b>CAPITULO 3. Marco Legal e Institucional de la gestión urbana del agua</b> ....	22
<b>3.1 Marco Legal e Institucional Nacional</b> .....	22
<b>3.2 Marco Legal e Institucional Estatal</b> .....	33
<b>3.3 Marco Legal e Institucional Local</b> .....	36
<b>CAPITULO 4. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA CIUDAD</b> .....	38
<b>4.1 Zona de estudio</b> .....	38
<b>4.2 Población</b> .....	39
<b>4.3 Caracterización del abastecimiento de aguas en la ciudad de Mérida</b> ..	43
<b>4.4 Generalidades del organismo operador</b> .....	43
<b>4.5 Geología, relieve y Suelos</b> .....	46
<b>4.6 Actividades económicas</b> .....	46
<b>CAPITULO 5. INFORMACIÓN CLIMÁTICA DE MÉRIDA</b> .....	47
<b>5.1 Temperaturas máximas, mínimas y medias</b> .....	48
<b>5.2 Precipitación y Evaporación</b> .....	49
<b>5.3 Sequías hidrológicas</b> .....	50
<b>CAPITULO 6. EVALUACIÓN DE LA OFERTA /ABASTO DE AGUA</b> .....	53
<b>6.3 Fuentes de abastecimiento</b> .....	53
<b>6.1 Infraestructuras y abastecimiento de agua potable</b> .....	55
<b>6.4 Infraestructura de conducción y distribución de agua potable</b> .....	56
<b>6.2 Servicio de agua potable</b> .....	57
<b>6.2.1 Pozos auxiliares, estaciones de bombeo y tanques elevados</b> .....	57
<b>6.5 Tomas de agua potable</b> .....	62
<b>6.6 Servicio de alcantarillado</b> .....	63
<b>6.7 Plantas de tratamiento</b> .....	65

6.8 Volúmenes de agua del sistema y micromedición .....	68
6.9 Calidad del sistema de abastecimiento de agua potable.....	69
6.9.1 Desinfección del agua .....	69
6.9.2 Mantenimiento del sistema, presión y fugas .....	70
6.10 Autosuficiencia financiera .....	70
6.11 Costos unitarios de producción y de operación.....	71
6.12 Macromedición.....	72
<b>CAPITULO 7. EVALUACIÓN DE LA DEMANDA/CONSUMO DE AGUA .....</b>	<b>74</b>
7.1 Cobertura de agua potable .....	74
7.2 Consumo y dotación per cápita.....	79
7.3 Eficiencias del sistema de abastecimiento de agua potable.....	79
7.3.1 Eficiencia comercial.....	79
7.3.2 Eficiencia física .....	81
7.3.3 Eficiencia global .....	82
<b>CAPITULO 8. BALANCE DE AGUA Y EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD INSTALADA 86</b>	
8.1 Disponibilidad de agua .....	86
8.2 Balance de agua .....	86
8.3 Capacidad de abasto/capacidad instalada .....	87
8.4 Variaciones estacionales de oferta y demanda .....	87
<b>CAPITULO 9. ESCENARIOS FUTUROS DE LA PRODUCCIÓN Y CONSUMO .....</b>	<b>90</b>
9.1 Prospección de demanda de agua en la ciudad .....	94
9.2 Prever la posibilidad de una sequía, reducción de la disponibilidad y producción de agua .....	95
9.3 Manejo urbano del agua frente al crecimiento demográfico y disponibilidad de agua ocasionada por el cambio climático. ....	97
<b>CAPITULO 10. ANÁLISIS DE MEDIDAS PARA LA GESTIÓN DEL AGUA EN SEQUÍAS 99</b>	
10.1 Deficiencias de la gestión .....	99
10.3 Acciones propuestas para prevenir la sequía por el organismo operador .....	102

<b>10.4 Acciones de mitigación recomendadas a los organismos operadores</b>	104
<b>10.5 Posibles fuentes alternas de abastecimiento</b>	111
<b>10.6 Reglas de operación y ámbitos de suministro del sistema de agua potable</b>	114
<b>10.7 Acciones del organismo operador frente a la sequía</b>	117
<b>10.8 Procedimiento para la elaboración de un Plan Municipal contingente para la mitigación de la sequía</b>	119
<b>10.9 Recomendaciones para la difusión y actualización del PMPMS</b>	124
<b>10.10 Frecuencia y actualización de los PMPMS</b>	125
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	126
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	127

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4.1 Mapa de la Ciudad de Mérida .....	38
Figura 4.2 Evolución de la demografía de Mérida 1921-2010 .....	39
Figura 4.3 Organigrama del sistema operador JAPAY .....	45
Figura 5.1 Ubicación de las estaciones meteorológicas en la localidad de Mérida .....	47
Figura 5.2 Promedios histórico de temperaturas máximas, mínimas de la ciudad de Mérida (1990-2013) .....	48
Figura 5.3 Promedio histórico mensual de precipitación y evaporación de la ciudad de Mérida (1990-2013) .....	49
Figura 5.4 Monitor de sequía de la Ciudad de Mérida periodos mensuales de 2008 a 2012 .....	52
Figura 6.1 Ubicación de las cuatro plantas potabilizadoras de la ciudad de Mérida con las zonas de captación y numero de pozos .....	54
Figura 6.2 Ubicación de los pozos de la ciudad de Mérida .....	58
Figura 6.3 Ubicación de las estaciones de bombeo en la ciudad de Mérida.....	60
Figura 6.4 Ubicación de los tanques elevados de la ciudad de Mérida.....	61
Figura 6.5 Numero de tomas de aguas potable registradas de 2005 a 2013.....	63
Figura 6.6 Mapa de la ubicación de las plantas de tratamiento de la ciudad de Mérida .....	67
Figura 6.7 Ingresos y egresos del abastecimiento de agua potable de Mérida.....	71
Figura 6.8 Costos unitarios por toma de agua y metro cubico histórico de 2005 a 2013 .....	72
Figura 7.1 Eficiencia comercial del sistema de abastecimiento de agua potable en Mérida.....	80
Figura 7.2 Eficiencia física del abastecimiento de Mérida de 2010 a 2013 .....	82
Figura 7.3 Eficiencia global histórica del sistema de abastecimiento de Mérida de 2010 a 2013.....	83
Figura 7.4 Ingresos unitarios por toma de agua, ingresos promedio y de venta .....	85
Figura 9.1 Proyecciones del incremento de la población de la ciudad de Mérida (2015-2030).....	90

Figura 9.2 Proyección del consumo de agua para la ciudad de Mérida con un escenario tendencial .....	91
Figura 9.3 Proyección del consumo de agua para la ciudad de Mérida con un escenario optimista.....	92
Figura 9.4 Proyección del consumo de agua para la ciudad de Mérida con un escenario pesimista.....	93

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Lista de impactos directos e indirectos de la sequía por sector en las ciudades .....	17
Tabla 3.1 Normas Oficiales Mexicanas relacionadas con el recurso agua .....	25
Tabla 3.2 Leyes y Planes relacionados con el manejo del recurso agua en el Estado de Yucatán .....	33
Tabla 4.1 Características de la población de la ciudad de Mérida año 2010 .....	39
Tabla 4.2 Proyecciones de la población de Mérida para los años 2015, 2020, 2025 y 2030 .....	40
Tabla 4.3 Indicadores socioeconómicos y grado de marginación de la ciudad de Mérida (2010) .....	41
Tabla 4.4 Índice de Desarrollo Humano de Mérida al 2012 .....	42
Tabla 5.1 Intensidad de las sequías mensuales de la ciudad de Mérida de 2008 a 2013. El tipo de sequía representa el tipo más severo del mes y año correspondiente. ....	50
Tabla 6.1 Características de las plantas potabilizadoras de la ciudad de Mérida. ....	53
Tabla 6.2 Fuentes futuras de abastecimiento de agua para la ciudad de Mérida al año 2030. ....	55
Tabla 6.3 Volumen de agua extraída en las fuentes de abastecimiento de agua para la ciudad de Mérida al 2013 .....	55
Tabla 6.4 Características de tuberías de conducción y distribución de agua potable (diámetros y longitudes) de Mérida .....	56
Tabla 6.5 Número y capacidad de sistemas de almacenamiento y regularización de agua potable en la ciudad de Mérida al 2013. ....	59
Tabla 6.6 Número, tipos de tomas, con medidor, sin medidor, tomas con servicio continuo de 2010 a 2013.....	62
Tabla 6.7 Diámetro y longitud del alcantarillado, año 2013.....	64
Tabla 6.8 Conexiones a la red de alcantarillado clasificadas de acuerdo a los tipos de usos .....	64
Tabla 6.9 Tipos de plantas de tratamiento, capacidad instalada y caudal de operación reportados al año 2012. ....	65

Tabla 6.10 Tipos de plantas de tratamiento, capacidad instalada, caudal de operación, volumen de agua descargada y porcentaje de eficiencia de los años 2010 a 2013 de la ciudad de Mérida.....	65
Tabla 6.11 Total de agua introducida, micromedida y estimada, pérdidas de agua de la red y la captación per cápita de Mérida de 2010 a 2013.....	68
Tabla 6.12 Cobertura de la macromedición en las fuentes de abastecimiento de Mérida.....	73
Tabla 7.1 Cobertura del servicio de agua potable para la ciudad de Mérida de 2010 a 2013 .....	74
Tabla 7.2 Distribución de los consumidores de agua, tomas de agua potable activas por tipo de usuario para la ciudad Mérida (2010-2013) .....	74
Tabla 7.3 Principales usuarios más demandantes de agua por sector año 2013 .....	77
Tabla 7.4 Principales usuarios con más concesiones de agua potable por tipo de uso de agua.....	78
Tabla 7.5 Dotación per cápita de agua potable para los habitantes de Mérida de 2010 a 2013 .....	79
Tabla 7.6 Consumo per cápita (L/h/d) de la ciudad de Mérida. ....	79
Tabla 7.7 Volúmenes de producción y porcentajes de eficiencias históricas de la JAPAY de 2008 a 2013.....	84
Tabla 8.1 Balance de agua en m <sup>3</sup> 2013.....	86
Tabla 8.2 Producción y consumo anual contra capacidad instalada de 2010 a 2013	87
Tabla 8.3 Dotación mensual por habitante del sistema de abastecimiento de aguas de Mérida. 2010-2013(m <sup>3</sup> ).....	88
Tabla 8.4 Capacidad instalada anual del sistema de abastecimiento de agua de Mérida 2010-2013 (Millones de m <sup>3</sup> ).....	88
Tabla 8.5 Proporción de la dotación y consumo mensual, y la capacidad instalada mensual de 2010 a 2013 .....	89
Tabla 9.1 Prospección histórica de demanda de agua en la ciudad de Mérida de 2014 a 2030.....	94
Tabla 10.1 Análisis de problemáticas para guiar las acciones de prevención.....	99
Tabla 10.2 Factores desencadenantes de la sequía en la ciudad.....	101
Tabla 10.3 Acciones de prevención de la sequía recomendadas para el organismo operador.....	102



Tabla 10.4 Acciones de mitigación propuestas por el organismo operador en un escenario de escasez de agua.....	103
Tabla 10.5 Problemas que deberían solventarse para garantizar el abasto de agua potable de acuerdo a un incremento de población.....	104
Tabla 10.6 Acciones de mitigación según nivel de sequía. Sector Gubernamental....	105
Tabla 10.7 Acciones de mitigación según nivel de sequía. Sector residencial. ....	107
Tabla 10.8 Acciones de mitigación según nivel de sequía. Sector comercial.....	108
Tabla 10.9 Acciones de mitigación según nivel de sequía. Sector industrial.....	109

## **CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN**

Las ciudades son grandes consumidores de recursos; uno de estos recursos es el agua, el cual está presente en prácticamente todas las actividades cotidianas de sus habitantes. El papel que desempeña el agua en las ciudades es tal importancia, que tiene su propio ciclo denominado “ciclo urbano del agua”. El ciclo urbano del agua se planifica y estructura en base a la demanda de los usuarios (comercial, industrial, doméstico); este ciclo comprende cinco fases, que son: captación, procesado, suministro, saneamiento y depuración (Sánchez, 2014).

Dos de los principales desafíos en materia de agua que afectan la sostenibilidad de los asentamientos urbanos son la falta de acceso a agua potable y saneamiento y, el aumento de desastres relacionados con el agua como inundaciones y sequías. Estos problemas conllevan enormes consecuencias para la salud, el bienestar de la población, la seguridad, el medio ambiente, el crecimiento económico y el desarrollo. Por ello las acciones del organismo operador de agua potable son muy importantes, ya que de él depende el manejo y distribución del agua en las ciudades (ONU, 2014).

La sequía es definida como la disminución de la precipitación pluvial, que afecta las actividades humanas, contribuyendo a un fenómeno de carácter temporal que se presenta en todas las zonas climáticas; se reconoce que las sequías han incrementado su frecuencias e intensidad en las últimas décadas debido al cambio climático (INDECI., 2006).

Se ha observado que el cambio climático ha alterado los patrones de ocurrencia de las inundaciones y sequías por lo que los organismos operadores deben estar preparados para saber cómo hacer frente a estos fenómenos naturales y garantizar el abasto de agua para la población. La ciudad de Mérida no ha

enfrentado problemas severos de inundaciones debido al sustrato poroso, ni de sequía, debido a la gran cantidad de agua disponible en el acuífero. Sin embargo si se han presentado episodios de escasez de agua debido a fallas en el organismo operador provocadas por huracanes.

En México la sequía afecta a más personas que cualquier otra contingencia natural; en la Península de Yucatán a pesar de tener una zona con un vasto manto acuífero, se ha declarado sequía en siete ocasiones, dos en Campeche, dos en Quintana Roo y tres en Yucatán, aunque de manera no tan severa como en otras partes del país (CONAGUA, 2013a).

Como consecuencia de los efectos de la sequía en México durante los últimos años, el Gobierno Federal instituyó, en el año 2013, el Programa Nacional Contra la Sequía (PRONACOSE), en cuya primera etapa se realizó el Programa de Medidas Preventivas y de Mitigación de la Sequía (PMPMS) para cada consejo de cuenca a nivel nacional.

El PMPMS del Consejo de Cuenca Península de Yucatán fue elaborado conjuntamente entre la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY) y la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), con apoyo de los usuarios del recurso agua de los diversos sectores representados en el los consejo de Cuenca de los estados de Campeche, Quintana Roo y Yucatán (academia, acuícola, agrícola, ambiental, distritos de temporal tecnificado, equidad y género, forestal, indígena, industrial, investigación, pecuario, público urbano y servicios).

Para la segunda etapa del PRONACOSE, que se desarrolló durante este año, se realizó el PMPMS a nivel sistema de aguas a nivel sistema de agua, para dos de las ciudades más importantes de la península de Yucatán. La ciudad de Mérida,

Yucatán y la ciudad de Cancún, Quintana Roo, en con el fin de implementar acciones emergentes para prevenir y mitigar los efectos causados por la sequía. En este documento se presenta el PMPMS de la ciudad de Mérida, para el cual se realizó un diagnóstico de la situación actual del organismo operador de la ciudad, la Junta de Agua Potable y Alcantarillado (JAPAY).

En Mérida, Yucatán los periodos de mayor demanda de agua se han subsanado con el aumento de las extracciones de agua subterránea; sin embargo, esto no es lo más adecuado pues no sabemos aún la cantidad de agua que puede ser extraída del acuífero sin generar problemas ambientales, por lo que se sugiere en el Programa de medidas preventivas y de mitigación de la sequía (PMPMS) aquí presentado, comenzar a adoptar estrategias de control y reducción de la demanda. Una de las principales medidas que debe adoptar el organismo operador es la reducción de pérdidas para incrementar la eficiencia física.

La elaboración de Programas de Medidas de Prevención y Mitigación de la Sequía (PMPMS) en las ciudades, representa un requisito legal para los sistemas de abastecimiento de agua de poblaciones con más de 20,000 habitantes. (CONAGUA, 2014a).

El objetivo general de un PMPMS urbano es desarrollar y proponer medidas preventivas y de mitigación de la sequía, a nivel del sistema de agua de una ciudad. Entre los objetivos particulares se encuentran:

- Recopilar y analizar la información de temperaturas, Máximas, Medias, Mínimas, Precipitación y Evaporación de las estaciones meteorológicas.
- Evaluar la oferta y demanda del sistema hídrico urbano.
- Realizar un balance hídrico (diferencias entre oferta y demanda) para determinar la disponibilidad de agua.
- Construir escenarios futuros de consumo de agua en 5, 10 y 15 años.

- Identificar las deficiencias en la gestión del agua.
- Análisis de la gestión del agua en sequías.
- Identificar los desencadenantes de la declaración de sequía.
- Acciones y alternativas de los organismos operadores de agua, para enfrentar la sequía.

La información requerida para esto fue obtenida del organismo operador, gobierno municipal, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) y otras dependencias municipales, estatales y federales.

## **CAPITULO 2. ¿QUÉ SON LAS SEQUÍAS?**

La sequía es considerada un fenómeno climático recurrente caracterizado por una reducción en la precipitación pluvial, que no presenta comportamientos definidos y tiende a extenderse de manera irregular a través del tiempo y el espacio (Wilhite y Glantz, 1985).

La severidad de una sequía depende no solamente del grado de reducción de la lluvia, su duración o su extensión geográfica, sino también de las demandas del recurso hídrico para la permanencia de los sistemas naturales y para el desarrollo de las actividades humanas (Wilhite y Glantz, 1985).

### **2.1 Tipos de sequía**

De manera general se aceptan los siguientes tipos de sequía: meteorológica, agrícola, hidrológica, socioeconómica (Valiente, 2001) y operativa (Estrela, 2006). A continuación se describe cada uno de los tipos de sequía, la mayoría de estas definiciones especifican el inicio, severidad, fin e incluso frecuencia de la misma, y hacen referencia al sector, sistema o grupo social impactado por este fenómeno meteorológico.

#### **2.1.1 Sequía Meteorológica**

Está basada en datos climáticos y es una expresión de la desviación de la precipitación respecto a la media en un tiempo determinado. Existen diversas opiniones sobre cuánto tiempo tiene que durar esta desviación para considerarla sequía, por lo que muchas definiciones no cuentan con umbrales fijos. Por ejemplo, para Palmer, (1965) dicha inconsistencia de la precipitación debe de durar meses para considerarse sequía, mientras que otros autores como Russell, (1970) son más ambiguos en la definición de la duración, estableciendo que es una “falta prolongada de precipitación”.

Existen diversas definiciones específicas de sequía meteorológica para cada región particular, ya que varía según las características del clima regional. Entre los métodos de cuantificación de esta sequía se encuentran el porcentaje de la precipitación media, cuantiles, desviación estandarizada de precipitación, Índice de Severidad de la Sequía de Palmer, Índice Normalizado de Precipitación, Índice de Sequía Oferta-Demanda, Índice Nacional de Lluvia, Índice de sequedad SI, Coeficiente hidrotérmico, Índice de Anomalía de Precipitación, Precipitación efectiva, Índice de Sequía y el Índice Estandarizado de Precipitación (Valiente., 2001).

### **2.1.2 Sequía Agrícola**

Las sequías agrícolas suceden cuando no existe suficiente humedad en el suelo para permitir el desarrollo normal de determinado cultivo en cualquiera de sus fases de crecimiento. Este es el primer sector económico que se ve afectado por la reducción en la precipitación (Valiente., 2001).

Esta definición operativa tampoco cuenta con umbrales de sequía específicos ni válidos, puesto que los requerimientos de la humedad en el suelo son diferentes según el tipo de cultivo, su fase de desarrollo y su ubicación geográfica (Valiente., 2001).

La determinación de este tipo de sequía está basada en datos meteorológicos, así como en las características biológicas del cultivo en cuestión y de las propiedades del suelo sobre el cual se encuentre dicho cultivo (Valiente., 2001). Entre los métodos de cuantificación de esta sequía se encuentran el Índice Z, Índice de Humedad del Cultivo, Índice de Sequía Específico de Cultivo, Índice de Aporte de Agua Superficial, Lluvias dependientes y el Índice DM de sequedad-humedad. (Valiente, 2001).

### **2.1.3 Sequía Hidrológica**

Sucede cuando se reduce el caudal o volumen de aguas superficiales o subterráneas. No se considera un indicador del inicio de una sequía debido a que existe un desfase entre el inicio de ésta y la reducción de los caudales, pero puede ser utilizada como un indicador de intensidad de una sequía. (Valiente, 2001).

Entre los métodos de cuantificación de esta sequía se encuentran el Índice Hidrológico de Sequía de Palmer, Índice de Sequía por Humedad en el Suelo, Índice de Sequía-Demanda y el Índice de Sequía Keetch-Byram (Valiente, 2001).

### **2.1.4 Sequía Socioeconómica**

Resulta de la disminución en la disponibilidad de agua que ocasiona daños económicos y/o personales a una población debido a la falta de precipitación. Su intensidad depende de que tan dependiente sean las actividades socioeconómicas del recurso agua. Sus efectos se miden en relación a pérdidas materiales, población afectada o en casos graves, por número de fallecidos (Valiente, 2001).

### **2.1.5 Sequía operativa**

La sequía operativa se presenta cuando la demanda no es satisfecha por el organismo operador, esto puede deberse a fallos en el sistema de abastecimiento, escasez del recurso o exceso de demanda o gestión inadecuado del sistema de abastecimiento (Estela, 2006; García, 2006).

## **2.2 Impactos de la sequía**

La sequía impacta de diferentes formas, y su definición puede variar de acuerdo a enfoque o a la actividad económica desde la cual se analice (CENAPRED,



2002), en el caso de México los sectores más vulnerables a sufrir daños por sequía son el agrícola y ganadero, aunque también existen efectos ambientales como la desecación de cuerpos de agua e incremento de los incendios forestales (Bravo *et al.*, 2006). En la tabla 2.1 se muestra el inventario de los diferentes impactos y daños que pueden ser causados por la sequía en las ciudades; en el caso de la ciudad de Mérida no se desarrollan actividades como la Agricultura y Ganadería.

Tabla 2.1 Lista de impactos directos e indirectos de la sequía por sector en las ciudades

<b>Tipo de efecto</b>	<b>Sector</b>	<b>Descripción</b>
<b>Efectos directos</b>	Agricultura	Esta actividad no se desarrolla en la ciudad
	Ganadería	Esta actividad no se desarrolla en la ciudad
	Medio Ambiente	Parques jardines áreas verdes (desatención de riego) Mayor vulnerabilidad ante plagas y enfermedades secundarias de insectos y hongos
	Gestión del Agua	Problemas de calidad del agua suministrada Problemas de abasto de agua.
<b>Efectos Indirectos</b>	Industria	Disminución de la producción hidroeléctrica Disminución en la productividad industrial
	Economía	Aumento de precios Disminución del turismo
	Salud Pública	Enfermedades, debido a la disminución de la calidad del agua
	Problemas Sociales	Acentúan las inequidades sociales (diferencia en presión, tandeos, costo del servicio diferencial)

Fuente: CENAPRED (2002); GEOSCOPIO (2014)

### **2.3 Rangos de intensidad de la sequía**

En el 2012 se publicaron en el DOF los “Lineamientos que establecen los criterios y mecanismos para emitir acuerdos de carácter general en situaciones de emergencia por la ocurrencia de sequía, así como las medidas preventivas y de mitigación que podrán implementar los usuarios de las aguas nacionales para lograr un uso eficiente del agua durante sequía”, documento en donde se

definen los rangos de intensidad de sequía de acuerdo a estándares internacionales que se presentan a continuación (DOF, 2012a; NADM, 2013):

- Anormalmente seco (D0): No es un tipo de sequía, más bien es una condición de sequedad. Existe riesgo de incendios por arriba del promedio y cuando es al concluir la sequía, existe un déficit persistente de agua (entre 5 y 10% respecto a la demanda).
- Sequía moderada (D1): Es cuando se presenta un alto riesgo de incendios, hay niveles bajos en arroyos, embalses y pozos, y existe escasez de agua. El déficit de agua es de 10 al 20% respecto a la demanda y se requiere restringir el uso de agua de manera voluntaria.
- Sequía severa (D2): Existe en el momento cuando hay un muy alto riesgo de incendios. La escasez de agua es común, el déficit es de 20 a 35% respecto a la demanda y se recomienda la imposición de reducción y restricción del uso del agua de manera obligatoria.
- Sequía extrema (D3): En este tipo de sequía existe un peligro extremo de incendio. El déficit de agua está entre el 35 y 50% respecto a la demanda. Las reducciones, restricciones y observancia de los programas de contingencia son rigurosamente observadas y sancionadas.
- Sequía excepcional (D4): Es cuando existe un riesgo de incendio excepcional, escasez de agua en los embalses, arroyos y pozos. El déficit de agua es superior al 50% respecto a la demanda. Se crean situaciones de emergencia debido a la ausencia de agua. En estos casos, lo más importante es proteger el consumo humano, y tener un cuidado extremo para que la situación no avance.

## **2.4 Indicadores de sequía**

Los indicadores de sequía son de utilidad para caracterizar y determinar la severidad de las sequías. Sin embargo, cada indicador o conjunto de indicadores miden la sequía en forma distinta y no existe un índice único que funcione bajo todas las circunstancias.

Es por esto que se han desarrollado diversos índices, los cuales utilizan diferentes datos, de acuerdo a las condiciones particulares de un área u objetivos específicos que se quieran alcanzar (Hispagua, 2014). Algunos de los índices más utilizados se describen a continuación:

### **2.4.1 Índice estandarizado de precipitación (SPI)**

El índice estandarizado de precipitación o índice de sequía meteorológica es un valor que resulta del análisis (metodología de pronóstico estadístico) de los registros de precipitación, esto incluye datos de la distribución de frecuencias mensuales y trimestrales de precipitación. Sirve para determinar la severidad y temporalidad de una sequía, así como también puede usarse para determinar periodos anormalmente húmedos (Guttman, 1999).

Fue formulado por Tom McKee, Nolan Doesken y John Kleist (McKee, et al., 1993) en el Centro Climatológico de Colorado para obtener una mejor representación de la sequedad y humedad anormales que la que se obtiene con el Índice de Severidad de la Sequía de Palmer. Desde entonces se ha convertido en uno de los índices para determinar sequía y su intensidad más utilizados.

El SPI se calcula en diversos intervalos de tiempo: 1, 3, 6, 12 y 24 meses con el fin de comparar información sobre el estado de precipitación a corto, mediano y largo plazo, con respecto a los periodos de tiempo en los registros históricos (Guttman, 1999).

### **2.4.2 Índice de sequía por escurrimiento SDI**

El índice de sequía por escurrimiento es un valor que resulta del análisis de los registros de escurrimiento o caudal en ríos y sirve para determinar la severidad y temporalidad de una sequía hidrológica. Este índice permite realizar una superposición de los datos para periodos de 3, 6, 9 y 12 meses dentro de cada año hidrológico de un intervalo de tiempo dado, y así poder comparar las diferencias en el escurrimiento de las cuencas (Nabaltis y Tsakiris, 2009).

A pesar de que existen otros índices (el Índice de Sequía Hidrológica de Palmer y el Índice de Suministro de Agua de Superficie) para detectar el tipo de sequía hidrológica, el SDI es más simple y efectivo, ya que no requiere de muchos datos (Nabaltis y Tsakiris, 2009).

**2.4.3. Índice de la Severidad de la Sequía de Palmer (PDSI):** se basa en el concepto de suministro de agua y sirve para medir la pérdida de humedad del suelo al proporcionar medidas estandarizadas de condiciones de humedad. Es ideal para áreas con topografía uniforme. Con los datos obtenidos se pueden hacer comparaciones entre condiciones locales y entre duraciones (León, 2009).

**2.4.4. Porcentaje de Precipitación Normal (PPN)** sirve para comparar la precipitación de un año dado con la precipitación media anual, la cual se obtiene mediante el promedio de las precipitaciones anuales que sucedieron en un periodo mayor a 30 años (León, 2009).

**2.4.5. Índice de Suministro de Agua Superficial (SWSI)** es implementado para conocer las condiciones de humedad superficial y complementa el PDSI, ya

que se puede aplicar para zonas con variaciones topográficas y considera el almacenamiento de nieve y su escorrentía (León, 2009).

**2.4.6. Índice de Riesgo de Sequía (IRS)** sirve para estimar la severidad y duración de la sequía, así como para predecir su principio y su fin. Considera cuatro componentes: precipitación media anual corregida en función de la temperatura media anual, estacionalidad pluviométrica y variabilidad y persistencia de la sequía (León, 2009).

## **CAPITULO 3. MARCO LEGAL E INSTITUCIONAL DE LA GESTIÓN URBANA DEL AGUA**

### **3.1 Marco Legal e Institucional Nacional**

El proceso de integración del Programa de Medidas Preventivas y de Mitigación de la Sequía (PMPMS) de la ciudad de Merida, responde a principios que provienen de la normatividad de carácter nacional, estatal y municipal. Estos incluyen leyes, reglamentos, Normas Oficiales Mexicanas (NOM), acuerdos, programas, etc., que tienen relevancia directa o indirecta con la sequía en nuestro país.

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en su reforma publicada en el Diario Oficial de la Federación el 8 de febrero de 2012 (DOF, 2012b), establece en un nuevo párrafo que “toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible”. También menciona que es el Estado quien garantizará tal derecho, y la ley quien definirá las bases, apoyos y modalidades para el acceso y uso equitativo y sustentable de los recursos hídricos y establecerá la participación de la federación, entidades federativas, municipios e incluso la ciudadana para lograr dichos objetivos.

En su artículo 27, la Constitución menciona que las aguas comprendidas dentro del territorio nacional pertenecen a la Nación, quien a su vez puede transmitir el dominio de éstas a particulares y así formar la propiedad privada. También dictamina que las aguas del subsuelo pueden extraerse y apropiarse por el dueño del terreno, pero cuando sea necesario el Ejecutivo Federal podrá reglamentar su extracción y utilización. En el artículo 115 menciona ciertas funciones y servicios públicos que deberán estar a cargo de los Municipios, como el agua potable, drenaje, alcantarillado y disposición de sus aguas residuales.

Ley de Aguas Nacionales (DOF, 1992) tiene como objetivo regular la explotación, vedas, uso o aprovechamiento de aguas, así como su distribución, control y preservación de la calidad y cantidad con la finalidad de lograr su desarrollo integral sustentable. Sobre las vedas de alumbramiento de agua subterránea, en el 2013 se publicó el Acuerdo General por el que se suspende provisionalmente el libre alumbramiento en las porciones no vedadas, no reglamentadas o no sujetas a reserva de los 175 acuíferos que se indican (DOF, 2013a), esto con el fin de que se regule a nivel nacional la extracción, uso y aprovechamiento del agua del subsuelo para contribuir a un desarrollo sustentable mediante la regulación de la explotación del recurso hídrico.

También se encuentra la Ley de Contribución de Mejoras por Obras Públicas Federales de Infraestructura Hidráulica cuyo objetivo es regular las mejoras de obras públicas federales de infraestructura hidráulica construidas por dependencias de la Administración Pública Federal, que benefician en forma directa a personas físicas o morales, así como los sujetos obligados al pago de la contribución de dichas mejorías (DOF, 1990).

La Ley Federal de Derechos y Disposiciones Aplicables en Materia de Aguas Nacionales (CONAGUA, 2014b) dentro de sus artículos establece los pagos por servicios y bienes de la nación en materia de agua. En su última actualización del 11 de agosto de 2014 la Ley de Aguas Nacionales (DOF, 2014a) establece una observancia general en todo el territorio nacional con la finalidad de disponer un orden público e interés social así como regular la explotación, uso o aprovechamiento, distribución y control del recurso hídrico, preservando la calidad y lograr un desarrollo sustentable. Bajo el término “el agua paga el agua” esta ley busca sustentar el pago de los servicios hídricos para dar un manejo más eficiente de los mismos y ayudar a mitigar el impacto en dicho recurso y sus efectos sobre la explotación o contaminación del mismo. Otro aspecto importante tratado en esta ley se encuentra en el título tercero, capítulo único,

sección segunda: la importancia de una planeación hídrica obligatoria, en la cual se contempla la elaboración de subprogramas específicos regionales de cuencas hídricas, acuíferos, estados y sectores para atender problemas de escasez o contaminación del agua, o corregir la sobreexplotación. Además, indica que la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) es la responsable de integrar un Plan Nacional Hídrico, así como la actualización y vigilancia de su cumplimiento.

De igual manera, existen leyes que se relacionan indirectamente al sector agua, tales como la Ley de Obras Públicas (DOF, 2014b) y Servicios Relacionados con las mismas, la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (DOF, 2014c), la Ley de la Agencia Nacional de Seguridad Industrial (DOF, 2014d) y de Protección al Medio Ambiente del Sector Hidrocarburos, la Ley de Desarrollo Rural Sustentable (DOF, 2012c), la Ley General del Cambio Climático (DOF, 2014e) y la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Medio Ambiente (DOF, 2014f), las cuales establecen ciertas bases para el aprovechamiento sustentable, la preservación y la restauración del agua, así como la prevención y control de contaminación de la misma.

Actualmente están vigentes 21 Normas Oficiales Mexicanas con respecto al rubro agua las cuales abordan los temas de: establecimiento de límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales. En la Tabla 3.1 se presenta una lista de las normas más relevantes y su objetivo principal.



Tabla 3.1 Normas Oficiales Mexicanas relacionadas con el recurso agua

<b>Nombre</b>	<b>Objetivo</b>
<b>NOM-001-CONAGUA-2011</b> Sistemas de agua potable, toma domiciliaria y alcantarillado sanitario-Hermeticidad-Especificaciones y métodos de prueba (DOF, 2012d)	Garantizar la hermeticidad de los sistemas de agua y alcantarillado para evitar las pérdidas por fugas y la contaminación de acuíferos por infiltración de aguas residuales.
<b>NOM-002-CNA-1995</b> Toma domiciliaria para abastecimiento de agua potable-Especificaciones y métodos de prueba (DOF, 1996a).	Establecer las especificaciones y métodos de prueba que debe cumplir la toma domiciliaria para el abastecimiento de agua potable, con el fin de preservar el recurso hidráulico, sin alterar sus propiedades fisicoquímicas.
<b>NOM-003-CNA-1996</b> Requisitos durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación de acuíferos (DOF, 1997a).	Establecer los requisitos mínimos de construcción que se deben cumplir durante la perforación de pozos para la extracción de aguas nacionales y trabajos asociados, con objeto de evitar la contaminación de los acuíferos.
<b>NOM-004-CNA-1996</b> Requisitos para la protección de acuíferos durante el mantenimiento y rehabilitación de pozos de extracción de agua y para el cierre de pozos en general (DOF, 1998a).	Proteger la calidad del agua en los acuíferos durante los trabajos de mantenimiento, rehabilitación y cierre de pozos, sea en forma temporal o definitiva.
<b>NOM-011-CNA-2000</b> Conservación del recurso agua-Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales (DOF, 2002).	Establecer el método base para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales superficiales y subterráneas, para su explotación, uso o aprovechamiento.
<b>NOM-014-CONAGUA-2003</b> Requisitos para la recarga artificial de acuíferos con agua residual tratada (DOF, 2009a)	Establecer los requisitos que deben cumplir: la calidad del agua, la operación y el monitoreo utilizados en los sistemas de recarga artificial de acuíferos con agua residual tratada.
<b>NOM-015-CONAGUA-2007</b> Infiltración artificial de agua a los acuíferos.-Características y especificaciones de las obras y del agua (DOF, 2009b).	Proteger la calidad del agua de los acuíferos y aprovechar el agua pluvial y de escurrimientos superficiales para aumentar la disponibilidad de agua subterránea a través de la infiltración artificial.
<b>NOM-001-SEMARNAT-1996.</b> Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales (DOF, 1997b).	Establecer los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales y bienes nacionales, con el objeto de proteger su calidad y posibilitar sus usos.

<p><b>NOM-002-SEMARNAT-1996.</b> Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado (DOF, 1998b).</p>	<p>Establecer los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano con el fin de prevenir y controlar la contaminación de las aguas y bienes nacionales, así como proteger la infraestructura de dichos sistemas.</p>
<p><b>NOM-003-SEMARNAT-1997.</b> Establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se re usen en servicios al público (DOF, 1998c).</p>	<p>Establecer los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se re úsen en servicios públicos. Esto con el fin de proteger al ambiente y la salud poblacional.</p>
<p><b>NOM-004-SEMARNAT-2002.</b> Protección ambiental.- Lodos y biosólidos.- Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final (DOF, 2003).</p>	<p>Establecer las especificaciones y los límites máximos permisibles de contaminantes en los lodos y biosólidos provenientes del desazolvar de los sistemas de alcantarillado, plantas potabilizadoras y plantas de tratamiento de aguas residuales.</p>
<p><b>NOM-117-SSA1-1994.</b> Bienes y servicios. Método de prueba para la determinación de cadmio, arsénico, plomo, estaño, cobre, fierro, zinc y mercurio en alimentos, agua potable y agua purificada por espectrometría de absorción atómica (DOF, 1995)</p>	<p>Establecer los métodos de prueba de espectrometría de absorción atómica para la determinación de cadmio, arsénico, plomo, estaño, cobre, fierro, zinc y mercurio presentes en alimentos, bebidas, agua purificada y agua potable.</p>
<p><b>NOM-179-SSA1-1998.</b> Vigilancia y evaluación del control de calidad del agua para uso y consumo humano, distribuida por sistemas de abastecimiento público (DOF, 2001).</p>	<p>Establecer los requisitos y especificaciones que deberán observarse en las actividades de control de la calidad del agua para uso y consumo humano con el fin de prevenir la transmisión de enfermedades infecciosas y parasitarias, así como las derivadas de la continua ingestión de sustancias tóxicas que puede contener el agua abastecida a la población.</p>
<p><b>NOM-230-SSA1-2002.</b> Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano, requisitos sanitarios que se deben cumplir en los sistemas de abastecimiento públicos y privados durante el manejo del agua. Procedimientos sanitarios para el muestreo (DOF, 2005).</p>	<p>Establecer los requisitos sanitarios que deben cumplir los sistemas de abastecimiento públicos y privados durante el manejo del agua, para preservar la calidad del agua para uso y consumo humano, así como los procedimientos sanitarios para su muestreo.</p>

Fuente: Elaboración Propia, las fuentes están citadas al final de la descripción de cada NOM.

Existen un total de 72 Normas Mexicanas de las cuales 47 pertenecen al rubro de muestreo y análisis de agua, cinco al rubro calidad del agua y 17 al rubro potabilización del agua para uso y consumo humano y tres a otros usos del recurso agua. Recientemente se aprobó dentro de la normativa nacional la NMX-AA-159-SCFI-2012 (DOF, 2012e), que establece el proceso para determinar el caudal ecológico en cuencas hidrológicas, para contribuir al restablecimiento del equilibrio hídrico, y el proyecto de norma mexicana PROY-NMX-AA-168-SCFI-2012 (SE, 2012) que establece las especificaciones para el manejo de agua pluvial en zonas urbanas y los criterios para el diseño del drenaje pluvial urbano, ya sean nuevos o la ampliación y rehabilitación de los existentes.

Durante el año 2011 a consecuencia de las afectaciones que la sequía ocasionó en algunos estados del norte y el centro del país, el Gobierno Federal establece la “Estrategia para la Atención de Estados Afectados por la Sequía” con la cual se captaron recursos para construir infraestructura para el desarrollo de zonas áridas, pago de indemnizaciones y apoyar el empleo en las zonas afectadas.

El 25 de enero del 2012, se publicó en el Diario Oficial de la Federación el “Acuerdo por el que se instruyen acciones para mitigar los efectos de la sequía que atraviesan diversas entidades federativas” (DOF, 2012f). Dicho acuerdo establecía 10 medidas específicas para mitigar los perjuicios ocasionados a la población durante la sequía, entre ellas autorizaba la apertura de nuevos pozos para extraer agua exclusivamente para consumo humano y en sitios afectados por la sequía, autorizaba el abastecimiento de agua y alimentos, apoyos a molineros, e instruía a la Secretaría de Salud a reforzar el monitoreo y vigilancia de riesgos y enfermedades relacionados a la sequía.

Posteriormente, el 22 de noviembre de 2012, se publicó en el Diario Oficial de la Federación los “Lineamientos que establecen los criterios y mecanismos para emitir acuerdos de carácter general en situaciones de emergencia por la ocurrencia de sequía, así como las medidas preventivas y de mitigación, que podrán implementar los usuarios de las aguas nacionales para lograr un uso eficiente del agua durante sequía” (DOF, 2012a). En dicho documento se define el concepto de sequía y se explican sus diferentes rangos de intensidad (anormalmente seco, sequía moderada, sequía, sequía severa, sequía extrema y sequía excepcional) según los estándares internacionales. De igual manera, se establecieron criterios y mecanismos para que los usuarios y consignatarios del recurso agua puedan implementar acciones preventivas y de mitigación antes, durante y posterior a una contingencia por sequía.

En el 2013 se crea el Programa Nacional Contra la Sequía (PRONACOSE), administrado por el Gobierno Federal a través de la CONAGUA, y tiene como objetivo inicial realizar los programas de medidas de mitigación y prevención de la sequía para cada uno de los 26 Consejos de Cuenca de la República, así como monitorear y desarrollar sistemas de alerta temprana para reducir la vulnerabilidad de la población ante esta contingencia climática y establecer políticas de sequía.

En el acuerdo político nacional, Pacto por México, publicado el 2 de diciembre de 2012, en el apartado 2.4 Desarrollo Sustentable se hace mención al cambio climático como un reto global que se debe enfrentar con responsabilidad y realismo. Por ello se replantea el manejo hídrico de una manera inteligente y sustentable, desarrollando compromisos como:

- Programas para impulsar la infraestructura para la captación y almacenamiento de agua pluvial y obras de control de inundaciones (compromiso 50).
- Incremento de la cobertura de agua, drenaje y tratamiento (compromiso 51).
- Atender de manera prioritaria y oportuna las sequías que afectan el norte y centro del país.
- Se impulsará al agua de mar como fuente de abastecimiento con plantas desalinizadoras.

Para llevar a cabo todo lo anterior se impulsará la aprobación de la nueva Ley de Agua Potable y Saneamiento y la reforma de la Ley de Aguas Nacionales (compromiso 52).

El Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018 (DOF, 2013b), publicado en el Diario Oficial de la Federación el 20 de mayo de 2013, menciona que una de las limitantes del potencial productivo del país es el manejo irresponsable de los recursos hídricos. Dicho plan considera necesario el aumento de la cobertura de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento, así como reforzar la infraestructura hidroagrícola, controlar las inundaciones, promover la tecnificación del riego y optimizar el uso del agua.

Recientemente el Gobierno de la República desarrolló el Programa Nacional Hídrico 2014-2018 (CONAGUA, 2014c), en busca de lograr seguridad y sustentabilidad hídrica en el país con ayuda de un enfoque multisectorial, así como también, mejorar la gestión de recursos hídricos, especialmente en comunidades donde las condiciones hídricas, económicas, sanitarias y humanas sean menos favorables, y en áreas geográficas donde los riesgos derivados del cambio climático o variabilidad climática en materia hídrica sean más fuertes.

Dentro de otros aspectos busca conceptualizar el recurso del agua como un bien escaso y costoso que debe administrarse responsablemente, fortalecer la gestión integrada y sustentable del agua, incrementar la seguridad hídrica ante sequías e inundaciones, aumentar el abastecimiento de agua y acceso al agua potable, alcantarillado y saneamiento, incrementar las capacidades técnicas, científicas y tecnológicas del sector, asegurar el agua para actividades económicas y financieras de manera sustentable y consolidar la participación de México en el contexto internacional en materia de agua. Para cumplir con estos objetivos, el Plan Nacional Hídrico busca reformar el marco jurídico del agua, el marco institucional del sector público del agua, el sistema financiero del agua, la planeación hídrica y el sistema de gestión de recursos humanos del agua, entre otras acciones.

El Programa Nacional Hídrico se sustenta en el Plan Nacional de Desarrollo y está alineado con diversos programas sectoriales tales como el Programa Sectorial de Gobernación, el Programa Sectorial de Defensa Nacional, el Programa Sectorial de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano, el Programa Sectorial de Desarrollo Social, el Programa Sectorial de Educación, el Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales y el Programa Sectorial de Relaciones Exteriores.

El objetivo 2 del Programa Nacional Hídrico busca “incrementar la seguridad hídrica ante sequías e inundaciones”. Para cumplir con dicho objetivo, el Programa menciona que se reubicarán los asentamientos humanos en zonas de riesgo por inundaciones, se fortalecerán los programas de protección a la población, se perfeccionarán los sistemas de alerta temprana, se modernizará el Servicio Meteorológico Nacional y se actualizarán las políticas de operación de las principales fuentes de abastecimiento. Existen dos estrategias para este

objetivo, la primera busca proteger e incrementar la resiliencia de la población y áreas productivas en zonas de riesgo de inundación y/o sequía. Para esto, resalta la importancia de implementar el Programa Nacional de Prevención contra Contingencias Hidráulicas y el Programa Nacional contra la Sequía. La segunda estrategia pretende reducir la vulnerabilidad a los efectos del cambio climático.

La CONAGUA por conducto de la Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento, coordina cuatro Programas Federales de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. El Programa de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento en Zonas Urbanas (APAZU) pretende impulsar acciones que contribuyan al mejoramiento e incremento de la prestación de servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento en zonas urbanas de la República, a través del apoyo financiero y técnico. El Programa para la Construcción y Rehabilitación de Sistemas de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento en Zonas Rurales (PROSSAPYS) tiene el fin de incrementar la cobertura de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento en zonas rurales de la república, al construir y ampliar su infraestructura con ayuda de la comunidad.

El Programa de Tratamiento de Aguas Residuales (PROTAR) tiene como objetivo apoyar la infraestructura de tratamiento de aguas residuales y para operación y mantenimiento de las plantas de tratamiento, ya sea con el fin de incrementar el volumen de agua tratada, o mejorar los procesos de tratamiento. El Programa de Agua Limpia fue creado con la intención de apoyar la desinfección del agua según los estándares que establecen las NOM-230-SSA1-2002 (DOF, 2005), NOM-127-SSA1-1994 (DOF, 1996b) y NOM-179-SSA1-1998 (DOF, 2001), y suministrar agua limpia desinfectada en los sistemas formales de abastecimiento, con el fin de garantizar el bienestar de la población.

Publicado en el diario oficial de la federación en el “decreto por el que se declara de interés público la conservación de los mantos acuíferos y se establece veda por tiempo indefinido para el alumbramiento, extracción y aprovechamiento de las aguas del subsuelo en la parte que corresponde a los límites geopolíticos del Estado de Yucatán” (DOF, 2013a), publicado en el Diario Oficial de la Federación el 20 de septiembre de 1984, comprende la totalidad del Estado de Yucatán, que corresponde a la porción norte del acuífero Península de Yucatán.

“Acuerdo general por el que se suspende provisionalmente el libre alumbramiento en las porciones no vedadas, no reglamentadas o no sujetas a reserva de los 175 acuíferos que se indican” (DOF, 2013a), publicado en el Diario Oficial de la Federación el 5 de abril de 2013, a través del cual en el acuífero Península de Yucatán, se prohíbe la perforación de pozos, la construcción de obras de infraestructura y la instalación de cualquier otro mecanismo que tenga por objeto el alumbramiento o extracción de las aguas nacionales del subsuelo, así como el incremento de volúmenes de extracción autorizados o registrados, sin contar con concesión, asignación o autorización emitidos por la Comisión Nacional del Agua, hasta en tanto se emita el instrumento jurídico que permita realizar la administración y uso sustentable de las aguas nacionales del subsuelo.



### 3.2 Marco Legal e Institucional Estatal

Uno de los documentos importantes en el que se establecen acciones importantes es el atlas de peligros por fenómenos naturales del Estado de Yucatán, tiene como objetivo generar instrumentos para establecer estrategias de prevención, reducción y mitigación de riesgos por fenómenos naturales, así como identificar y zonificar los peligros. Las leyes relevantes para el manejo de los sistemas hídricos en el Estado de Yucatán, se presentan en la tabla 3.2.

Tabla 3.2 Leyes y Planes relacionados con el manejo del recurso agua en el Estado de Yucatán

Nombre	Descripción
<b>Ley sobre el Abastecimiento de Agua Potable en el Medio Rural del Estado de Yucatán (DOGEY, 1975).</b>	Promoción, administración, operación y mantenimiento de los sistemas de abastecimiento de agua potable para el medio rural
<b>Ley Orgánica de la Junta de Agua Potable y Alcantarillado del Estado de Yucatán (JAPAY) (Gobierno del Estado de Yucatán, 1981; DOGEY, 1992).</b>	Administración, operación, conservación, ampliación y construcción de los sistemas de agua potable y alcantarillado en el Estado de Yucatán
<b>Ley de Fraccionamientos del estado de Yucatán (DOGEY, 1985).</b>	Artículo 9, establece que los fraccionamientos del estado deben contar con la infraestructura necesaria para el servicio de agua potable, sistema colector de aguas pluviales, sistema de tratamiento de aguas negras e hidrantes contra incendios. Artículo 19, menciona que para aprobar la construcción de cualquier fraccionamiento se deberá entregar los proyectos de la infraestructura de dichos servicios. Artículo 11, "...las áreas verdes de los fraccionamientos deberán ser entregadas

	<p>con tomas de agua independientes del sistema de agua potable.”</p> <p>Artículo 14 describe las normas a las cuales deberán de sujetarse las obras para tratamiento y recolección de aguas negras, entre ellas, menciona los límites de contaminantes tolerables a los cuales deben de ajustarse las descargas de agua residuales.</p>
<p><b>Ley de Desarrollo Rural Sustentable del estado de Yucatán (DOGEY, 2013a).</b></p>	<p>Artículo , “...que todas aquellas políticas, programas y acciones que se establezcan por el Poder Ejecutivo en materia de reconversión productiva deben de tener como objetivos, entre otros, la fomentación y reorientación del uso eficiente, adecuado y racional del agua con el fin de procurar su conservación y mejoramiento.”</p> <p>Artículo 78, se resalta la importancia de adoptar tecnologías apropiadas para el ahorro de agua.</p>
<p><b>Ley de Gobierno de los municipios del estado de Yucatán (DOGEY, 2012).</b></p>	<p>Artículo 43, “...es responsabilidad de los Ayuntamientos garantizar que el agua para consumo de la población esté desinfectada y clorada apropiadamente.”</p> <p>Artículo 89, menciona que ciertas actividades relacionadas a la gestión de agua (como el servicio de agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de aguas residuales) estarán a cargo exclusivamente de los Municipios.</p>
<p><b>Ley para la Gestión Integral de los Residuos en el estado de Yucatán (DOGEY, 2014a).</b></p>	<p>Regula la generación y correcta disposición de los residuos en el estado con el fin de propiciar el desarrollo sustentable</p>

<b>Ley de Protección al Medio Ambiente (DOGEY, 2014b)</b>	Tiene por objeto prevenir y controlar la contaminación a la atmósfera, agua y suelo, en el Estado
<b>Ley de Protección Civil del Estado de Yucatán (DOGEY, 1999).</b>	Artículo 79, "...servicios vitales entre los que menciona abasto, y alcantarillado de agua potable."
<b>Ley de Desarrollos Inmobiliarios del Estado de Yucatán (DOGEY, 2010). Última reforma: DOGEY, 2014c.</b>	Artículo 25, establece que la solicitud de urbanización de un fraccionamiento contendrá por lo menos la programación para la construcción de los equipamientos de infraestructura correspondientes al tipo de desarrollo inmobiliario, considerando como mínimo el sistema de agua potable, sistema recolector de aguas pluviales y sistema de tratamiento de aguas negras.
<b>Plan Estatal de Desarrollo 2012-2018 (Gobierno del Estado de Yucatán, 2013).</b>	Resalta la importancia de extender la infraestructura hidráulica, con el fin de resolver el desafío de su disponibilidad, manejo y conservación. También menciona la importancia de impulsar el desarrollo de la agricultura orgánica en el estado, ya que esta optimiza el aprovechamiento del agua, y reduce su contaminación. Entre otros objetivos se encuentran incrementar el porcentaje de agua desinfectada para consumo humano, incrementar el porcentaje de aguas residuales tratadas y fortalecer la infraestructura.

Fuente: Elaboración Propia, las fuentes están citadas al final de la descripción de cada Ley o Plan.

Publicado en el 2013 en el Diario Oficial del Gobierno del Estado de Yucatán, el Decreto 117 de la Constitución Política del Estado de Yucatán (DOGEY, 2013b), del Código de la Administración Pública de Yucatán y de la Ley de Protección al Medio Ambiente del Estado de Yucatán establece como una reserva Estatal Geohidrológica a la zona denominada círculo o anillo de cenotes (dentro de la cual se ubica la ciudad de Mérida y su zona metropolitana), con el objetivo de garantizar los beneficios de los servicios hidrológicos de los ecosistemas que se encuentran en la zona, así como para realizar acciones de saneamiento, restauración, mejorar la calidad de las aguas subterráneas y desarrollar estudios e investigaciones para el manejo sustentable de la Reserva.

### **3.3 Marco Legal e Institucional Local**

En el municipio de Mérida, existe el Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación del Agua, publicado en 1994 (DOGEY, 1994), el cual tiene como objetivo controlar la extracción, recolección, transporte, manejo, tratamiento y disposición final de las aguas residuales, y determina que todas estas deben ser tratadas antes de ser descargada para cumplir con las Normas Oficiales Mexicanas correspondientes.

El Reglamento de Construcciones del Municipio de Mérida (DOGEY, 2004) hace mención a las especificaciones para las instalaciones hidráulicas, drenaje pluvial, recolección y tratamiento de aguas residuales para los diferentes tipos de construcciones. Por parte de la JAPAY existe una serie de requerimientos para Autorización de Proyectos de Infraestructura Hidráulica de Alcantarillado Sanitario y Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.

Entre la normatividad vinculada indirectamente al sector agua se encuentra la Ley de Hacienda del Municipio de Mérida (DOGEY, 2013c), cuya sección décimo

séptima establece los derechos por el servicio de agua potable y drenaje, así como las tarifas por este servicio y El Reglamento de Protección al Ambiente y del Equilibrio Ecológico del Municipio de Mérida (DOGEY, 2005), título tercero, capítulo 4, aborda el tema de prevención y control de la contaminación de las aguas.

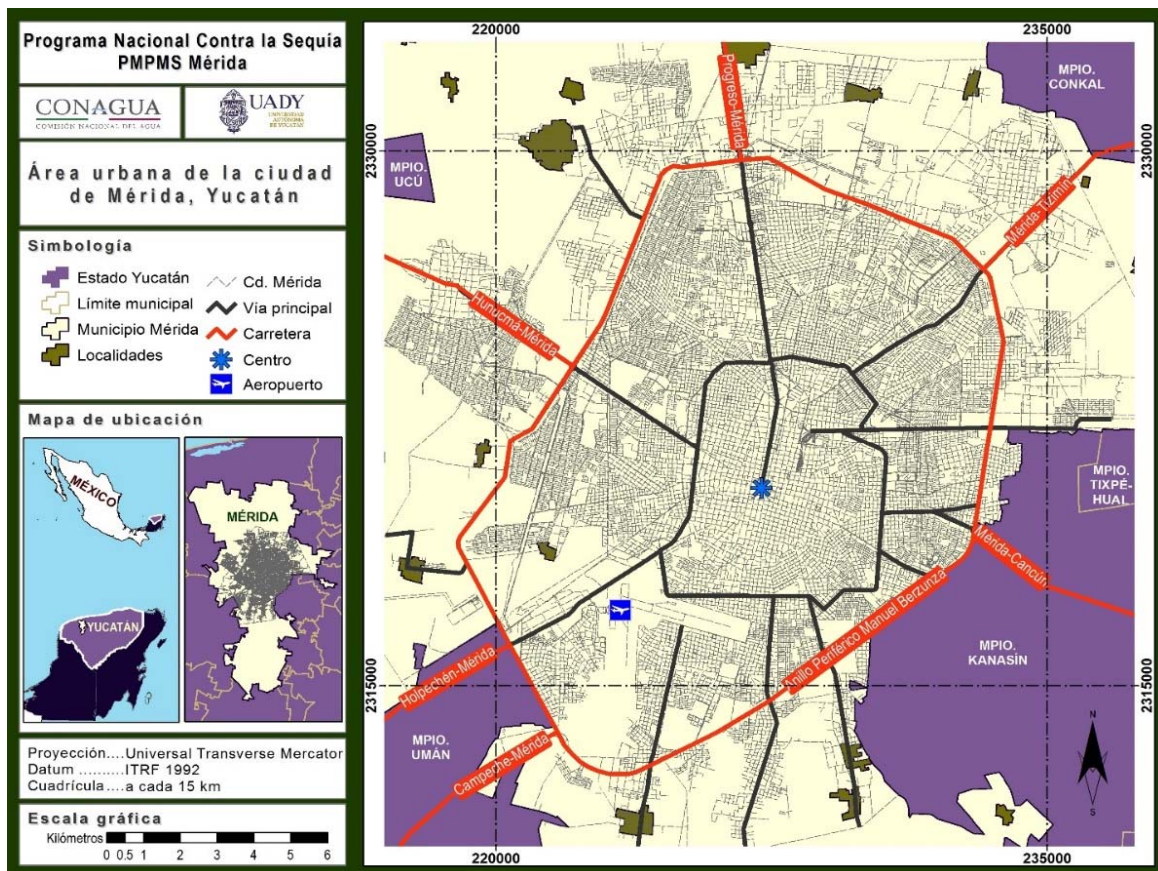
El Programa Municipal de Desarrollo 2012-2015 de la Ciudad de Mérida (Ayuntamiento de Mérida, 2013), presenta diversas líneas de acción vinculadas a la gestión del agua, entre ellas mejorar, mantener e incrementar el servicio de drenaje y alcantarillado en todo el municipio, procurar el adecuado mantenimiento, conservación y ampliación de agua potable en las comisarías, subcomisarias y zonas marginadas de Mérida e implementar estrategias para mejorar el tratamiento de aguas residuales.

## CAPITULO 4. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA CIUDAD

### 4.1 Zona de estudio

El municipio de Mérida es la capital del estado de Yucatán y se localiza al noroeste en las coordenadas  $20^{\circ} 58' 04''$  N y  $89^{\circ} 37' 18''$  O (Figura 4.1) a ocho metros sobre el nivel medio del mar, cuenta con una superficie total de 88,514 Km<sup>2</sup> y una población de 781,146 habitantes (INEGI, 2010). La Ciudad de Mérida es la cabecera municipal del municipio de Mérida, y el principal núcleo de población del estado.

Figura 4.1 Mapa de la Ciudad de Mérida



Fuente: Elaboración propia. La información cartográfica se obtuvo de CONABIO. (<http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>) INEGI ([www.inegi.org.mx](http://www.inegi.org.mx)) y OpenStreetMap ([www.openstreetmap.org](http://www.openstreetmap.org)).

## 4.2 Población

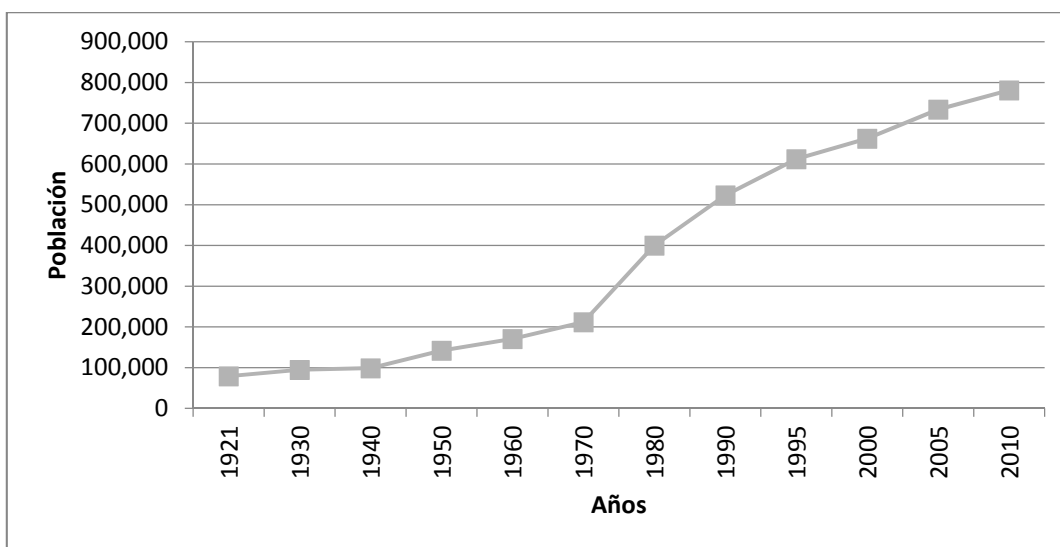
La ciudad de Mérida tuvo un crecimiento poblacional relativamente bajo de 1910 a 1970, de tener 62,447 habitantes en 1910 a 142, 858, en 1950 y 212,097 en 1970. De 1970 al 2010 presente la tasa de crecimiento poblacional aumentó, casi cuadruplicándose la población, pasando de 662,000 en el año 2000 a 778,000 en el 2010 (INEGI, 2010). En la Tabla 4.1 se presentan las características de la población de la ciudad, total, por edades y la relación de hombres y mujeres.

Tabla 4.1 Características de la población de la ciudad de Mérida año 2010

Localidad	Población total	Población de 18 a 24 años	Población de 15 a 64 años	Población de 60 años y más	Relación hombres-mujeres
Mérida	777,615	102,087	529,605	83,909	100:93

Fuente: INEGI, 2010.

Figura 4.2 Evolución de la demografía de Mérida 1921-2010



Fuente: Elaboración propia datos de INEGI, 2010.

Las proyecciones de la población para la ciudad de Mérida indican que para el año 2030 habrá casi 1 millón de habitantes (Tabla 4.2). Estas proyecciones se calcularon a partir de la tasa de crecimiento poblacional anual de la ciudad, se tomó la población de un año base, se determina la cantidad de habitantes que representa la tasa de incremento de población y se le suma al año base para estimar la cantidad de población al siguiente año (CONAPO, 2014).

Tabla 4.2 Proyecciones de la población de Mérida para los años 2015, 2020, 2025 y 2030

<b>Localidad</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2020</b>	<b>2025</b>	<b>2030</b>
Mérida	826,964	836,433	880,642	918,896	951,460

Fuente: CONAPO (2014).

#### **4.2.1 Grado de marginación**

El índice de marginación tiene el objetivo de diferenciar localidades, entidades y regiones del país según el impacto global de la falta de bienes y servicios de una población, debido a una falta de acceso a la educación, salud, vivienda digna y recursos suficientes (CONAPO, 2012). La estimación del índice de marginación es importante debido a que representa indicadores de déficit en la población y sirven para implementar planes de desarrollo. Dicha estimación se logra con base en los resultados de los Censos de Población y Vivienda llevados a cabo por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) desde 1990 hasta la fecha, con una periodicidad de 5 años.

El Censo INEGI permite medir los nueve indicadores de marginación que componen el Índice Global de Marginación Socioeconómica: población de 15 años o más analfabeta, población de 15 años o más con primaria incompleta, porcentaje de ocupantes de viviendas sin drenaje ni servicio sanitario, porcentaje de ocupantes de viviendas sin energía eléctrica, porcentaje de



ocupantes de viviendas sin agua entubada, porcentaje de ocupantes de viviendas con algún nivel de hacinamiento, porcentaje de ocupantes de viviendas con piso de tierra, porcentaje de la población que reside en localidades de menos de 5 000 habitantes y porcentaje de población ocupada con ingresos de hasta 2 salarios mínimos (CONAPO, 2011). Los indicadores socioeconómicos relacionan el número de viviendas con deficiencias en cuanto a servicios básicos de disponibilidad de agua, energía y otros (CCA, 2011). La Tabla 4.3 presenta los indicadores socioeconómicos y el grado de marginación para la ciudad de Mérida reportados para el año 2010.

Tabla 4.3 Indicadores socioeconómicos y grado de marginación de la ciudad de Mérida (2010)

<b>Indicadores</b>	<b>Porcentaje</b>
Población de 15 años o más analfabeta	3.27
Población de 15 años o más sin primaria completa	13.32
Viviendas particulares habitadas sin excusado	2.96
Viviendas particulares habitadas sin energía eléctrica	0.58
Viviendas particulares habitadas con piso de tierra	0.76
Viviendas particulares habitadas sin disponibilidad de agua entubada	1.30
Viviendas particulares con grado de hacinamiento	29.93
Población que reside en localidades de menos de 5000 habitantes	4.85
Población ocupada con ingresos de hasta 2 salarios mínimos	41.24
Grado de marginación	Muy bajo

Fuente: CONAPO, 2011

#### 4.2.2 Índice de Desarrollo Humano (IDH)

Según el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) (2014), el índice de Desarrollo Humano es una herramienta que tiene como objetivo “medir el conjunto de capacidades y libertades que tienen los individuos para elegir entre formas de vida alternativas”. Este indicador es de mucha utilidad ya que es comparable a nivel internacional y se puede estimar a diferentes escalas (municipal, estatal y nacional) (CONAPO, 2001; PNUD, 2014).

Para el cálculo de este indicador se emplean tres dimensiones básicas para el desarrollo, que son: la posibilidad de gozar de una vida larga y saludable (longevidad); la capacidad de adquirir conocimientos (educación) y la oportunidad de tener recursos que permitan un nivel de vida digno (PIB) (PNUD, 2014).

Los resultados del IDH considerando estos tres componentes varían entre 0 y 1, en donde 0 representa el menor índice y 1 el mayor. Las categorías sugeridas para la descripción del índice son: Alto (IDH > 0.8), Medio-Alto (0.65-0.799), Medio-Bajo (0.5-0.649) y Bajo (IDH < 0.5) (CONAPO, 2001). En la tabla 4.4 se muestran los valores de IDH para la ciudad de Mérida.

Tabla 4.4 Índice de Desarrollo Humano de Mérida al 2012

<b>Localidad</b>	<b>Índice de sobrevivencia</b>	<b>Índice de educación</b>	<b>Índice de ingreso</b>	<b>IDH</b>
Mérida	0.868	0.87	0.761	0.833

Fuente: CONAPO, 2014

### **4.3 Caracterización del abastecimiento de aguas en la ciudad de Mérida**

La ciudad de Mérida no presenta problemas de abasto de agua debido a que existe una alta disponibilidad en el acuífero. El sistema de abastecimiento de la ciudad de Mérida cuenta con servicio de agua potable las 24 horas al día los 365 días del año con una presión promedio de 0.50kg/cm<sup>2</sup> (Espejo, comunicación personal, 2014).

El principal problema que se vislumbra para la ciudad es, la disminución de la calidad del agua del acuífero, ya que no existe un sistema eficiente de drenaje y alcantarillado, -únicamente se le da tratamiento al 25% de las aguas residuales generadas- (CONAGUA, 2014d). Las aguas residuales no tratadas se infiltra fácilmente al acuífero junto con los contaminantes que adquiera en el trayecto, debido a la naturaleza cárstica del suelo (suelos someros y rocas calizas fracturadas y porosas) (Bautista, 2011).

Por otro lado, en las zonas con mayor concentración de pozos de extracción, se están induciendo abatimientos progresivos de los mismos, lo que significa que los niveles de los pozos han bajado debido a la extracción de los mismos (COMEY, 2011).

### **4.4 Generalidades del organismo operador**

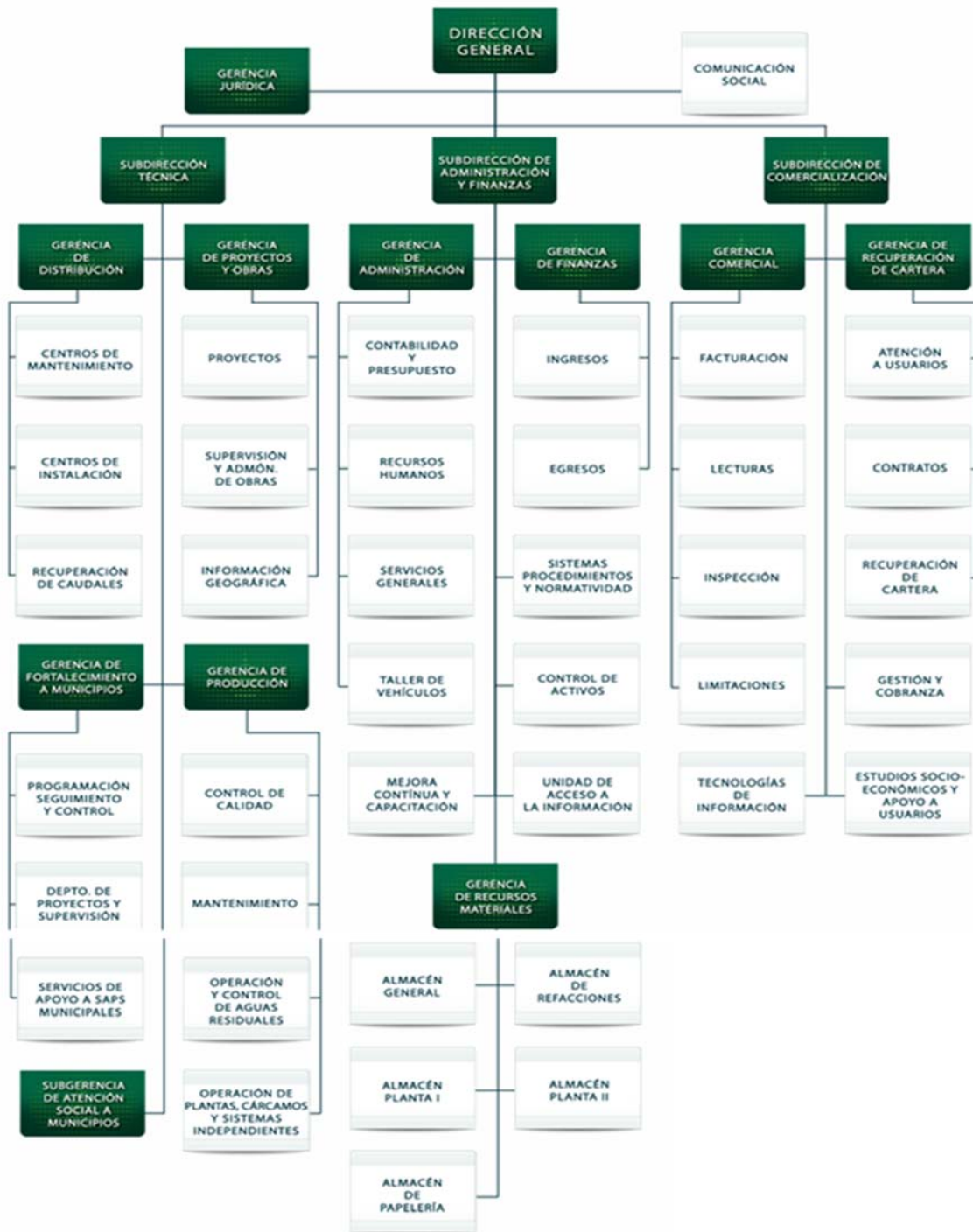
En 1966 se creó la Junta de Agua Potable de Yucatán (JAPAY), la cual administraba el agua potable de Mérida y de otras 11 localidades, entre las que estaban el municipio de Progreso y sus comisarías de Chelem, Chicxulub y Chuburná; el municipio de Valladolid, y los municipios de Tizimín, Izamal, Espita, Maxcanú, Halachó, Ticul y Motul; luego hubo cambios en la ley que dieron la administración a cada municipio, de manera que ahora se manejan de forma

autónoma (Por Esto, 2014), los municipios conurbados y el puerto de Progreso; en 1981 cambio su nombre como la Junta de Agua Potable y Alcantarillado de Yucatán, concentrando su quehacer de organismo operador en la ciudad de Mérida (Espejo, comunicación personal, 2014).

La Junta de Agua Potable y Alcantarillado de Yucatán, es un organismo público descentralizado, dotado de capacidad y personalidad jurídica propia, que tiene por objeto la administración, operación, conservación, ampliación y construcción de los sistemas de agua potable y alcantarillado en el Estado de Yucatán y sus disposiciones son de orden público y observancia general (Gobierno del Estado de Yucatán, 1981).

Está presidido por el Gobernador del Estado Rolando Zapata Bello y su actual Director General es el Ing. Manuel Bonilla Campo. El organigrama del organismo operador se muestra en la Figura 4.3.

Figura 4.3 Organigrama del sistema operador JAPAY



Fuente: JAPAY, 2014a

#### **4.5 Geología, relieve y Suelos**

La Ciudad de Mérida se encuentra dentro del espacio comprendido por la zona fisiográfica número 6, descrita por Duch (1991), la cual a su vez pertenece a la subprovincia denominada “Llanura Cárstica Yucateca”, perteneciente a la provincia “Península de Yucatán”, de igual manera dicha ciudad pertenece al paisaje denominado “Planicie Zona Metropolitana” (García-Gil, et al., 2013). Esta zona está conformada por rocas calizas consolidadas en la época del Pleistoceno, Período Cuaternario (Era Cenozoica), la cual se caracteriza por la presencia alternada de pequeñas elevaciones y depósitos, conformando un relieve ligeramente ondulado (Duch, 1991). Los suelos en esta zona son someros, con algunas inclusiones de suelos profundos en las depresiones topográficas (Cambisoles y Luvisoles); sin embargo el tipo de suelo predominante según la clasificación de la World Reference Base for Soil Resources (WRB), son los Leptosoles (García-Gil, et al., 2013; Estrada-Medina, et al., 2010).

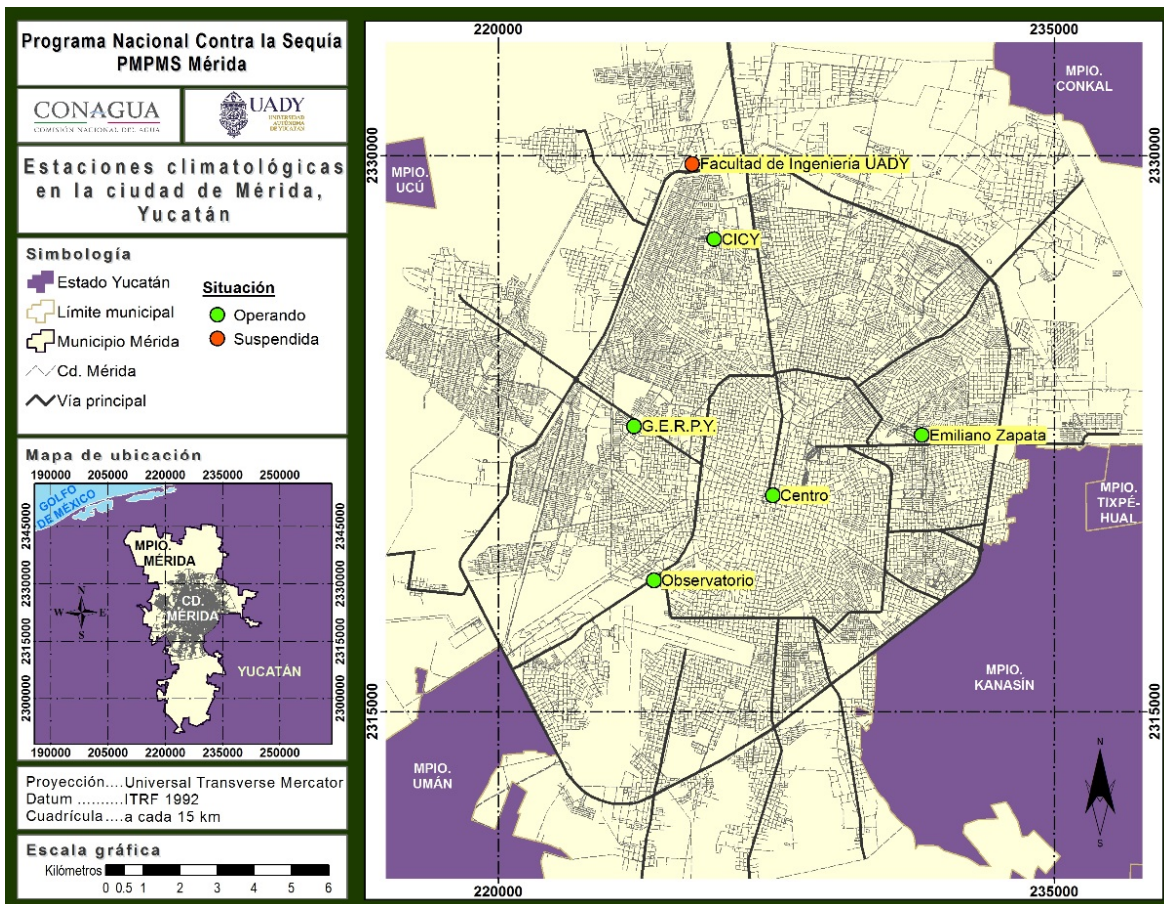
#### **4.6 Actividades económicas**

Las actividades económicas de mayor importancia para la ciudad de Mérida, son: el comercio, la industria manufacturera, la construcción, y el ecoturismo; siendo el sector terciario de servicios políticos-administrativos, urbanos de comercio y turísticos con el de mayor importancia abarcando el 77.22% de la Población Económicamente Activa (PEA), en segundo lugar se encuentra el sector secundario con el 21.62 de la PEA y finalmente con el 1.01% se encuentra el sector primario, el restante 0.15% no se encuentra especificado (Figura 4.4) (Ayuntamiento de Mérida, 2013).

## CAPITULO 5. INFORMACIÓN CLIMÁTICA DE MÉRIDA

El clima está regido principalmente por las interacciones entre factores como: la latitud, altitud, orografía, continentalidad, circulación de la atmósfera y corrientes marinas (Orellana *et al.*, 2012). Los elementos que más se usan para caracterizar el clima son las temperaturas máximas, mínimas, medias, la precipitación y la evaporación. Estas variables son monitoreadas en las seis estaciones meteorológicas con que cuenta la ciudad de Mérida (Figura 5.1).

Figura 5.1 Ubicación de las estaciones meteorológicas en la localidad de Mérida

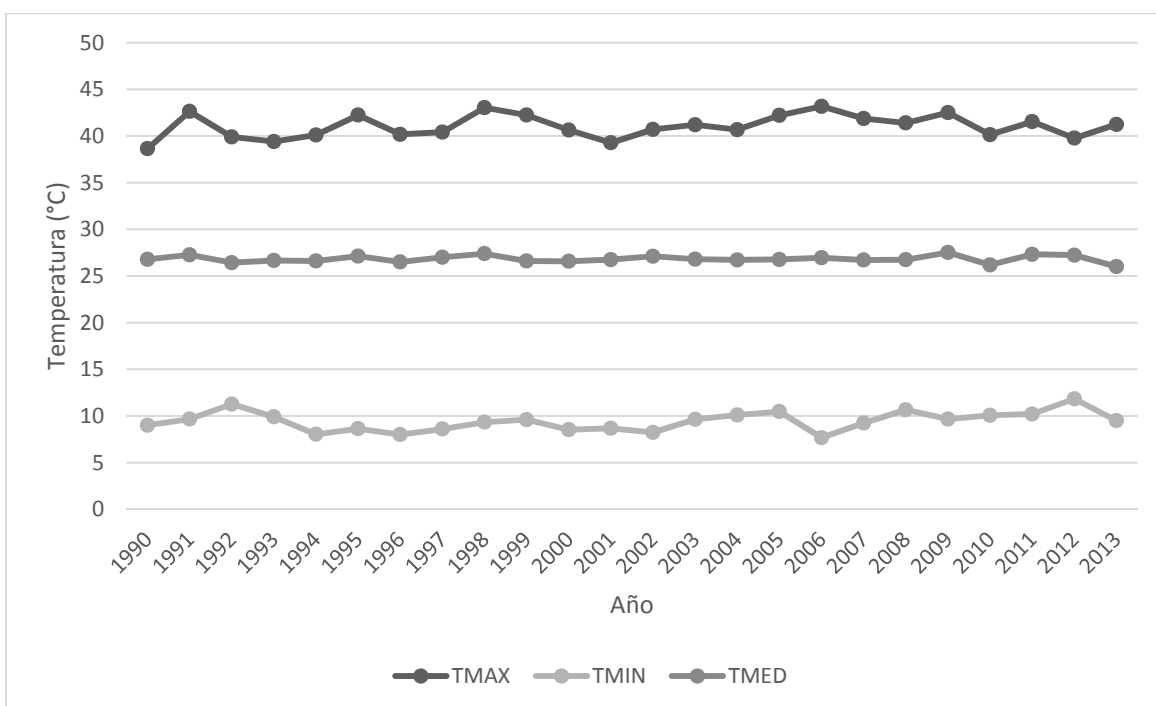


Elaboración propia. La información cartográfica se obtuvo de CONABIO (<http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>) y OpenStreetMap (<http://www.openstreetmap.org>). Las Estaciones se ubicaron proyectando las coordenadas proporcionadas por CONAGUA.

## 5.1 Temperaturas máximas, mínimas y medias

En la Figura 5.2, se presenta el registro de las temperaturas máximas extremas, mínimas y medias de la ciudad de la ciudad de Mérida. Para la elaboración de la gráfica se utilizaron únicamente los datos de solo tres estaciones meteorológicas (CICY, Emiliano Zapata y Observatorio) ya que son las que cuentan con series de datos similares que van de 1990 a 2013. La temperatura media está entre los 26 y 27.3°C, la temperaturas mínima extrema entre los 9 y 11.8°C y la temperatura máxima extrema entre los 38.6 y 43.16°C.

Figura 5.2 Promedios histórico de temperaturas máximas, mínimas de la ciudad de Mérida (1990-2013)



Nota: Los promedios se obtuvieron a partir de los valores registrados por tres estaciones climáticas de la CONAGUA ubicadas en la ciudad de Mérida: CICY, Observatorio y Emiliano Zapata.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de estaciones meteorológicas de la CONAGUA.

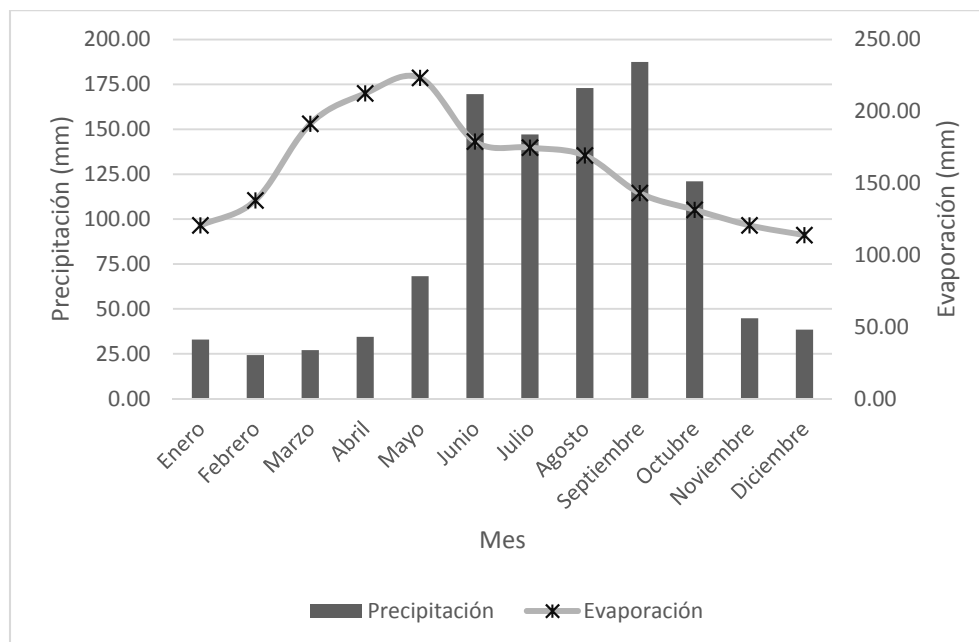


## 5.2 Precipitación y Evaporación

Para obtener los registros promedio de Precipitación y Evaporación se tomaron las bases de datos de las siguientes estaciones meteorológicas de la CONAGUA: CICY, Emiliano Zapata y Observatorio, las tres ubicadas dentro de la ciudad de Mérida.

Los meses en los que se presenta la mayor precipitación en la ciudad de Mérida es durante Junio a Septiembre con valores entre 173.67 y 186.22 mm, siendo el mes de Septiembre en el que se presenta mayor precipitación con 187.52 mm, mientras que los meses con menor precipitación son Febrero, Marzo y Abril, siendo Febrero el mes en el que se presenta menos precipitación con 24.26 mm (Figura 5.3).

Figura 5.3 Promedio histórico mensual de precipitación y evaporación de la ciudad de Mérida (1990-2013)



Nota: Los promedios se obtuvieron a partir de los valores registrados por tres estaciones climáticas de la CONAGUA ubicadas en la ciudad de Mérida: CICY, Observatorio y Emiliano Zapata.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de estaciones meteorológicas de la CONAGUA

Por otro lado, la evaporación se incrementa paulatinamente durante los meses de Enero y Febrero, hasta llegar a un máximo en el mes de Mayo con 223.29 mm, posteriormente empieza a disminuir, hasta llegar a un mínimo en el mes de Diciembre de 113.81 mm (Figura 5.3)

De manera general el clima de la Ciudad de Mérida es de tipo Ax, según la clasificación internacional Köppen, el cual se refiere al clima cálido subhúmedo con lluvias en verano y una temperatura media de 26.45 °C. Las temperaturas máximas, medias y mínimas de la ciudad son 41°C, 26.8°C y 9.4°C respectivamente.

### 5.3 Sequías hidrológicas

En la ciudad de Mérida se han tenido registros de manera mensual de sequías hidrológicas. A continuación en la tabla 5.1 se muestran las diferentes categorías de sequía, descritas en el capítulo 2, que se han presentado en la ciudad de Mérida de manera mensual entre los años de 2008 a 2013.

Tabla 5.1 Intensidad de las sequias mensuales de la ciudad de Mérida de 2008 a 2013. El tipo de sequía representa el tipo más severo del mes y año correspondiente.

Años	Meses											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2008									D0	D0	D0	D0
2009	D1	D1	D1	D2	D2	D2	D2	D2	D3	D4	D3	D3
2010	D3	D3	D3	D3	D3	D1	D0				D0	D0
2011	D0	D0	D0	D2	D3	D2	D2	D2				
2012			D0									
2013												

Fuente: PRONACOSE, 2014

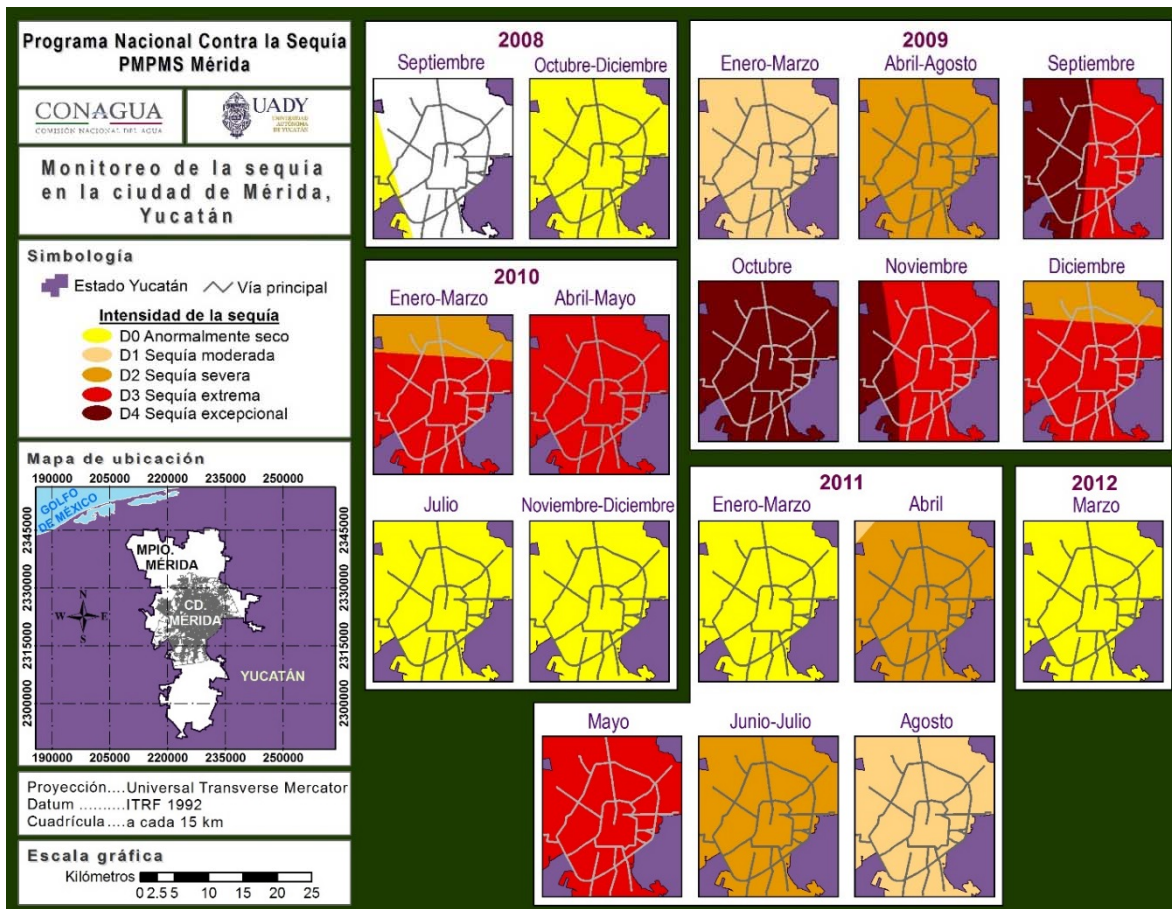
En un esfuerzo por combatir los efectos de las sequías se han desarrollado sistemas para realizar el monitoreo de la sequía, mediante el análisis de indicadores o índices como los mencionados en el Capítulo 2. Uno de ellos es el monitor de sequía de América del norte (NADM, 2013), el cual es el resultado de la cooperación técnica entre expertos en sequía de México, Estados Unidos y Canadá. Su objetivo es describir las condiciones de sequía en América del Norte basados en el análisis de tres indicadores: el índice de precipitación estándar, la media del porcentaje de precipitación y el índice de sequía de Palmer.

En la Figura 5.4, se presentan los mapas de intensidad de la sequía meteorológica mensual de la ciudad de Mérida, elaborados a partir del Monitor de Sequía, en el período de 2008 a 2012. Se puede observar que el año en el que se ha presentado el tipo de sequía más severo fue el 2009, ya que en Septiembre, Octubre y Noviembre se presentó la sequía del tipo D4 (Excepcional) de manera parcial o en toda la superficie comprendida por la ciudad de Mérida.

La categoría Anormalmente Seco (D0) es recurrente durante todos los años, ya que en 2008 se presentó en los meses de Enero y Octubre-Diciembre; en 2010 durante Julio y Noviembre-Diciembre; en 2011 durante el periodo comprendido entre los meses de Enero a Marzo y finalmente en 2012 se presentó en el mes de Marzo.

Los meses de Abril-Mayo y Junio-Julio son en los que se han presentado fenómenos de sequía de manera repetida, variando en intensidad desde anormalmente seco (D0) en Julio de 2010, hasta sequía extrema (D3) en Mayo de 2011.

Figura 5.4 Monitor de sequía de la Ciudad de Mérida periodos mensuales de 2008 a 2012



Fuente: Elaboración propia. La información cartográfica se obtuvo del Servicio Meteorológico Nacional (<http://smn.cna.gob.mx/>), CONABIO (<http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>), INEGI (<http://www.inegi.org.mx>) y OpenStreetMap (<http://www.openstreetmap.org>). No se muestran los meses en los que no se presentó algún grado de sequía. En 2013 no se presentó sequía.

## CAPITULO 6. EVALUACIÓN DE LA OFERTA /ABASTO DE AGUA

### 6.3 Fuentes de abastecimiento

El agua subterránea que sirve de abastecimiento para la ciudad de Mérida, se extrae de diferentes zonas de extracción que se encuentran alrededor y dentro de los límites de la ciudad (Pacheco et al., 2004).

Actualmente, la ciudad dispone para su abastecimiento de cuatro zonas de pozos de extracción: la Mérida I, que abastece la zona centro y sur de la ciudad; Mérida II que proporciona el servicio de agua potable para el sur y poniente; la planta Mérida III que abastece el noreste y oriente de la ciudad y la Mérida IV que empezó a operar en febrero de 2014.

Una de las características de los pozos de extracción es que tienen profundidades de 40 m como los ubicados en la planta Mérida I localizada en el sur de la ciudad con un total de 25 pozos (JAPAY, 2013). A continuación en el Tabla 6.1, se muestran los nombres y características de las zonas de abastecimiento de Mérida, también conocidas como “plantas potabilizadoras”.

Tabla 6.1 Características de las plantas potabilizadoras de la ciudad de Mérida.

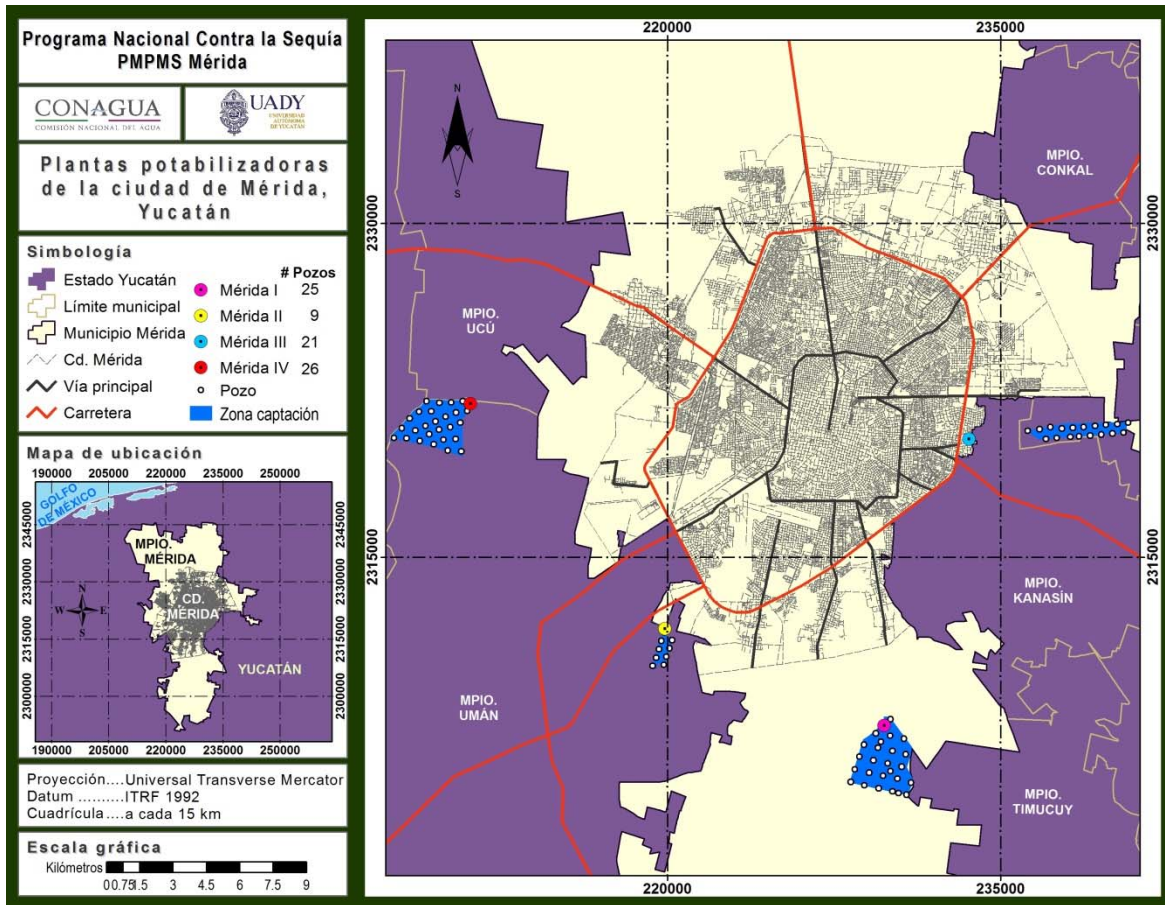
Nombre	Tipo de proceso	CI (L/s)	CMT (L/s)	Días/Horas
<b>Potabilizadora Mérida I</b>	Extracción, almacenamiento y cloración.	1,500	1,250	365/24
<b>Potabilizadora Mérida II</b>	Extracción, almacenamiento y cloración.	500	450	365/24
<b>Potabilizadora Mérida III</b>	Extracción, almacenamiento y cloración.	1,200	850	365/24
<b>Potabilizadora Mérida IV</b>	Extracción, almacenamiento y cloración.	1,300	250	365/24

Nota: CI=Capacidad instalada; CMT=Caudal Medio Tratado; \*Días/hora de operación.

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por JAPAY

En la Figura 6.4, se muestra la ubicación de las cuatro zonas de extracción “plantas potabilizadoras” (Mérida I, II, III y IV), así como la ubicación de sus zonas de captación y los pozos.

Figura 6.1 Ubicación de las cuatro plantas potabilizadoras de la ciudad de Mérida con las zonas de captación y numero de pozos



Fuente: Elaboración propia. La información cartográfica se obtuvo CONABIO (<http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>) y OpenStreetMap (<http://www.openstreetmap.org>). Las plantas se georreferenciaron mediante Google Earth de acuerdo con la dirección proporcionada por JAPAY. Tanto la zona de captación como la línea de pozos se digitalizaron con base en una imagen satelital.

En cuanto a las posibles futuras fuentes de abastecimiento con que contará el organismo operador para satisfacer la demanda futura de la población creciente, ya se cuentan con algunos pozos de reserva y/o emergencia (Tabla 6.2).

Tabla 6.2 Fuentes futuras de abastecimiento de agua para la ciudad de Mérida al año 2030.

<b>Fuentes</b>	<b>Actuales</b>	<b>De reserva</b>	<b>Posibles o de emergencia</b>
<b>Subterráneas: -Pozos</b>	160	35	48

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por JAPAY

La Tabla 6.3 presenta los volúmenes de agua extraída de las plantas potabilizadoras de Mérida. Se puede observar que la planta Mérida 4 es la que tiene el menor volumen de extracción (7 884, 000 m<sup>3</sup>) debido a que es la más nueva y a pesar del número de pozos con los que cuenta, solo de unos pocos se extrae el agua actualmente.

Tabla 6.3 Volumen de agua extraída en las fuentes de abastecimiento de agua para la ciudad de Mérida al 2013

	<b>Mérida 1</b>	<b>Mérida 2</b>	<b>Mérida 3</b>	<b>Mérida 4</b>
<b>No. de pozos en operacion</b>	25	9	21	26
<b>Volumen de extracción de agua (m<sup>3</sup>/año)</b>	47 304,000	15 768,000	26 805,600	7 884,000

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por JAPAY

## **6.1 Infraestructuras y abastecimiento de agua potable**

El Consejo Consultivo del Agua (2010) define la oferta de agua como una métrica de la disponibilidad de agua o de escasez como resultado de condiciones

fisiográficas y de la infraestructura existente. Representa el resultado del volumen anual producido en m<sup>3</sup> entre la población total, con referencia a un parámetro óptimo de 200 L por habitante por día equivalente a 0.73 m<sup>3</sup> por habitante al año.

Una oferta excesiva indica pérdidas importantes o una cultura de consumo imprudente y no sostenible. Por el contrario, una oferta limitada puede ser perjudicial para los consumidores.

La infraestructura del sistema de agua incluye tanto el manejo de agua potable, y el manejo de aguas sanitarias y residuales. Estas deben garantizar la extracción, recolección y el suministro de agua potable en cantidad y calidad para el largo plazo como el manejo adecuado de las aguas de deshecho de tal forma que se garantice la salud pública y se ejecuten de la forma más eficiente en cuanto al uso de energía para asegurar su suministro en el largo plazo (JAPAY, 2013).

#### **6.4 Infraestructura de conducción y distribución de agua potable**

La infraestructura de conducción y distribución de agua potable de la ciudad de Mérida está compuesta por una red de tuberías de conducción y de distribución de agua potable subterránea, las características de las tuberías se muestran en la Tabla 6.4.

Tabla 6.4 Características de tuberías de conducción y distribución de agua potable (diámetros y longitudes) de Mérida



Tubería de conducción		Tubería de distribución	
Diámetro (in)	Longitud (m)	Diámetro (in)	Longitud (m)
24	2,319.60	1-3	225,246.40
30	30,467.70	4	2,089,972.10
36	4,072.50	6	317,826.00
42	3,574.60	8	319,958.70
48	6,456.40	10	8,516.10
		12	132,676.50
		14	15,656.70
		16	5,079.60
		18	70,763.00
		20	655.40

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por JAPAY

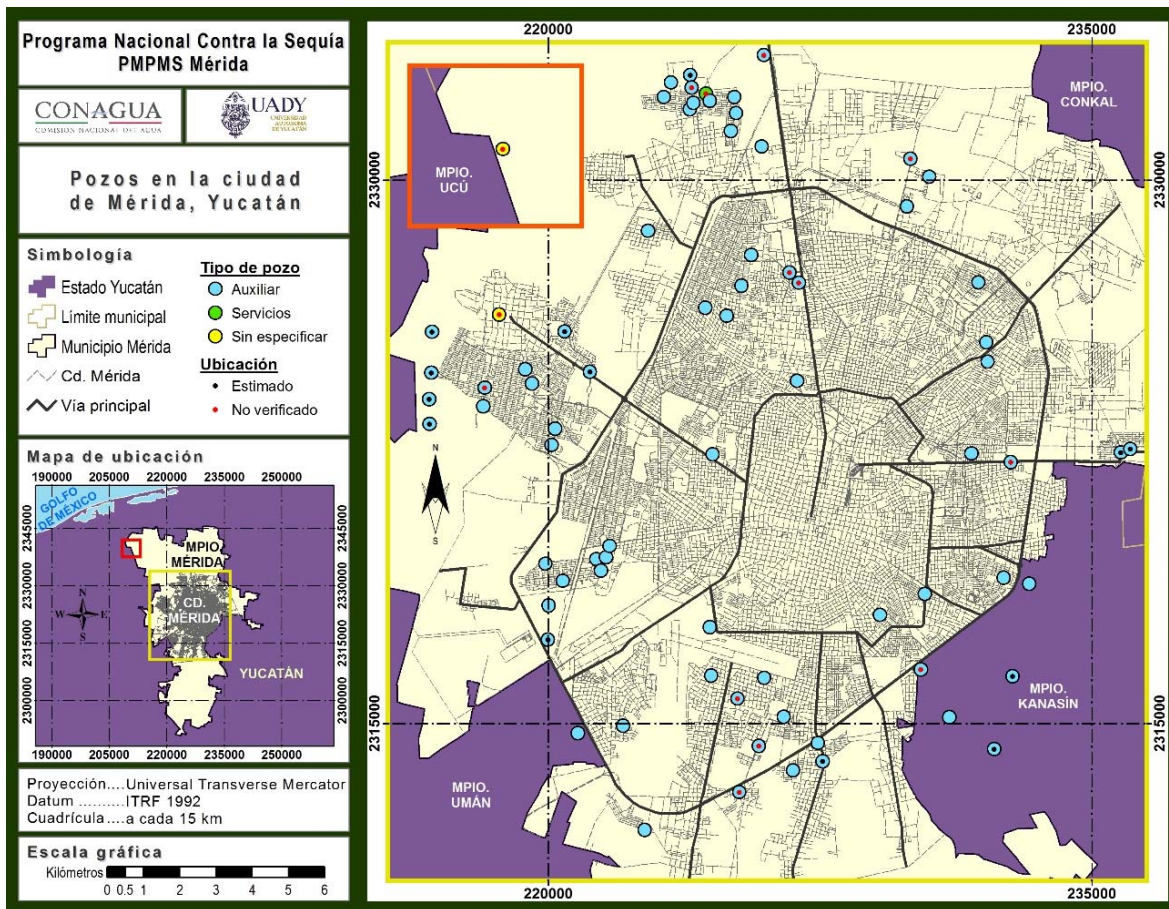
## 6.2 Servicio de agua potable

El sistema de abasto de agua potable está disponible para todos los habitantes de la ciudad. El organismo operador está obligado a desarrollar la infraestructura que garantice una cobertura de la red de agua potable del 100% en todos los asentamientos humanos regulares. El suministro de agua se realiza por medio de una red subterránea de tuberías, alimentada por 4 zonas de captación que cuentan con 155 pozos profundos de los cuales no operan 88, siendo el caudal desinfectado de 5,788 L/s (JAPAY, 2013).

### 6.2.1 Pozos auxiliares, estaciones de bombeo y tanques elevados

La ciudad de Mérida, cuenta con un sistema de abastecimiento de agua potable totalmente dependiente del agua subterránea, debido a la falta de corrientes superficiales. Por ello se cuenta con pozos de captación y auxiliares distribuidos dentro de la zona urbana y al rededores. La ubicación de los pozos auxiliares registrados por la JAPAY se muestra en la Figura 6.1.

Figura 6.2 Ubicación de los pozos de la ciudad de Mérida



Fuente: Elaboración propia. La información cartográfica se obtuvo de CONABIO (<http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>) y OpenStreetMap (<http://www.openstreetmap.org>). Los pozos se georreferenciaron mediante GoogleEarth de acuerdo con la dirección proporcionada por JAPAY. La ubicación "estimado" indica que la georreferenciación no es precisa por falta de información; "No verificado" indica que la ubicación se realizó conforme a la dirección pero la instalación no se visualizó mediante Streetview de GoogleEarth.

El organismo operador también cuenta en su infraestructura con estaciones de bombeo para suministrar presión a los flujos de agua y tanques elevados y superficiales, los cuales almacenan cantidades de agua como reservas, el número de estaciones y su capacidad de almacenamiento se enlistan en la tabla 6.5.

Tabla 6.5 Número y capacidad de sistemas de almacenamiento y regularización de agua potable en la ciudad de Mérida al 2013.

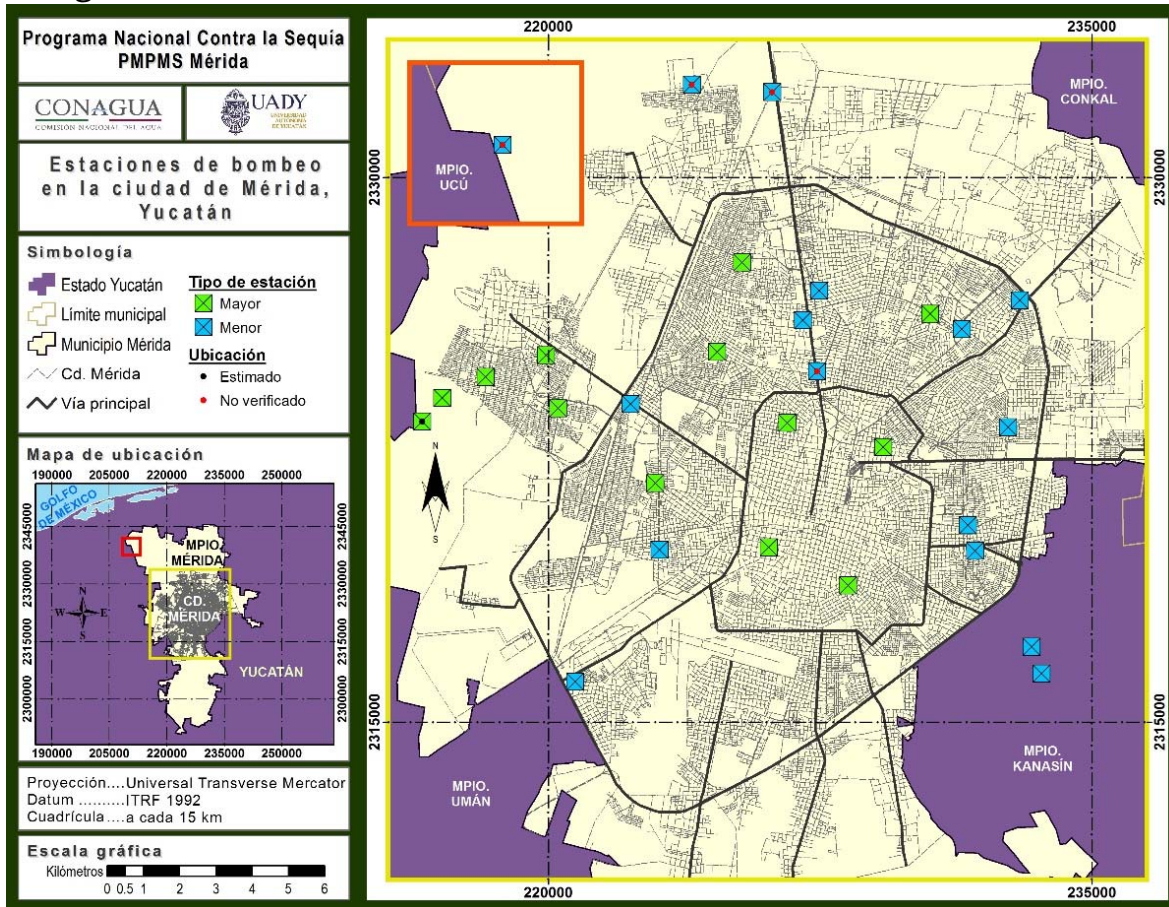
<b>Tipo de sistema</b>	<b>No. de estaciones de bombeo y tanques elevados</b>	<b>Capacidad de almacenamiento (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Capacidad de almacenamiento (días)*</b>
<b>Tanques superficiales</b>	16	32,750	<1
<b>Tanques semienterrados</b>	4	20,000	<1
<b>Tanques enterrados</b>	8	28,800	<1
<b>Tanques elevados</b>	14	1,600	<1
<b>Total</b>	42	83,150	<1

\* Días de acuerdo al consumo promedio de la ciudad.

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por JAPAY

La Junta de Agua Potable y Alcantarillado de Yucatán, cuenta con 13 estaciones de bombeo mayores y 16 menores para la ciudad de Mérida, en la figura 6.2 se muestra la ubicación de dichas estaciones de bombeo.

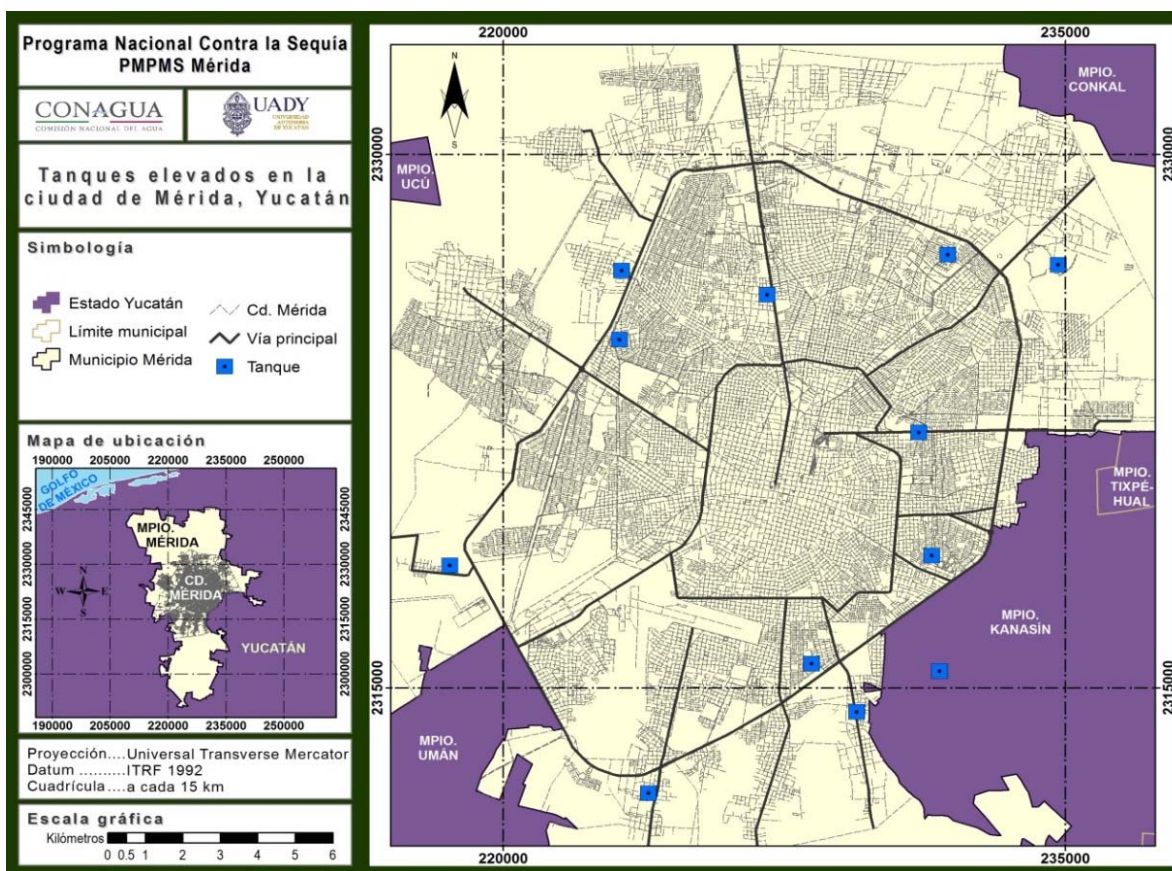
Figura 6.3 Ubicación de las estaciones de bombeo en la ciudad de Mérida



Fuente: Elaboración propia. La información cartográfica se obtuvo de CONABIO (<http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>) y OpenStreetMap (<http://www.openstreetmap.org>). Los Cárcamos se georreferenciaron mediante GoogleEarth de acuerdo con la dirección proporcionada por JAPAY. La ubicación "estimado" indica que la georreferenciación no es precisa por falta de información; "No verificado" indica que la ubicación se realizó conforme a la dirección pero la instalación no se visualizó mediante Streetview de GoogleEarth.

Por otro lado, además de las estaciones mayores y menores de bombeo, se cuenta con un total de 12 tanques elevados, localizados dentro de la zona urbana o en la periferia, en la figura 6.3 se muestra un mapa con su ubicación.

Figura 6.4 Ubicación de los tanques elevados de la ciudad de Mérida



Fuente: Elaboración propia. La información cartográfica se obtuvo de CONABIO (<http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>) y OpenStreetMap (<http://www.openstreetmap.org>). Los Tanques se georreferenciaron mediante GoogleEarth de acuerdo con la dirección proporcionada por JAPAY.

## 6.5 Tomas de agua potable

Las tomas de agua se clasifican en la Junta de Agua Potable y Alcantarillado de Yucatán (JAPAY) de acuerdo al tipo de servicio que se brinda, como: domésticas, comerciales, industriales, públicas y hoteleras. Para el año 2013 la JAPAY registró un total de 285,137 tomas de agua (Tabla 6.8).

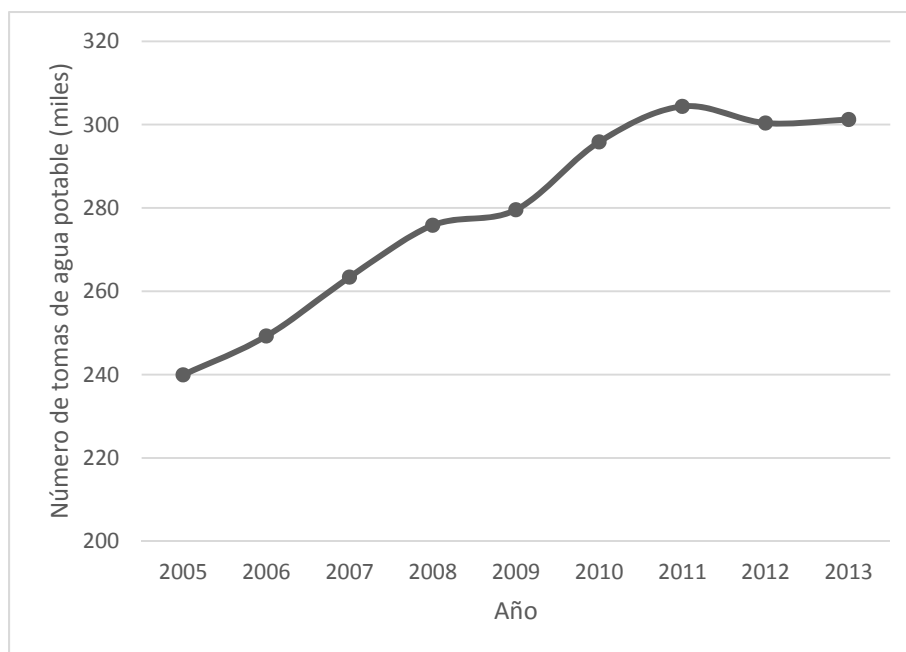
Tabla 6.6 Número, tipos de tomas, con medidor, sin medidor, tomas con servicio continuo de 2010 a 2013

Años	Tipo de Servicio	Con medidor			Sin medidor	Con servicio continuo
		Funcionando		Sin funcionar		
		Con lectura	Sin lectura			
2010	Domésticas	243,535	-	-	11,108	254,643
	Comerciales	15,784	-	-	1,211	16,995
	Público	914	-	-	27	941
	Hotelero	111	-	-	4	115
	<b>Total</b>	260,344	-	-	12,350	295,850
2011	Domésticas	266,194	-	-	17,010	283,204
	Comerciales	18,111	-	-	1,854	19,965
	Público	981	-	-	41	1,022
	Hotelero	177	-	-	6	183
	<b>Total</b>	285,463	-	-	18,911	304,374
2012	Domésticas	266,110	-	-	17,010	283,120
	Comerciales	16,753	-	-	1,854	18,607
	Público	969	-	-	41	1,010
	Hotelero	181	-	-	6	187
	<b>Total</b>	284,013	-	-	18,911	300,375
2013	Domésticas	266,354	-	-	15,280	281,634
	Comerciales	17,627	-	-	776	18,403
	Público	974	-	-	23	997
	Hotelero	182	-	-	4	186
	<b>Total</b>	285,137	-	-	16,083	301,220

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por JAPAY

El número de tomas registradas en la ciudad de Mérida se ha incrementado exponencialmente desde el año 2005, pasando de 240,000 hasta llegar a un total de 300,000 para el año 2013 (Figura 6.5).

Figura 6.5 Numero de tomas de aguas potable registradas de 2005 a 2013



Fuente: Elaboración propia con información obtenida de CONAGUA, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009a, 2010a, 2011a, 2012a, 2013b; 2014d.

## 6.6 Servicio de alcantarillado

El sistema de alcantarillado sanitario proporcionado por la JAPAY, tiene la función vital del desalojo de aguas negras que se producen en la población, incluyendo la industria y el comercio. Consta de una serie de tuberías por las que se conducen las aguas negras. El ingreso paulatino de estas aguas, ocasiona el incremento del diámetro a lo largo de las tuberías.

Este sistema se encuentra integrado por sistemas complementarios como los pozos de visita, los cuales son estructuras que permiten la inspección, ventilación y limpieza de la red de alcantarillado, se utilizan para la unión de dos o más tuberías, en cambios de diámetro, dirección y pendiente, así como para las ampliaciones o reparaciones de las tuberías incidentes (JAPAY, 2013). Las características en cuanto a diámetro y longitud de infraestructura del sistema de alcantarillado de Mérida, se presentan en la Tabla 6.7.

Tabla 6.7 Diámetro y longitud del alcantarillado, año 2013

Año	Alcantarillado	
	Diámetro (in)	Longitud (km)
2013	8-18	297.63

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por JAPAY

La red de alcantarillado de la ciudad de Mérida contó con aproximadamente 42,000 conexiones en el 2013, de las cuales la mayor cantidad se concentraron en el sector doméstico (Tabla 6.8). La cobertura del sistema de alcantarillado y drenaje incluye a los habitantes que tienen conexión con la red de alcantarillado o fosas sépticas. Hasta el 2013 se ha registrado una cobertura de drenaje de 7.10% (CONAGUA, 2013a).

Tabla 6.8 Conexiones a la red de alcantarillado clasificadas de acuerdo a los tipos de usos

Años	Tipo de servicio	No. de conexiones
2010	Domésticas	27,714
	Comerciales	456
	Públicos	15
	Hotelero	2
	<b>Total</b>	<b>28,187</b>
2011	Domésticas	32,090
	Comerciales	641
	Públicos	22
	Hotelero	2
	<b>Total</b>	<b>32,755</b>
2012	Domésticas	35,888
	Comerciales	650
	Públicos	27
	Hotelero	2
	<b>Total</b>	<b>36,567</b>
2013	Domésticas	41,528
	Comerciales	817
	Públicos	32
	Hotelero	2
	<b>Total</b>	<b>42,379</b>

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por JAPAY



## 6.7 Plantas de tratamiento

En Mérida existen un total de 30 plantas de tratamiento, cuya capacidad instalada total es de 682 L/s y un caudal de operación promedio de 103.87 L/s (CONAGUA, 2013a). El número de habitantes beneficiados es de 142,243 lo que representa el 18.29 % tomando en cuenta que la población de la ciudad de Mérida según el Censo de Población y Vivienda 2010 (INEGI, 2010) es de 777,615 habitantes.

Los diferentes tipos de plantas de tratamiento en operación de Mérida se muestran en la Tabla 6.9. El tipo de planta de tratamiento más común es la de lodos activados (17), seguida de las plantas anaerobias (10) y finalmente las plantas Dual y de Biodiscos con una planta de tratamiento en ambos casos (CONAGUA, 2013c).

Tabla 6.9 Tipos de plantas de tratamiento, capacidad instalada y caudal de operación reportados al año 2012.

<b>Tipo de Tratamiento</b>	<b>No. de plantas de tratamiento</b>	<b>Capacidad instalada (L/s)</b>	<b>Caudal tratado (L/s)</b>
Lodos activados	17	208.80	71.40
Anaerobio	10	283.00	39.80
Dual	1	18.50	7.00
Biodiscos	1	25.00	12.50
Total	29	535.3	130.7

Fuente: CONAGUA, 2013c

Las plantas de tratamiento de la ciudad de Mérida se han incrementado de 22 registradas en el año 2010 a 29 registradas en el 2013, sin embargo la capacidad instalada, el caudal de operación y el volumen de agua tratada se han mantenido relativamente constantes (Tabla 6.10).

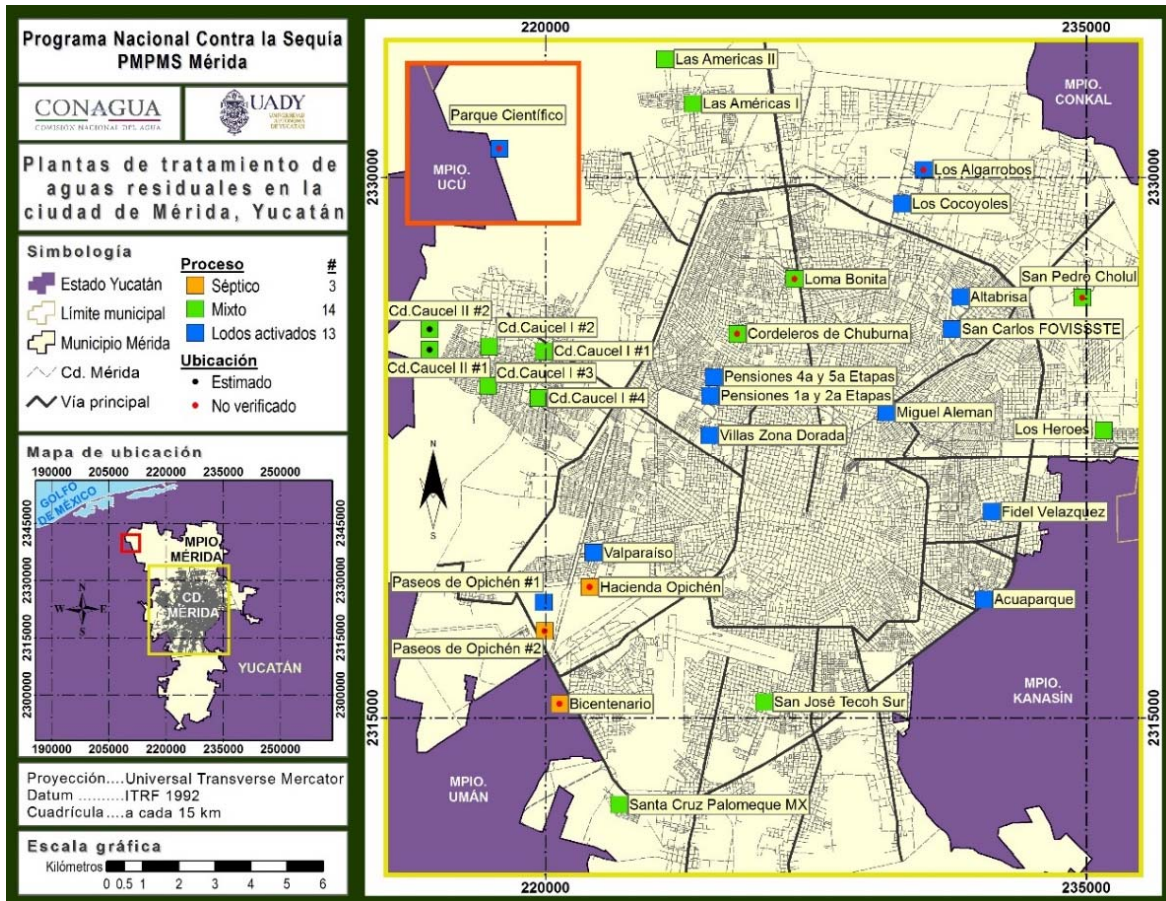
Tabla 6.10 Tipos de plantas de tratamiento, capacidad instalada, caudal de operación, volumen de agua descargada y porcentaje de eficiencia de los años 2010 a 2013 de la ciudad de Mérida.

<b>Características de plantas de tratamiento</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
<b>Número de plantas de tratamiento</b>	22	25	25	26
<b>Capacidad instalada (L/s)</b>	396.7	465.9	465.9	509.6
<b>Caudal de operación (L/s)</b>	117.1	85.52	85.52	116.7
<b>Volumen de agua tratada (m<sup>3</sup>/día)</b>	10,117.44	7,388.93	7,388.93	10,082.88
<b>*Porcentaje de eficiencia (%)</b>	95	95	95	95

Fuente: CONAGUA 2010c, 2011b, 2012b y 2013c, \*Información proporcionada por JAPAY.

En la Figura 6.6 se presenta la ubicación de las plantas de tratamiento de la ciudad de Mérida. Se puede observar que las plantas de tratamiento de lodos activados se encuentran dispersas por la ciudad, mientras que las del tipo anaerobio se restringen al oeste de la ciudad. La planta dual se encuentra en Susulá, al suroeste, y la planta de biofiltro se encuentra en la segunda etapa del complejo residencial Gran Santa Fé.

Figura 6.6 Mapa de la ubicación de las plantas de tratamiento de la ciudad de Mérida



Fuente: Elaboración propia. La información cartográfica se obtuvo de CONABIO (<http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>) y OpenStreetMap (<http://www.openstreetmap.org>). Las plantas se georreferenciaron mediante GoogleEarth de acuerdo con la dirección proporcionada por CONAGUA. La ubicación "estimado" indica que la georreferenciación no es precisa por falta de información; "No verificado" indica que la ubicación se realizó conforme a la dirección pero la instalación no se visualizó mediante Streetview de GoogleEarth.

## 6.8 Volúmenes de agua del sistema y micromedición

El sistema de abastecimiento de agua potable mantiene la cuantificación de los volúmenes suministrados a los usuarios, mediante la aplicación de un sistema de micromedición el cual permite determinar los consumos para la aplicación de las tarifas, así como la determinación del adecuado funcionamiento de los micromedidores (Lugo, 2013).

Los volúmenes de agua introducida, micromedidos, las pérdidas de agua al sistema de abastecimiento y la captación per cápita se presentan en la Tabla 6.11.

Tabla 6.11 Total de agua introducida, micromedida y estimada, pérdidas de agua de la red y la captación per cápita de Mérida de 2010 a 2013

<b>Años</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
<b>Total de agua producida(m<sup>3</sup>/año)</b>	135 040,275	147 321,441	151 610,630	154 073,676
<b>Total de agua facturada (m<sup>3</sup>/año)</b>	33 343,443	43 264,047	40 709,550	41 752,608
<b>Población servida</b>	805,298	834,156	873,953	-
<b>Estimación de pérdidas de agua de la red (m<sup>3</sup>/año) (estimación en agua producida menos agua facturada)</b>	57 772,138	60 502,012	68 078,080	68 882,936
<b>Captación per cápita (agua producida/población servida) L/h/d</b>	313.85	353.23	366.04	368.04

Nota: L/h/d: litros/habitante/día

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados JAPAY

## **6.9 Calidad del sistema de abastecimiento de agua potable**

### **6.9.1 Desinfección del agua**

El Organismo Operador, debe cumplir los estándares de calidad del agua potable de la CONAGUA, por ello realiza aproximadamente 1,000 monitoreos diarios, en diferentes sectores de la ciudad, con el fin de realizar los análisis de los parámetros bacteriológicos, fisicoquímicos y de cloración (JAPAY, 2014b).

La desinfección del agua distribuida por los sistemas de abastecimiento, constituye la protección final contra la transmisión de enfermedades bacterianas (cólera, tifoidea, disentería) y virales (hepatitis A y E, poliomielitis) por consumo de agua sin desinfectar.

La cloración es el método usado para la desinfección del agua en las plantas potabilizadoras del sistema de abastecimiento. Algunas de las ventajas del cloro son su fácil aplicación, bajo costo, el efecto residual que protege el agua de posterior contaminación y la inocuidad para el hombre en concentraciones de 0.2 a 1.5 mg/L de cloro residual. El cloro no solo desinfecta, sino también es un oxidante, por lo que auxilia en la eliminación de hierro, ácido sulfhídrico y otros minerales (CEA, 2012). La cloración se efectúa en las plantas potabilizadoras, siendo desinfectado el 100% del agua extraída (CONAGUA, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009a, 2010a, 2011a, 2012 y 2013b); mientras que el suministro de agua desinfectada, se mantiene constante desde el año 2010, con 3000 litros por segundo (2011a, 2012 y 2013b).

### **6.9.2 Mantenimiento del sistema, presión y fugas**

Con el trabajo de verificación de redes de agua, aunado a reportes de baja presión y fugas que se reciben de diversas zonas de la ciudad, la JAPAY a través de la Subdirección Técnica, realiza obras de mantenimiento para garantizar el abastecimiento y buena presión del vital líquido.

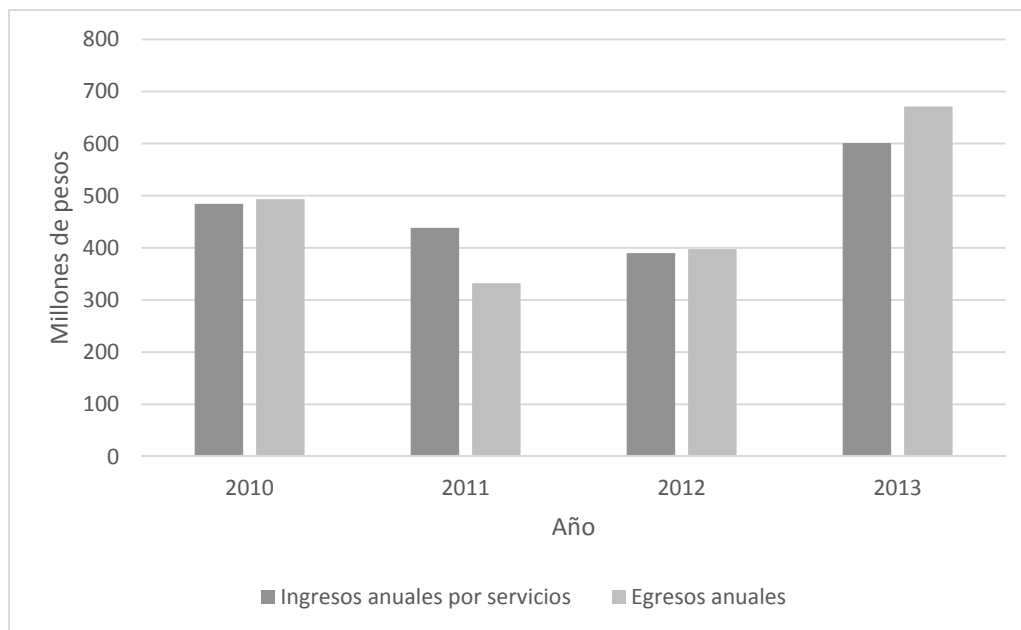
Estos trabajos mejoran la presión del agua debido a que se realizan inspecciones para detectar de fugas, resultando la ubicación de tubos rotos y tubería “cristalizada”, los que al ser reparados hacen que la presión de agua se mantenga en un promedio de 0.5 kg/cm<sup>2</sup> (Espejo, comunicación personal, 2014).

La cantidad abastecida de agua potable registrada en el año 2013 fue de 110, 635,544 m<sup>3</sup> mientras que la facturada es de 33 343, 443 m<sup>3</sup>, esto representa un 36.5% de eficiencia física, es decir más del 60% se pierde durante la distribución. Visto de otra manera, si el organismo operador no tuviera fugas en su sistema de distribución se podría considerar que la producción de agua abastecería aproximadamente el triple de la demanda de la población.

### **6.10 Autosuficiencia financiera**

Para determinar la autosuficiencia financiera es necesario analizar los ingresos y egresos del organismo operador. Los principales gastos que tiene el organismo operador son de corriente eléctrica, ya que todas las bombas del sistema de abastecimiento funcionan por medio de energía eléctrica y no se cuenta con opciones alternativas de energía. Los ingresos se obtienen de los servicios de la distribución de agua, exceptuando el año 2011, el organismo operador obtiene de manera consistente menores ingresos a sus egresos.

Figura 6.7 Ingresos y egresos del abastecimiento de agua potable de Mérida



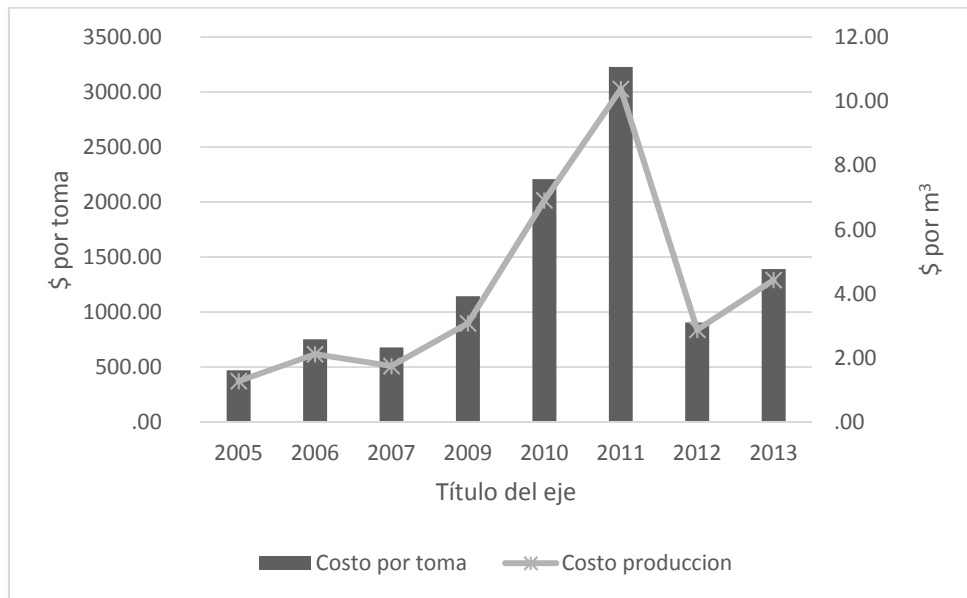
Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por JAPAY

### 6.11 Costos unitarios de producción y de operación

Para la determinación de los costos unitarios de producción del abastecimiento de agua potable, se toman en cuenta los números de tomas totales, las cuales miden los volúmenes de agua que se facturaran. Las tomas de agua se clasifican en la Junta de Agua Potable y Alcantarillado de Yucatán de acuerdo al tipo de servicio que se brinda, como: domésticas, comerciales, industriales, públicas y hoteleras.

Para el año 2013 la JAPAY registró un total de 285,137 tomas de agua. Los costos unitarios de las tomas de agua y los costos de producción por m<sup>3</sup> se presentan en la Figura 6.9. Se puede observar que el costo por toma y el costo de producción mayor fueron para el año 2011, con \$3,228 por toma y \$10.38 por metro cúbico respectivamente. El menor costo por toma y costo por producción fue para el año 2005, con \$472 por toma y \$1.28 por m<sup>3</sup>.

Figura 6.8 Costos unitarios por toma de agua y metro cubico histórico de 2005 a 2013



Nota: No se cuenta con la información disponible para el año 2008.

Fuente: Elaboración propia con información obtenida de CONAGUA, 2004, 2005, 2006, 2007, 2009a, 2010a, 2011a, 2012, 2013b y 2014d.

Debido a que no tiene autosuficiencia financiera, la JAPAY en la ciudad de Mérida no cuenta con ningún plan de renovación de infraestructura, solo para la reparación de tuberías mediante revisión periódica y reportes de usuarios.

### 6.12 Macromedición

Los sistemas de macromedición, proporcionan la información para la evaluación, seguimiento y planificación de los sistemas de abastecimiento de agua. La macromedición se obtiene de las lecturas de los medidores de flujo en las líneas de agua de alimentación de un sector, con el fin de determinar los consumos de dichos sectores y así también determinar junto a la micromedición (medición de los volúmenes de consumo de las viviendas) el funcionamiento de las redes de agua potable (CEPIS, 1981).



En la Tabla 6.14 se presenta las características de la macromedición en las Fuentes de abastecimiento de agua de Mérida de 2005 a 2013.

Tabla 6.12 Cobertura de la macromedición en las fuentes de abastecimiento de Mérida

		2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	
<b>Volumen extraído (Mm<sup>3</sup>/año)*</b>		118.60	125.50	129,15	135.04	147.32	151.61	154.07	
<b>Caudal Producido (L/s)</b>		3,250	3300	3,300	3000	3,000	3,000	3,000	
<b>Fuentes de Abastecimiento</b>	<b>En operación (Número)</b>	95	100	100	102	102	106	110	
	<b>Fuera de operación (Número)</b>	27	27	27	2	3	3	3	
	<b>Capacidad Instalada (L/s)</b>	3500	3500	3,550	3600	3,600	3,600	3,600	
	<b>Macromedición</b>	<b>Funciona (L/s)</b>	2,800	2850	2,850	2850	2,850	2,850	2,850
		<b>No funciona (L/s)</b>	700	700	700	700	700	700	700
<b>Respecto a la producción (%)</b>		86.15	86	86	95	95	95	95	
<b>Respecto a la capacidad instalada (%)</b>		80.00	81	80	79	79	79	79	

Fuente: Elaboración propia con información obtenida de CONAGUA, 2007, 2008, 2009a, 2010a, 2011a, 2012, 2013 y 2014. \*Información proporcionada por la JAPAY.

## **CAPITULO 7. EVALUACIÓN DE LA DEMANDA/CONSUMO DE AGUA**

### **7.1 Cobertura de agua potable**

La cobertura de agua potable se mide en porcentaje, y es el tanto por ciento de la población que cuenta con el servicio hasta la entrada a su domicilio (predios conectados a la red). CONAGUA registra para el año 2013 una cobertura del servicio del 98% con un caudal producido promedio de 1,933.35 L/s. En la Tabla 7.1 se muestra la cobertura histórica del servicio de agua potable en Mérida.

Tabla 7.1 Cobertura del servicio de agua potable para la ciudad de Mérida de 2010 a 2013

<b>Año</b>	<b>Viviendas totales con servicio</b>	<b>Viviendas con tomas de agua potable (%)</b>
<b>2010</b>	326,012	98
<b>2011</b>	334,491	98
<b>2012</b>	330,491	98
<b>2013</b>	331,334	98

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por JAPAY.

Los tipos de usuarios del servicio de aguas están denominados de acuerdo al tipo de uso al que se destina el agua. En la Tabla 7.2 se presenta la relación de los tipos de usuarios y las tomas de agua para la ciudad de Mérida.

Tabla 7.2 Distribución de los consumidores de agua, tomas de agua potable activas por tipo de usuario para la ciudad Mérida (2010-2013)

<b>Años</b>		<b>Residencial</b>	<b>Comercial</b>	<b>Público/ gobierno</b>	<b>Hoteleros</b>
<b>2010</b>	<b>Total tomas</b>	275,492	19,220	1,000	138
	<b>Tomas de agua sin medidor</b>	16,450	1,793	40	6
	<b>Tomas con medidor instalado</b>	259,042	17,427	960	132
	<b>Tomas con medidor funcionando</b>	259,042	17,427	960	132

	<b>Tomas con servicio continuo</b>	Todas	Todas	Todas	Todas
	<b>Volumen de consumo o facturado (m<sup>3</sup>/año)</b>	27 782,741	3 850,493	1 275,179	435,030
	<b>Cobertura de micromedición (%)</b>	94	90.67	96	95.65
	<b>Consumo por toma (m<sup>3</sup>)</b>	100.84	200.33	1,275.17	3,152.39
<b>2011</b>	<b>Total tomas</b>	283,204	19,965	1,022	183
	<b>Tomas de agua sin medidor</b>	17,010	1,854	41	6
	<b>Tomas con medidor instalado</b>	266,194	18,111	981	177
	<b>Tomas con medidor funcionando</b>	266,194	18,111	981	177
	<b>Tomas con servicio continuo</b>	Todas	Todas	Todas	Todas
	<b>Volumen de consumo o facturado (m<sup>3</sup>/año)</b>	36 451,862	4 820,950	1 483,864	507,371
	<b>Cobertura de micromedición (%)</b>	93.99	90.71	95.98	96.72
	<b>Consumo por toma (m<sup>3</sup>)</b>	128.71	241.47	1,451.92	2,772.51
<b>2012</b>	<b>Total tomas</b>	281,718	17,486	987	184
	<b>Tomas de agua sin medidor</b>	15,608	733	18	3
	<b>Tomas con medidor instalado</b>	266,110	16,753	969	181
	<b>Tomas con medidor funcionando</b>	266,110	16,753	969	181
	<b>Tomas con servicio continuo</b>	Todas	Todas	Todas	Todas
	<b>Volumen de consumo o facturado (m<sup>3</sup>/año)</b>	34 299,586	4 536,300	1 396,250	477,414
	<b>Cobertura de micromedición (%)</b>	94.45	95.80	98.176	98.36
	<b>Consumo por toma (m<sup>3</sup>)</b>	121.75	259.42	1,414.64	2,594.64

<b>2013</b>	<b>Total tomas</b>	281,634	18,403	997	186
	<b>Tomas de agua sin medidor</b>	15,280	776	23	4
	<b>Tomas con medidor instalado</b>	266,354	17,627	974	182
	<b>Tomas con medidor funcionando</b>	266,354	17,627	974	182
	<b>Tomas con servicio continuo</b>	Todas	Todas	Todas	Todas
	<b>Volumen de consumo o facturado (m<sup>3</sup>/año)</b>	35 116,307	4 558,100	1 552,061	526,140
	<b>Cobertura de micromedición (%)</b>	94.57	95.78	97.69	97.84
	<b>Consumo por toma m<sup>3</sup></b>	124.68	247.68	1,556.73	2,828.70

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por JAPAY.

En la tabla 7.3 se identificaron los usuarios que registraron el mayor consumo de agua anual (m<sup>3</sup>/año), en los sectores Comercial, Hotelero y Público-Gubernamental.

Tabla 7.3 Principales usuarios más demandantes de agua por sector año 2013

<b>Sector</b>	<b>Consumo anual de agua (facturado) (m<sup>3</sup>/año)</b>
<b>Comercial</b>	
1	95,338.00
2	25,711.00
3	24,415.00
4	24,043.00
5	19,537.00
<b>Hotelero</b>	
1	83,452.00
2	29,686.00
3	24,548.00
4	18,322.00
5	18,051.00
<b>Público/ gubernamental</b>	
1	203,380.00
2	105,197.00
3	78,478.00
4	65,780.00
5	54,022.00

Nota: Los datos de razón social y/o nombre de la persona física no son reportados por razones de confidencialidad.

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por JAPAY.

Por otro lado, en la tabla 7.4 se enumeran los usuarios de los diferentes tipos de uso: Industrial, Doméstico, Público Urbano, Servicios, Agrícola y Uso múltiple que registran el mayor número de concesiones, así como su año de registro y el volumen total utilizado.

Tabla 7.4 Principales usuarios con más concesiones de agua potable por tipo de uso de agua

<b>Tipo de uso</b>	<b>Usuario</b>	<b>Número de concesiones</b>	<b>Vol. Total (m<sup>3</sup>)</b>
<b>Público/ Gobierno</b>	<b>Comisión Federal de Electricidad (CFE)</b>	27	10 039,466.88
	<b>AES Mérida III S. de R.L. de C.V</b>	7	6 937,920.00
	<b>Ayuntamiento de Mérida</b>	60	5 229,145.75
	<b>Aeropuerto de Mérida S.A. de C.V.</b>	7	149,473.17
	<b>Clínica de Mérida S.A. de C.V.</b>	1	126,144.00
<b>Industrial</b>	<b>BEPENSA</b>	19	7 562,891.50
	<b>Desarrollos Inmobiliarios SADASI S.A. de C.V.</b>	11	4 160,855.66
	<b>Instituto de vivienda del Estado de Yucatán</b>	5	3 247,577.25
	<b>Bebidas purificadas del sureste S. de R.L. de C.V.</b>	3	1 097,025.60
	<b>Fomentadora urbana del sureste S.A. de C.V.</b>	4	184,000.00
<b>Comercial</b>	<b>GIALMAX S.A. de C.V.</b>	1	2 160,000.00
	<b>Santos Lugo S.A. de C.V.</b>	1	915,000.00
	<b>Centro deportivo Bancario de Yucatán S.C.P.</b>	1	682,920.98
	<b>COPPEL S.A. de C.V.</b>	1	221,455.00
	<b>Club Campestre de Mérida S.A. de C.V.:</b>	5	207,955.50

Nota: Año de registro \*(año) (no. de concesiones en ese año)

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por CONAGUA

## 7.2 Consumo y dotación per cápita

La dotación per cápita se refiere a la cantidad de agua destinada para cada habitante. Este valor se puede calcular tomando en cuenta la producción total de agua, dividida entre el número de habitantes, mientras que el consumo es una estimación que considera la pérdidas de agua ya que se toma en cuenta solo el volumen facturado. En la Tabla 7.5, se presenta la dotación histórica per cápita L/h/d, mientras que en la Tabla 7.6 se presenta el consumo histórico per cápita L/h/d.

Tabla 7.5 Dotación per cápita de agua potable para los habitantes de Mérida de 2010 a 2013

<b>Años</b>	<b>Dotación per cápita (L/h/d) (Producción)</b>
2010	313.85
2011	353.23
2012	366.04
2013	368.04

Nota: L/h/d: Litros/habitante/día

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por JAPAY

Tabla 7.6 Consumo per cápita (L/h/d) de la ciudad de Mérida.

<b>Años</b>	<b>Consumo per cápita (L/h/d) (Facturación)</b>
2010	116.68
2011	149.44
2012	138.88
2013	140.75

Nota: L/h/d: Litros/habitante/día

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por JAPAY

## 7.3 Eficiencias del sistema de abastecimiento de agua potable

### 7.3.1 Eficiencia comercial

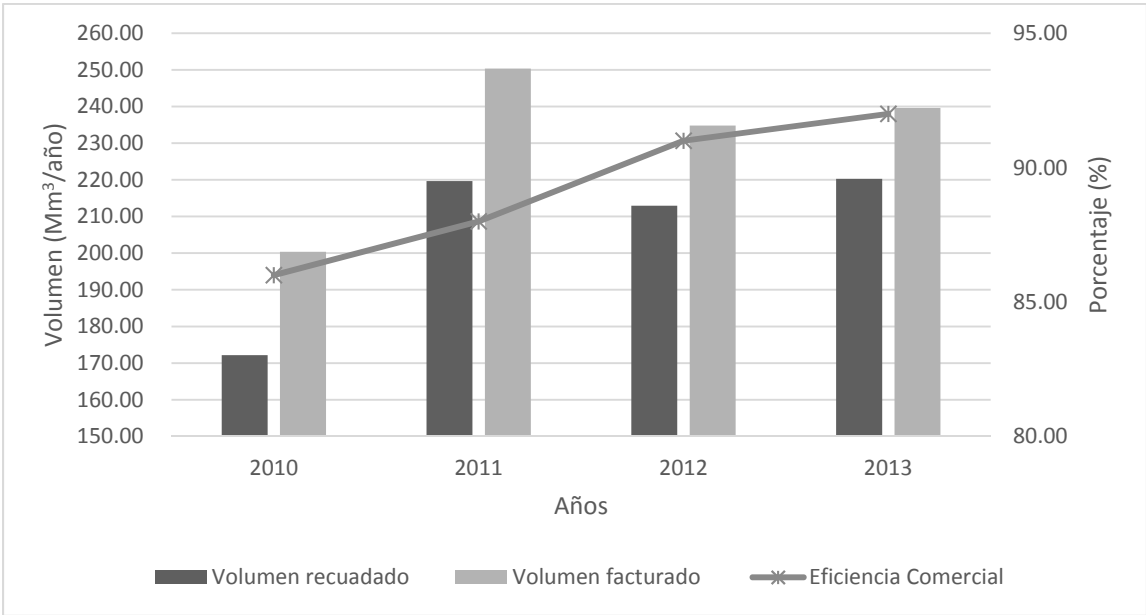
Para analizar la demanda de agua potable es necesario tomar en cuenta los volúmenes recaudados y facturados del recurso hídrico, los cuales están

considerados para determinar la eficiencia comercial del sistema de abastecimiento de agua.

La eficiencia comercial corresponde a las ventas de los servicios de agua potable y es un porcentaje que representa el volumen de agua que se recauda respecto al que se factura (CONAGUA, 2009b).

En la gráfica presentada en la figura 7.1 se muestra la eficiencia comercial en relación con los volúmenes recaudados y los volúmenes facturados.

Figura 7.1 Eficiencia comercial del sistema de abastecimiento de agua potable en Mérida



Fuente: Elaboración propia con información obtenida de CONAGUA, 2010a, 2011a, 2012, 2013 y 2014d.



El año de mayor volumen recaudado fue para el año 2013 con 220 249,229.00 m<sup>3</sup> y el mayor volumen facturado fue el 2011, con 250 326,874.00 m<sup>3</sup>. El año 2010 fue el que presentó el menor volumen recaudado y facturado, con 172 166,067.00 y 200 382,824.00 m<sup>3</sup> respectivamente. En cuanto a la eficiencia comercial el año 2013 es el que ha presentado la mayor eficiencia con 92% por el contrario el 2010 fue el año que muestra la menor eficiencia comercial con 86%

### **7.3.2 Eficiencia física**

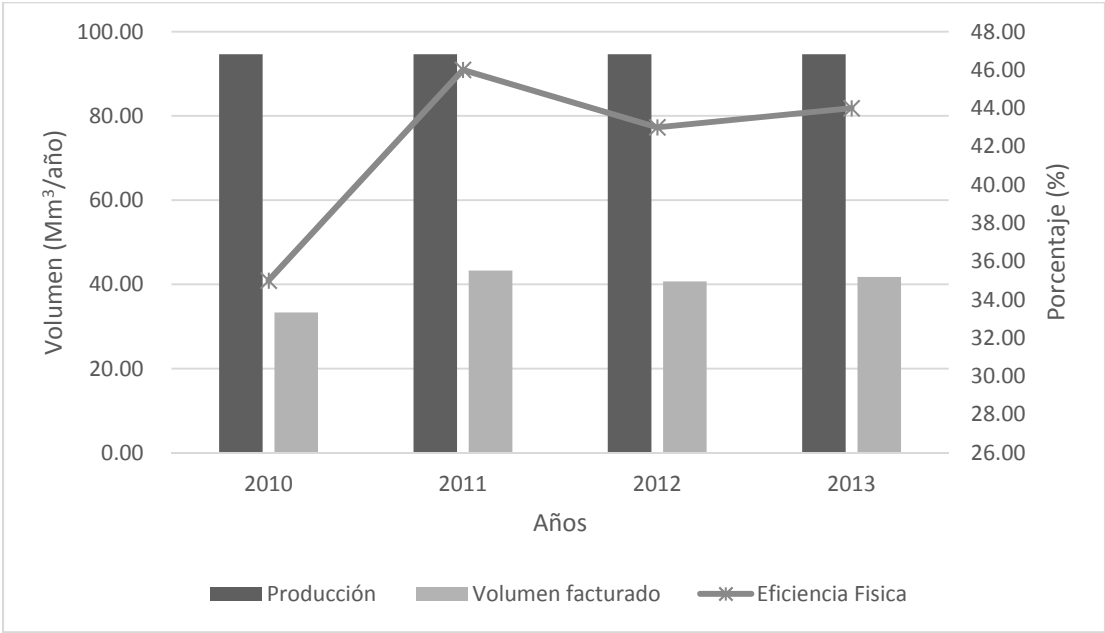
La eficiencia de un sistema de abastecimiento de agua potable a ciudades se asocia con el proceso de captar, conducir, regularizar, potabilizar y distribuir el agua, desde la fuente natural hasta los consumidores, con un servicio de calidad total (CONAGUA, 2009b). Puede medirse en tres áreas de desempeño del organismo operador: sistema físico de producción y distribución, el ámbito comercial, y el ámbito administrativo institucional, no obstante los indicadores comúnmente usados en el sector son los de eficiencia física, comercial y global (Olivares, 2010).

Es importante para el organismo operador, incluir en sus metas la reducción de agua no contabilizada o no facturada. Estas son consideradas como pérdidas físicas y pérdidas comerciales.

Las pérdidas físicas se refieren a pérdida de agua durante la captación hasta la toma domiciliaria, ya sean por fugas en estructuras, tuberías, tomas domiciliarias etc., por lo que el suministro es deficiente. El término de pérdidas comerciales se refiere al agua que sí llega de manera física al usuario, pero no es contabilizada por diversas razones como tomas clandestinas, tomas sin medidor o tomas con medidor descompuesto.

Para calcular la eficiencia física se toma en cuenta el volumen facturado de agua entre el volumen de agua utilizado en el sistema. La implementación de planes de renovación y reparación de infraestructura, incrementaría la eficiencia física. En la Figura 7.2 se muestra la eficiencia física histórica del abastecimiento anual de agua en la ciudad de Mérida.

Figura 7.2 Eficiencia física del abastecimiento de Mérida de 2010 a 2013



Fuente: Elaboración propia con información obtenida de CONAGUA, 2010a, 2011a, 2012, 2013 y 2014d.

La producción de agua potable se mantiene estable desde el año 2010 al año 2013 con 94 608,000.00 m<sup>3</sup>. El mayor volumen facturado se presenta en el 2011 con 43 264,047 m<sup>3</sup>. Las eficiencias físicas son bajas entre valores de 35% y 46%, siendo el 2011 el que presenta el mayor porcentaje (46%).

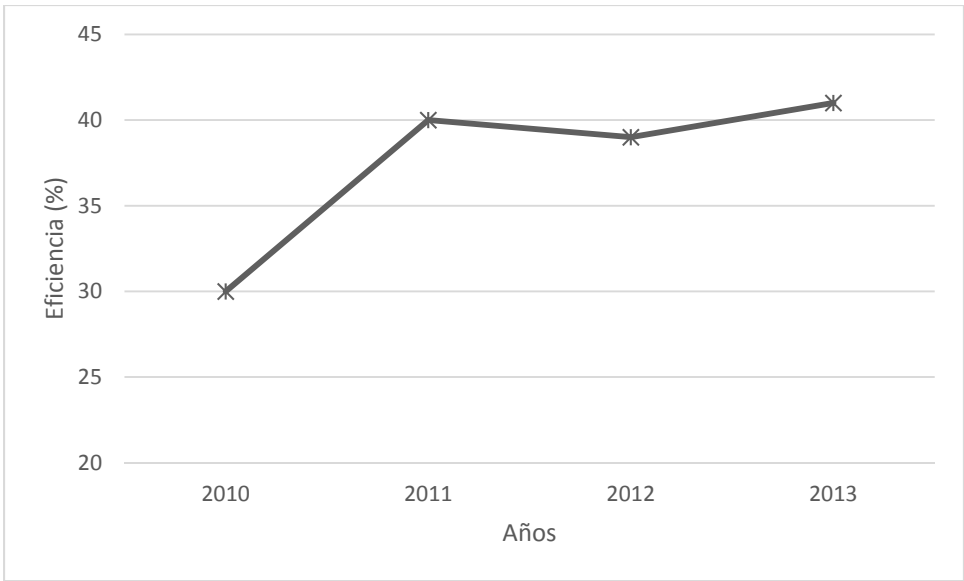
**7.3.3 Eficiencia global**

La eficiencia global se asocia con el volumen de agua que se cobra a los usuarios respecto al total que se suministra al sistema de abastecimiento; el resultado

se obtiene de multiplicar la eficiencia física por la eficiencia comercial, obteniéndose una medición del desempeño general, el cual representa el porcentaje del agua producida que se paga en realidad.

En la Figura 7.3 se presenta la eficiencia global anual de los sistemas de abastecimiento. Se observa que la eficiencia global para el año 2011 es del 30% la más baja registrada entre los años reportados (2010), mientras que para el año 2013, se alcanza un 41% de eficiencia global.

Figura 7.3 Eficiencia global histórica del sistema de abastecimiento de Mérida de 2010 a 2013



Fuente: Elaboración propia con información obtenida de CONAGUA, 2010a, 2011a, 2012, 2013 y 2014d.

En los últimos tres años (2011-2013) la eficiencia global se ha mantenido constante con valores cercanos al 41%. A continuación se presenta en la Tabla 7.7, con los valores históricos de los volúmenes producidos, facturados, recaudados y eficiencias del sistema.

Tabla 7.7 Volúmenes de producción y porcentajes de eficiencias históricas de la JAPAY de 2008 a 2013

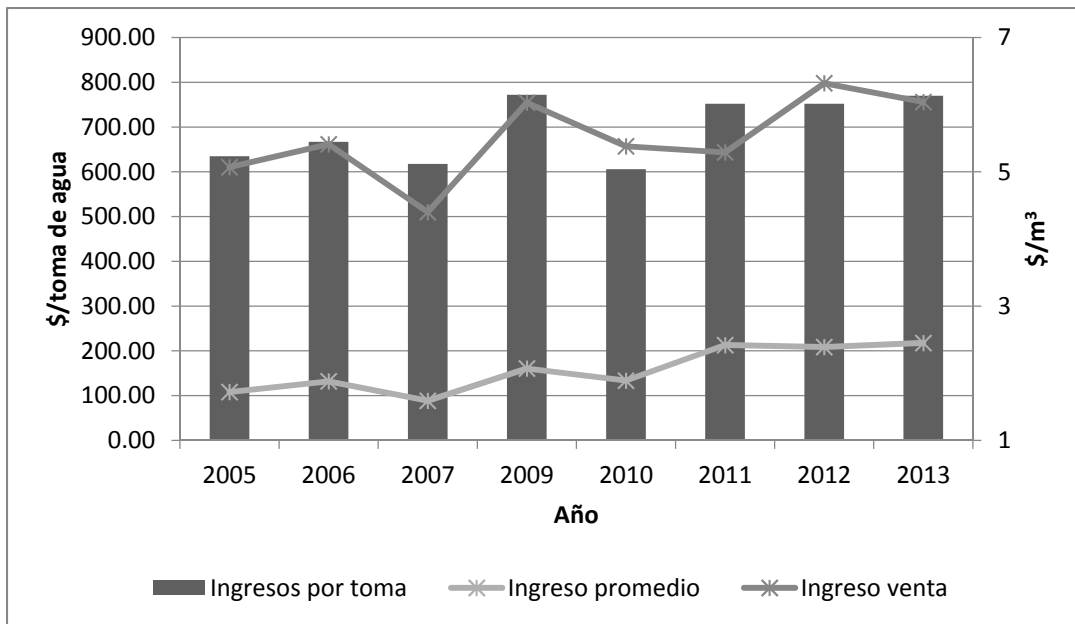
<b>Años</b>	<b>Volumen producido (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Volumen facturado (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Volumen recaudado (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Eficiencia física %</b>	<b>Eficiencia comercial %</b>	<b>Eficiencia global %</b>
<b>2010</b>	135 040,275	33 343,443	28 648,211	24.60	85.92	21.14
<b>2011</b>	147 321,441	43 264,047	37 889,052	29.23	87.58	25.60
<b>2012</b>	151 610,630	40 709,550	36 919,234	26.81	90.69	24.31
<b>2013</b>	154 073,676	41 752,608	38 378,976	26.95	91.92	24.78

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por JAPAY

Como ya se mencionó el servicio de abastecimiento para la ciudad de Mérida se da las 24 horas, durante los 365 días del año, sin interrupción; con un 100% de los usuarios recibiendo con presión-promedio. El organismo operador registra los ingresos unitarios por toma de agua, ingresos promedio y de venta de m<sup>3</sup> de agua (Figura 7.4). El ingreso venta de m<sup>3</sup> de agua es equivalente al costo de las tarifas para los usuarios.

El ingreso por toma se ha ido incrementando poco a poco, ya que para el año 2005, los ingresos por toma era de 635.00 pesos, mientras que para el año 2013, estos ingresos ascienden a 770.00, el incremento se ha dado de manera constante año con año, a excepción de 2007 y 2010, ya que en el primer caso se redujo de 667.00 en 2006 a 617.76 en 2007, y para el segundo caso se redujo de 772.24 en 2009 a 605.99 en 2010.

Figura 7.4 Ingresos unitarios por toma de agua, ingresos promedio y de venta



Nota: No se cuenta con la información disponible para el año 2008.

Fuente: Elaboración propia con información obtenida de CONAGUA, 2004, 2005, 2006, 2007, 2009a, 2010a, 2011a, 2012, 2013b y 2014d.

Los ingresos promedio han variado de 1.72 pesos por metro cúbico en 2005, a 2.45 pesos por metro cúbico para el año 2013, mientras que los ingresos de venta han variado de 5.07 pesos por metro cúbico para el año 2005, hasta 6.04 para el año 2013.

## **CAPITULO 8. BALANCE DE AGUA Y EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD INSTALADA**

### **8.1 Disponibilidad de agua**

Para determinar la disponibilidad de agua en la ciudad de Mérida se tomaron los datos de hidrología subterránea del acuífero de la península de Yucatán con un valor de 5,005 Mm<sup>3</sup>/año (DOF, 2013c). Tomando en cuenta que la superficie de la península de Yucatán es de 140,000 km<sup>2</sup> se realizó la estimación para el área de la ciudad de Mérida la cual tiene una superficie de 8, 834 km<sup>2</sup> por lo que la disponibilidad de agua sería de 3,158.78 Mm<sup>3</sup>/año.

### **8.2 Balance de agua**

Siempre se extrae de las fuentes naturales la que finalmente se distribuye y consume en las ciudades, debido a que existen pérdidas físicas y comerciales lo largo del proceso. Para reducir las pérdidas es importante identificar en que partes del proceso se presentan, para poder proporcionar soluciones al problema. En la Tabla 8.1, se muestra el balance de agua en m<sup>3</sup> en el sistema de abastecimiento de la ciudad.

Tabla 8.1 Balance de agua del sistema de abastecimiento de la ciudad de Mérida 2013

<b>Volúmenes</b>	<b>Captación</b>	<b>Conducción</b>	<b>Producción (desinfección)</b>	<b>Distribución</b>	<b>Facturación</b>	<b>Cobranza</b>
<b>Procesados (m<sup>3</sup>)</b>	154 073,676	154 073,676	154 073,676	105 103,766.8	41 752,608	38 378,976
<b>Perdidos (m<sup>3</sup>)</b>	0	0	0	48 969,909.2	0	3 373,632

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por la JAPAY

### 8.3 Capacidad de abasto/capacidad instalada

Para cuantificar el margen de maniobra potencial en la producción de agua, es necesario comparar la producción y consumo contra la capacidad instalada del sistema. En la Tabla 8.2, se muestra la producción y consumo anual contra la capacidad instalada.

Tabla 8.2 Producción y consumo anual contra capacidad instalada de 2010 a 2013

<b>Años</b>	<b>Volumen producido m<sup>3</sup> (A)</b>	<b>Volumen consumido m<sup>3</sup> (B)</b>	<b>Capacidad instalada m<sup>3</sup> (C)</b>	<b>Razón de producción sobre capacidad (A/C)</b>	<b>Razón de consumo sobre capacidad (B/C)</b>
<b>2010</b>	135 040,275	33 343,443	218 140,345	0.62	0.15
<b>2011</b>	147 321,441	43 264,047	227 143,569	0.65	0.19
<b>2012</b>	151 610,630	40 709,550	263 012,226	0.58	0.15
<b>2013</b>	154 073,676	41 752,608	282 285,431	0.55	0.15

Nota: El volumen consumido se consideró como volumen facturado.

Fuente: Elaboración propia con de datos proporcionados por la JAPAY

### 8.4 Variaciones estacionales de oferta y demanda

El consumo y la dotación de agua varían de acuerdo con las épocas del año. Por ejemplo, debido al incremento de la temperatura en los meses calurosos, se incrementa el consumo del agua. De este modo, la infraestructura deberá ser proporcional a las cantidades de agua que se demandan en los periodos de mayor consumo.

En la Tabla 8.3, se presentan los valores registrados de la dotación mensual del sistema de abastecimiento por habitante, en la que se puede observar un incremento en la dotación de 2010 a 2013 de aproximadamente 1.5 metros cúbicos, mientras que en la dotación mensual se mantiene estable durante el año.

Tabla 8.3 Dotación mensual por habitante del sistema de abastecimiento de aguas de Mérida. 2010-2013(m3)

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Año												
<b>2010</b>	13.70	13.43	13.86	13.67	14.02	14.04	14.24	13.92	14.20	14.00	14.08	14.19
<b>2011</b>	14.86	14.8	14.77	14.80	14.92	15.08	14.89	14.96	14.72	15.70	15.37	15.49
<b>2012</b>	15.32	15.45	15.44	14.77	15.57	14.93	14.97	15.15	15.10	15.96	15.42	15.00
<b>2013</b>	15.17	15.26	14.96	14.92	15.48	15.43	15.24	15.03	15.30	15.81	15.82	16.02

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por la JAPAY

Al igual que la dotación mensual por habitante, la capacidad instalada también ha tenido una tendencia creciente, esto debido al incremento en dicha dotación per cápita y al incremento poblacional. En la tabla 8.4 se muestra la evolución en la capacidad instalada del sistema operador, que para el año 2010 contaba con 218 140,345 millones de metros cúbico (Mm<sup>3</sup>), y para el año 2013 esta capacidad se incrementó a 282,285,431 Mm<sup>3</sup>.

Tabla 8.4 Capacidad instalada anual del sistema de abastecimiento de agua de Mérida 2010-2013.

Años	2010	2011	2012	2013
<b>Capacidad instalada (m<sup>3</sup>)</b>	218 140,345	227 143,569	263 012,226	282 285,431

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por la JAPAY.

Con los valores de dotación mensual, capacidad instalada y consumo mensual, es posible calcular la proporción que existe entre la dotación mensual y la capacidad instalada, así como la relación entre el consumo mensual y la capacidad instalada (Tabla 8.5).



Tabla 8.5 Proporción de la dotación y consumo mensual, y la capacidad instalada mensual de 2010 a 2013

Mes		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Años													
2010	DM /CI	0.05	0.04	0.05	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
	CM /CI	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
2011	DM /CI	0.05	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
	CM /CI	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
2012	DM /CI	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.04	0.04
	CM /CI	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
2013	DM /CI	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
	CM /CI	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

Nota: DM= Dotación mensual CM= Consumo mensual, CI=Capacidad instalada

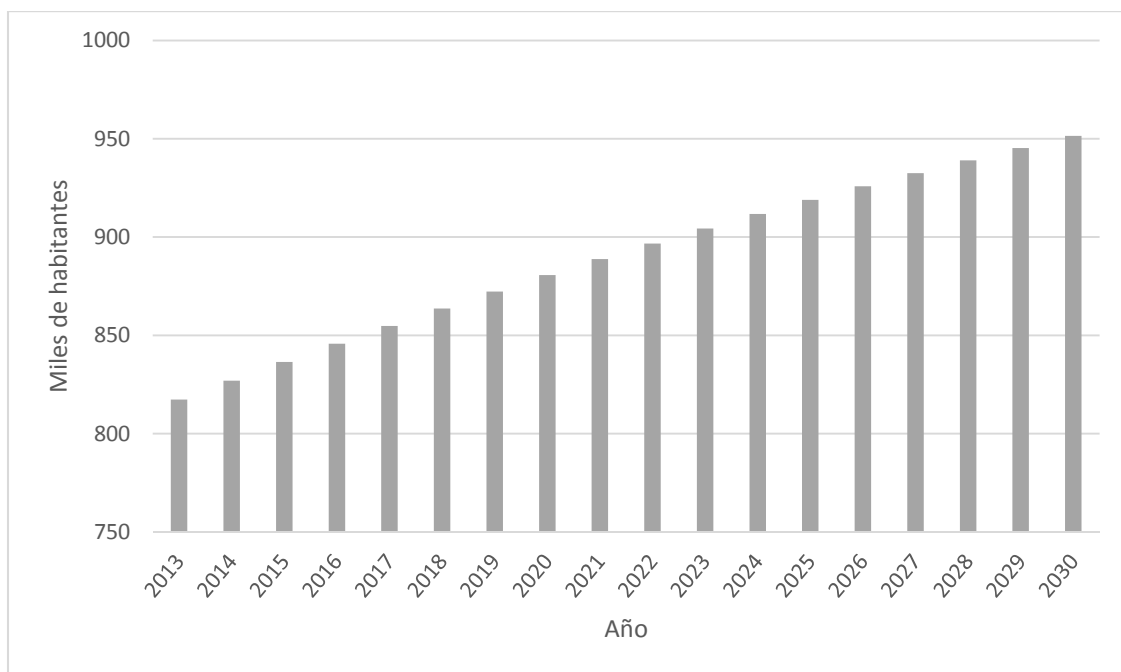
Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por JAPAY

## CAPITULO 9. ESCENARIOS FUTUROS DE LA PRODUCCIÓN Y CONSUMO

El constante crecimiento de la población en la ciudad, origina que la demanda de agua potable aumente, por lo que el organismo operador debe asegurarse que la cobertura del servicio sea la necesaria para cubrir las necesidades de la población.

Los datos para realizar las proyecciones de población en la ciudad a 15 años, fueron tomados de CONAPO (2010). En la Figura 9.1 se presentan la proyección del incremento poblacional hasta el año 2030.

Figura 9.1 Proyecciones del incremento de la población de la ciudad de Mérida (2015-2030)



Fuente: Elaboración propia con datos de CONAPO, 2010

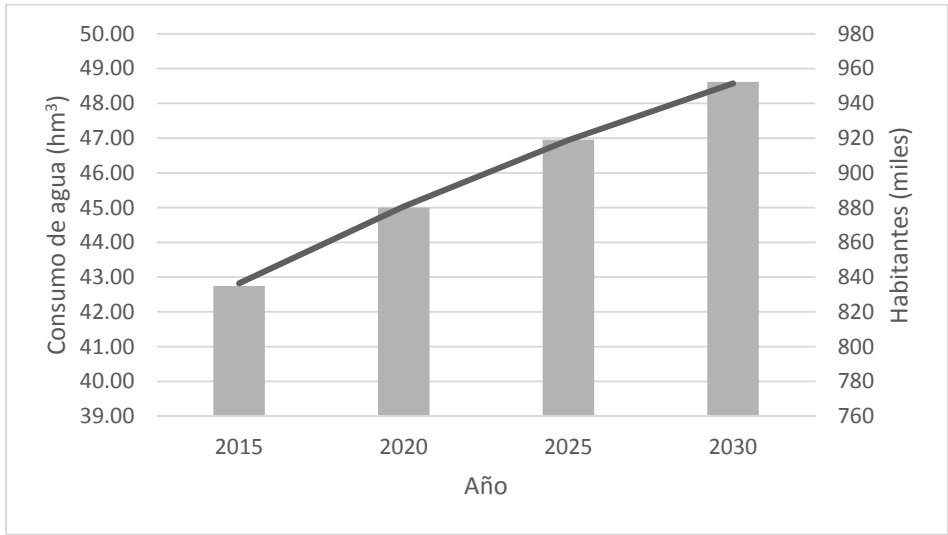
Para la determinación del incremento de consumo de agua potable en los siguientes años, se tomó en consideración, las proyecciones de incremento de población a 15 años, y se tomó en cuenta la oferta real de agua que se reportada

en 2013 de 368 L/h/d, mientras que el consume per cápita es de 140.7, estos valores reflejan que el porcentaje de fugas en la red es bastante considerable con 60%.

Se plantean tres escenarios principales para cada tipo de proyección, uno tendencial que explica cómo sería el consumo de agua futuro si se mantienen los patrones actuales, otro optimista que prevé una disminución de la demanda y uno pesimista que proyecta un aumento de la demanda.

El escenario tendencial (Figura 9.2) toma en consideración la proyección de población de la CONAPO para la ciudad de Cancún y proyecta que la demanda per cápita se mantenga constante hasta el año 2030. El consumo proyectado se obtuvo multiplicando la dotación per cápita en L/h/d por año por la población proyectada. Posteriormente se convirtió este valor a m<sup>3</sup>/día dividiendo entre 1000. Esta cifra se extrapoló a 365 días arrojando el valor del volumen en m<sup>3</sup>/año y se convirtió a hm<sup>3</sup>.

Figura 9.2 Proyección del consumo de agua para la ciudad de Mérida con un escenario tendencial

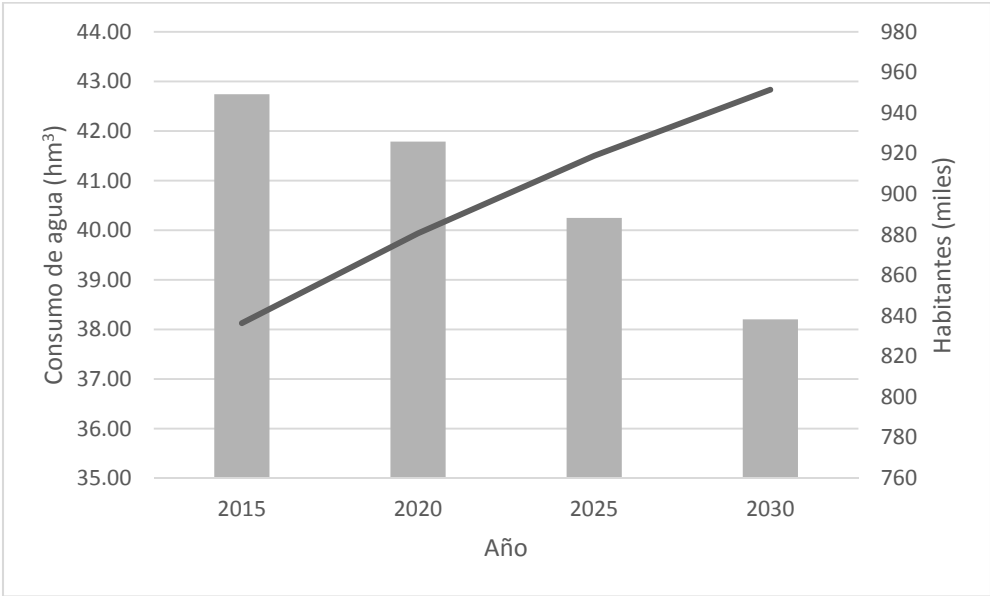


Fuente: Elaboración propia

En la figura 9.2 se presenta la proyección del consumo de agua potable para la ciudad de Mérida suponiendo que la demanda per cápita se mantenga en 140 L/h/d (Tendencial), lo que arroja un volumen de poco más de 42.7 hm<sup>3</sup> para el año 2015, cifra que se mantendría constante hasta el año 2030, bajo el supuesto de que el consumo sea constante durante todos los años.

El segundo escenario es más optimista y sugiere que la demanda per cápita de agua potable para la ciudad de Mérida disminuya paulatinamente a razón de 10 L/h/día por cada 5 años. En la figura 9.3 se muestra la proyección esperada para los años 2020, 2025 y 2030 bajo dicho supuesto.

Figura 9.3 Proyección del consumo de agua para la ciudad de Mérida con un escenario optimista



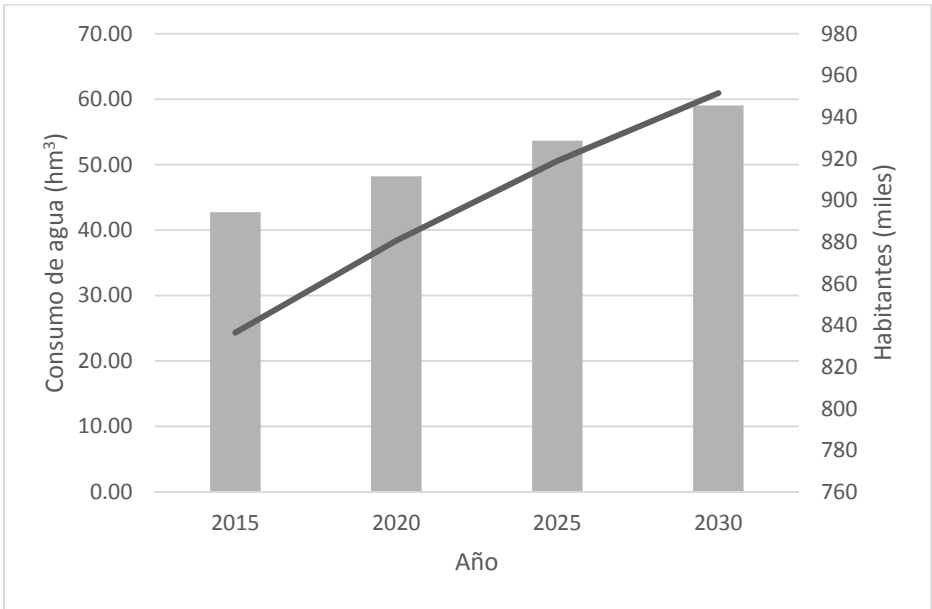
Fuente: Elaboración propia

Para el año 2015 el volumen de agua potable consumida diariamente por la población es de 140 L/h/día, llegando a un consumo total/anual de 42.74 hm<sup>3</sup>

para la ciudad de Mérida; para el año 2030, con un consumo per cápita de 110 L/h/día, el consumo total de agua disminuiría a 38.20 hm<sup>3</sup> de agua (Figura 9.3)

Finalmente, el tercer escenario es el pesimista (Figura 9.4), el cual se construyó a partir de la misma tendencia en el crecimiento poblacional, pero bajo el supuesto de que existirá un incremento en el consumo per cápita de agua a razón de 10 L/h/d por cada 5 años.

Figura 9.4 Proyección del consumo de agua para la ciudad de Mérida con un escenario pesimista



Fuente: Elaboración propia

En este escenario el consumo de agua para el año 2015 se mantiene en 140 L/h/d, con un consumo total/anual de 42.74 hm<sup>3</sup> de agua para la ciudad de Mérida; mientras que para el año 2030 este consumo per cápita se incrementaría a 170 L/h/d, llegando a un consumo total de 59.04 hm<sup>3</sup> de agua.

## 9.1 Prospección de demanda de agua en la ciudad

La prospección de la demanda de agua, nos permite obtener información sobre un mejor manejo de la administración pública, por medio de cambios en políticas y sus consecuencias, a fin de decidir los momentos adecuados para llevar a cabo determinadas acciones. (CONAGUA, 2014a). La Tabla 9.1 presenta la prospección histórica de agua de Mérida.

Tabla 9.1 Prospección histórica de demanda de agua en la ciudad de Mérida de 2014 a 2030.

<b>Años</b>	<b>2014</b>	<b>2020</b>	<b>2025</b>	<b>2030</b>
<b>Población hab (A)</b>	812,721	874,585	911,792	943,730
<b>Elasticidad ingreso de la demanda (B)</b>	0.3	0.3	0.3	0.3
<b>PIB per cápita (índice 2014=100) (C)*</b>	100	298.59	743	1,848.84
<b>Consumo per cápita de agua m<sup>3</sup>/año (D)</b>	50.09	79.93	234.12	1,462.48
<b>Consumo de agua de la ciudad (m<sup>3</sup>/año)(AxD)</b>	40,709 ,194.89	69,908,536.5	213,475,018	1,380,186 ,315
<b>Eficiencia Física % (Statu Quo) (E)</b>	43	43	43	43
<b>Consumo de agua de la ciudad con pérdidas ( m<sup>3</sup>) (F=A x D/E×100)</b>	9,467.25	16,257.79	49,645.35	320,973.56
<b>Consumo de agua de la ciudad con 10% menos perdidas (Mm<sup>3</sup>) (G=Ax D/(E-10)×100)</b>	123.36	211.84	646.89	4,182.38
<b>Capacidad Instalada anual Mm<sup>3</sup> (H)</b>	9,331.20	9,331.20	9,331.20	9,331.20
<b>Brecha hídrica Mm<sup>3</sup> (Statu Quo) (H-F)</b>	9,331.19	9,331.18	9,331.15	9,330.88
<b>Brecha hídrica Mm<sup>3</sup> (Eficiente) (H-G)</b>	9,207.84	9,119.35	8,684.30	5,148.82

Fuente de la información: A (CONAPO, 2010); B y C (CONAGUA, 2014a) y D y E (Información proporcionada por CONAGUA).

Fuente: Elaboración propia.

## **9.2 Prever la posibilidad de una sequía, reducción de la disponibilidad y producción de agua**

En la ciudad el impacto de las sequias no son significativas debido a que el acuífero cuenta con cantidades bastas del recurso hídrico. Sin embargo la situación actual de uso indiscriminado del agua y de la descarga de aguas negras sin tratar al subsuelo continúa, pronto ocasionarían problemas de disponibilidad de agua potable en la ciudad de Mérida, debido a la contaminación del manto acuífero.

Otro problema a considerar es la sequía operativa, ya que el organismo operador es vulnerable a la frecuencia de las fugas en la infraestructura y no cuenta con fuentes alternas de energía, por lo que cualquier interrupción en la corriente eléctrica del sistema de abastecimiento dejaría sin agua a la ciudad.

Para prever esta contingencia, es necesario rehabilitar el sistema, con el objetivo de hacer más eficiente el servicio de agua potable y minimizar la pérdida por fugas y tomas clandestinas.

Esto incluye la rehabilitación de bombas, de las redes de distribución antiguas y deterioradas, de las plantas potabilizadoras, tanques de regularización, tomas y medidores descompuestos y la implementación de un sistema eficiente de control y detección de fugas. Además, es necesario aumentar el volumen de agua residual tratada y la cobertura de drenaje, e incentivar en los usuarios el reemplazo de sus fosas sépticas por biodigestores o por otras alternativas sustentable.

Otras medidas preventivas podría ser realizar estudios de los recursos disponibles de la ciudad para su optimización y reutilización, así como vigilar la

evolución de los indicadores de sequía y desarrollar un sistema de alerta temprana (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2007).

Siguiendo la guía de formulación de los PMPMS, para prever la posibilidad de una sequía operativa y por consiguiente una disminución en la disponibilidad de los recursos hídricos, se toman las estrategias más adecuadas, las cuales las podemos clasificar en dos maneras:

Aquellas que pueden ser implementadas antes de llegar la sequía (medidas preventivas o de largo plazo); y aquellas que se pueden ser implementadas durante la sequía (medidas de mitigación o de corto plazo).

Para la prevención de las sequías es adecuado implementar las de largo plazo las cuales se refieren al uso eficiente de los recursos hídricos, estas son:

- Construcción de obras de captación de agua de lluvia para diferentes usos.
- Disminuir las fugas del sistema de red de abastecimiento.
- Cambiar la política de operación de las extracciones de agua para un uso más eficiente.
- Mejorar la eficiencia de las plantas de tratamiento de agua.
- Generalizar el uso de medidores de agua para poder establecer rangos de consumo y cobrar tarifas justas para cada uno de los sectores.
- Establecer reservas de agua contra la sequía para diferentes sectores.
- Regularizar las descargas clandestinas de aguas residuales y promover el uso de la misma para el riego de áreas verdes
- Promover el uso de dispositivos eficientes o ahorradores de agua (WC, mingitorios, etc.).



La implementación de estas estrategias implicaría mejorar la eficiencia y sostenibilidad del sistema de abastecimiento de agua de la ciudad.

Entre las medidas de mitigación o de corto plazo podemos mencionar las siguientes:

- Incrementar el reusó de agua dentro de cada sector
- Promover la reutilización de agua tratada y aguas grises en donde se pudiera utilizar.
- Promover la utilización de sistemas de riego automáticos nocturnos monitoreando el suministro de agua.
- Controlar los volúmenes de agua utilizada para un uso más eficiente.

### **9.3 Manejo urbano del agua frente al crecimiento demográfico y disponibilidad de agua ocasionada por el cambio climático.**

Los retos que enfrentará el manejo urbano de agua frente a la perspectiva del crecimiento demográfico y de la reducción de la disponibilidad de agua se engloban principalmente en la mejora del abasto y suministro de dicho recurso. En un futuro próximo el organismo operador tendrá que suministrar agua a un mayor número de usuarios con los volúmenes de agua con los que actualmente se disponen. En caso de no poder incrementar su eficiencia, el organismo operador se verá obligado a acceder a nuevas fuentes de suministro de agua

Actualmente, la pérdida del líquido por fugas, tomas clandestinas, desperdicio, etc., son muy elevadas, al igual que las deficiencias en el cobro, por lo que otro reto sería mejorar esta situación, ya sea con apoyos financieros y mejores inversiones para mejorar el sistema de detección y control de fugas y la rehabilitación de la infraestructura y reposición de la tubería en mal estado. Sin embargo, lo más importante y que más reditúa en la disponibilidad del agua es

el incremento de la eficiencia física y la eficiencia comercial, así como modificar los patrones de consumo de la ciudad.

Otro reto que enfrentará el manejo urbano del agua será el de calidad del agua y saneamiento, debido a que con el incremento de la población se inyectará un mayor volumen de agua residual al manto freático, debido a que sólo se le da tratamiento al 2.5 % del agua residual de la ciudad, lo que podría comprometer la calidad del agua disponible (CONAGUA, 2010b). Aunado a esto, habrá más contaminación, y ésta se infiltrará al acuífero debido a la naturaleza del suelo permeable y cárstico de Mérida. Es necesario implementar un sistema eficiente de drenaje y alcantarillado, así como ampliar el volumen de agua residual tratada y sustituir el uso de la fosa séptica por una alternativa más sustentable.

Los problemas de saneamiento y suministro de agua repercuten en la salud de la población, ocasionando brotes de enfermedades vinculadas al agua, tales como el cólera y la disentería. La población que se encuentra en mayor grado de marginación es la más susceptible a estas enfermedades (ONU, 2014).

El incremento de la temperatura ocasionaría que las áreas verdes demanden mayor cantidad de agua, debido a que se daría una mayor evapotranspiración (pérdida de humedad de una superficie por evaporación y transpiración de la vegetación). Aunado a esto se daría una reducción de la disponibilidad del agua. (Gutiérrez *et al.*, 2010). Con base en todas estas consecuencias, podemos concluir que el principal reto sería establecer sistemas sustentables que incluyan nuevas fuentes de energía que garanticen el funcionamiento de los equipos de la red de agua potable sin presentar riesgo de interrupción de energía, mejoras en toda la infraestructura de la red de abastecimiento, lo que daría lugar a una mayor eficiencia en manejo y distribución de agua en la ciudad.

## CAPITULO 10. ANÁLISIS DE MEDIDAS PARA LA GESTIÓN DEL AGUA EN SEQUÍAS

### 10.1 Deficiencias de la gestión

Para realizar el análisis de las deficiencias del organismo operador, es necesario elaborar una lista de indicadores tales como la cobertura, continuidad del servicio, eficiencia física, y comerciales y el consumo de agua con el fin de identificar los puntos más vulnerables. En la Tabla 10.1, se presenta una lista de las principales áreas en donde puede haber deficiencias que comprometen la resiliencia del organismo operador.

Tabla 10.1 Análisis de problemáticas para guiar las acciones de prevención

Área del problema	Indicador	Evaluación del indicador	Posibles causas	Posibles soluciones
<b>Cobertura</b>	Indicador de cobertura	Alta (90% o más)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Suficiente infraestructura</li> <li>• Conexiones a la red de nuevas viviendas o fraccionamientos</li> <li>• Instalación de sistemas independientes</li> </ul>	No se requiere
<b>Continuidad del servicio</b>	horas de servicio o días por semana	Alta (más de 20 horas y/o 7 días por semana)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hay suficiente agua de las fuentes de extracción</li> <li>• Suficientes recursos de bombeo</li> </ul>	No se requiere
<b>Eficiencia física</b>	Eficiencia física	Baja (menos de 50%)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No se detectan todas las fugas</li> <li>• Perdidas físicas agua</li> <li>• Mediciones estimadas no exactas</li> <li>• Se depende solo de energía eléctrica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Implementar programas de detección de fugas</li> <li>• Revisión de la micromedición</li> <li>• Implementar programas de renovación de tubería</li> </ul>

				<ul style="list-style-type: none"> <li>• Implementar otras fuentes de energía</li> </ul>
<b>Eficiencia comercial</b>	Eficiencia comercial	Mediana (70% a 89%)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deficiencias en el área de cobranza</li> <li>• No todas las tomas cuentan con micromedidores</li> <li>• Situación con deudores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar las deficiencias en el sistema de cobranza</li> <li>• Actualizar las tarifas</li> <li>• Eliminar los subsidios</li> <li>• Reforzar la atención al público en atención telefónica, páginas web</li> </ul>
<b>Consumo</b>	Consumo	Alto: más de 70 m <sup>3</sup> anuales per cápita (L/h/d)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tarifas bajas</li> <li>• No está limitado el servicio.</li> <li>• Uso innecesario de agua</li> <li>• No hay cultura de ahorro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisión y ajuste de tarifas.</li> <li>• Limitar el uso de agua</li> <li>• Revisión de procedimientos de medición y cobranza</li> <li>• Implementar campañas de cultura del agua</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia a partir de datos proporcionados por la JAPAY y CONAGUA.

## 10.2 Causas desencadenantes de la escasez de agua en la ciudad

En la Tabla 10.2, se presentan las ideas del personal del organismo operador acerca de las causas desencadenantes de la sequía en la ciudad.

Tabla 10.2 Factores desencadenantes de la sequía en la ciudad

<b>Causas</b>	
<b>¿Qué factores podrían desencadenar la escasez de agua en la ciudad de Mérida?</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Contaminación del manto freático.</li><li>• Abatimiento de pozos.</li><li>• Sequía prolongada.</li><li>• Fenómenos atípicos, como un huracán.</li><li>• Aumento del nivel de la interface salina al agua dulce.</li><li>• Falta de recarga acuífera.</li><li>• Ruptura de alguna línea de conducción hacia la ciudad.</li><li>• Falta de suministro de energía eléctrica.</li><li>• Aumento del nivel del mar.</li><li>• Mantenimiento de infraestructura inadecuada.</li><li>• Disminución de inversión por baja del petróleo.</li><li>• Atentado terrorista a la infraestructura.</li></ul>

Fuente: Elaboración propia a partir de talleres realizados a personal de la JAPAY.

### 10.3 Acciones propuestas para prevenir la sequía por el organismo operador

En la Tabla 10.3, se presentan las medidas de prevención propuestas por el personal del organismo operador.

Tabla 10.3 Acciones de prevención de la sequía recomendadas para el organismo operador

<b>Acciones</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Instalar válvulas reguladoras de gasto.</li><li>• Realizar estudios del sistema de drenaje de la Ciudad de Mérida.</li><li>• Construcción de redes colectoras principales de alcantarillado.</li><li>• Incrementar la infraestructura de redes primarias de agua potable.</li><li>• Construcción de infraestructura para el rebombeo de aguas residuales.</li><li>• Desarrollar líneas alternas de agua.</li><li>• Monitorear de la calidad y nivel del acuífero.</li><li>• Desarrollar un plan preventivo por riesgo de contaminación.</li><li>• Impulsar el tratamiento de aguas residuales a través de plantas de tratamiento y otras alternativas para zonas que cuentan con sumideros.</li><li>• Promover el uso de aguas residuales tratadas.</li><li>• Equipar con plantas de emergencia, un cierto número de pozos que garanticen un suministro mínimo de agua a la población.</li><li>• Elaborar un “Programa de mantenimiento preventivo y correctivo de la red de distribución”.</li><li>• Mejorar la eficiencia de operación y cobro.</li><li>• Mejorar el “Plan de operación de las plantas de agua”.</li><li>• Concientizar a los usuarios en el uso eficiente del agua.</li></ul>

Fuente: Elaboración propia a partir de encuestas realizadas al personal de la JAPAY

A continuación en la Tabla 10.4, se presentan las medidas de mitigación de la sequía propuestas por el organismo operador en un posible escenario de escasez.

Tabla 10.4 Acciones de mitigación propuestas por el organismo operador en un escenario de escasez de agua.

<b>Acciones</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Reestablecer el servicio de agua potable a las zonas de la ciudad que resultaron más afectados.</li><li>• Limitar la cantidad de agua por persona.</li><li>• Realizar tandeos.</li><li>• Utilizar de aguas residuales tratadas.</li><li>• Repartir agua mediante pipas para los sectores de la población más afectados.</li><li>• Contar con pozos de emergencia.</li><li>• Gestionar fuentes de energía alternas para el Abastecimiento de agua</li><li>• Utilizar la sectorización para reordenar el consumo de la demanda.</li><li>• Comunicación social de las medidas Concientizar a los usuarios del uso del agua.</li></ul>

Fuente: Elaboración propia con encuestas realizadas a personal de la JAPAY.

En la Tabla 10.5 se hace referencia a los problemas que se deberían de resolver para asegurar el abasto de agua. En cuanto a el incremento poblacional.

Tabla 10.5 Problemas que deberían solventarse para garantizar el abasto de agua potable de acuerdo a un incremento de población.

<b>Problemas</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Falta de concientización en cuanto al uso eficiente del agua.</li><li>• Poca reutilización de agua.</li><li>• Desordenado crecimiento urbano y territorial.</li><li>• Mayor crecimiento urbano horizontal que vertical.</li><li>• Pérdida elevada de agua debido a fugas en la red.</li><li>• No hay suficientes zonas de reserva para la conservación de las fuentes de agua.</li><li>• No existe una planeación de las redes de conducción y distribución.</li><li>• Falta de costumbre y de infraestructura para el almacenamiento de agua en los domicilios.</li><li>• No está considerado un escenario de escasez de agua en el Manual de Operaciones del Organismo Operador.</li></ul>

Fuente: Elaboración propia con información obtenida en talleres realizados con personal del organismo operador.

#### **10.4 Acciones de mitigación recomendadas a los organismos operadores**

Como se propone en la guía para la formulación de PMPMS, después de la evaluación de los efectos o impactos de las estrategias en los diferentes sectores, se identificó y se analizó el tipo de medida a la que corresponde cada estrategia de acuerdo a la etapa de sequía presente (D0, D1, D2, D3 y D4) en cada uno de los sectores: Gubernamental (Tabla 10.6), Residencial (Tabla 10.7), Comercial (Tabla 10.8), e Industrial (Tabla 10.9).



Tabla 10.6 Acciones de mitigación según nivel de sequía. Sector Gubernamental.

<b>Nivel de sequía</b>	<b>D0 anormalmente seco Oferta a 90%</b>	<b>D1 Moderada Oferta a 80%</b>	<b>D2 Severa Oferta a 70%</b>	<b>D3 extraordinaria Oferta a 60%</b>	<b>D4 Excepcional Oferta a 50%</b>
<b>Medidas Gubernamental</b>					
Desarrollar campañas públicas de concientización y difusión de las medidas de mitigación contra la sequía	X	X	X	X	X
Identificar usuarios de alto consumo de agua y desarrollar metas de ahorro para las siguientes etapas	X				
Implementar medidas de conservación que también provean beneficios de ahorro de agua durante periodos de sequía (tandeos)		X	X		
Medidas alternas de suministro de agua (pipas)			X	X	X
Restringir la autorización de nuevas tomas			X	X	X
Racionar agua mediante pipas a los sectores más afectados.			X	X	X
Implementar recargos en épocas de sequías		X	X		
Conducir auditorías de irrigación en los administradores municipales de parques y espacios abiertos	X				
Proveer instrucciones a negocios u oficinas en el desarrollo de medidas específicas para sequías y planes de acciones directas	X				
Eliminar o reducir la irrigación en jardines y parques		X	X	X	X

Limitar el riego de exteriores a tiempos específicos del día			X	X	X
Limitar el número de días de riego a la semana		X			
Establecer tiempos límites para el riego		X			
Restringir dispositivos de rocío en exteriores		X			
Limitar o prevenir lavado de las flotas de vehículos de la ciudad			X	X	X
Apagar fuentes ornamentales en edificios y parques		X	X	X	X

Tabla 10.7 Acciones de mitigación según nivel de sequía. Sector residencial.

<b>Nivel de sequía</b>	<b>D0 anormalmente seco Oferta a 90%</b>	<b>D1 Moderada Oferta a 80%</b>	<b>D2 Severa Oferta a 70%</b>	<b>D3 extraordinaria Oferta a 60%</b>	<b>D4 Excepcional Oferta a 50%</b>
<b>Medidas</b>					
<b>Residencial</b>					
Aplicar restricciones de riego en jardines			X	X	X
Limitar el riego exterior a tiempos específicos del día			X	X	X
Limitar el número de días de riego por semana				X	X
Establecer tiempo límite para el riego			X	X	X
Limitar el riego con manguera o dispositivos sin aspersores			X	X	X
Limitar o restringir los dispositivos de rocío en exteriores			X	X	X
Limitar o prohibir nuevos árboles o vegetación paisajística			X	X	X
Aplicar guías de política para la instalación de nueva vegetación paisajística			X	X	X
Limitar el agua de lavado de autos			X	X	X
Prohibir o limitar las fuentes sin recirculación de agua		X	X	X	X
Promover el uso de aguas grises				X	X
Horarios y sectores de racionamiento (tandeos)			X	X	X
Penalizaciones por consumo excesivo			X	X	X
Uso más racional del agua (cultura del agua)	X	X	X	X	X
Incentivar prácticas sustentables	X	X	X	X	X

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10.8 Acciones de mitigación según nivel de sequía. Sector comercial.

<b>Nivel de sequía</b> <b>Medidas</b>	<b>D0</b> <b>anormalmente</b> <b>seco</b> <b>Oferta a 90%</b>	<b>D1</b> <b>Moderada</b> <b>Oferta a</b> <b>80%</b>	<b>D2</b> <b>Severa</b> <b>Oferta a 70%</b>	<b>D3</b> <b>extraordinaria</b> <b>Oferta a 60%</b>	<b>D4</b> <b>Excepcional</b> <b>Oferta a</b> <b>50%</b>
Prohibir o limitar el uso de agua para la construcción			X	X	X
Aplicar guías de política o limitaciones para la instalación de nuevas plantas u otras aplicaciones paisajísticas			X	X	X
Aplicar restricciones de regadío en paisajes exteriores				X	X
Apagar la operación de fuentes Ornamentales			X	X	X
Prohibir o limitar el llenado y uso de albercas			X	X	X
Apagar los surtidores de agua para los bebederos públicos				X	X
Aplicar restricciones del uso de agua en el lavado de autos comerciales			X	X	X
Promover que los auto lavados comerciales usen agua reciclada	X	X			
Promover el servicio de agua en restaurantes únicamente bajo pedido					X
Promover la reducción en la frecuencia del servicio de lavado y secado de toallas en hoteles					X
Penalizaciones por consumo excesivo		X	X	X	X
Uso más racional del agua (cultura del agua)	X	X	X	X	X

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10.9 Acciones de mitigación según nivel de sequía. Sector industrial.

<b>Nivel de sequía</b>	<b>D0 anormalmente seco Oferta a 90%</b>	<b>D1 Moderada Oferta a 80%</b>	<b>D2 Severa Oferta a 70%</b>	<b>D3 extraordinaria Oferta a 60%</b>	<b>D4 Excepcional Oferta a 50%</b>
<b>Medidas</b>					
Aplicar guías de política para la instalación de nuevas plantas y otras aplicaciones paisajísticas			X	X	X
Aplicar restricciones de regadío en paisajes exteriores			X	X	X
Promover auditorías de agua en interiores y exteriores donde sea aplicable		X	X	X	X
Penalizaciones por consumo excesivo		X	X	X	X

Fuente: Elaboración propia.

Entre otras medidas y acciones necesarias para controlar y reducir la demanda de agua por parte del organismo operador, se pueden mencionar las siguientes:

- **Mantenimiento a la red de tubería**

Dar mantenimiento y realizar pruebas en toda la red de tubería, periódicamente con el objetivo de cumplir las especificaciones de la NOM-013-CNA-2000, para evitar rupturas y fugas, y reemplazar la tubería antigua, que en algunas colonias asciende a los 50 años.

- **Instalación de medidores**

Se debe instalar medidores para todos los usuarios, ya sea domésticos, privados, comerciales o de dependencias y escuelas. Dichos medidores deberán de ser periódicamente revisados por personal autorizado de la JAPAY para probar su funcionalidad. Se deberá sustituir, en medida de lo posible, todos los

medidores de metal por medidores de plástico, para disminuir la probabilidad de robo y con esto evitar el desperdicio de agua.

- **Mejoras en la cobranza**

Se deberá penalizar a los usuarios morosos con algo más severo que la limitación del servicio de agua potable. Es necesario penalizar con multas para evitar la impuntualidad en los pagos y mejorar la cobranza.

- **Reparación de fugas**

Se deberá hacer eficiente y optimizar el sistema de reparación de fugas, de manera que se resuelvan más rápido, con el fin de reducir el desperdicio de agua. Además, se deberá implementar un mejor sistema de detección de fugas, así como promover en las empresas constructoras la asesoría de personal de la JAPAY para evitar el daño y ruptura de tuberías cuando se perforan pozos.

- **Horarios y sectores de racionamiento (tandeos)**

Mérida es una de las pocas ciudades en la República en la que el servicio de agua potable es de 24 horas al día. Para controlar y reducir la demanda de este recurso se podrían implementar tandeos. Se sugiere disminuir el servicio en la madrugada, para no causar tanto conflicto en los usuarios que están acostumbrados a las 24 horas de servicio.

- **Penalizaciones por consumo excesivo**

Se podría multar a los usuarios que consuman agua arriba del 30% de la media consumida por usuarios del mismo sector y tipo de colonia. Asimismo, se podría modificar la Ley Orgánica de la JAPAY de manera que se multen a usuarios que se les sorprenda despilfarrando este recurso, como por ejemplo, lavando sus vehículos de transporte y terrazas y patios con una manguera.

- **Uso más racional del agua (cultura del agua)**

Se debería de promover más el programa Cultura del Agua, y otorgarle más recursos, a fin de que pueda sensibilizar a más sectores de la población sobre el cuidado e importancia del recurso agua.

- **Cambios o elevación de la tarifa de manera que contribuya al ahorro.**

La tarifa que establece la JAPAY a sus usuarios domésticos se encuentra subsidiada, se podrían eliminar o disminuir dicho subsidio a sectores y colonias más favorecidas, al igual que elevar la tarifa para los usuarios comerciales e industriales, esto con el fin de reducir la demanda de agua.

- **Incentivar prácticas sustentables**

Otra acción para controlar y reducir la demanda de agua entre los usuarios de la ciudad sería el otorgamiento de incentivos y apoyos a los usuarios que realicen prácticas sustentables que ayuden a cuidar el recurso agua, tanto en calidad como en disponibilidad. Se podría incentivar a los usuarios que utilicen ahorradores de agua, que separen su basura y que utilicen energías sustentables como los paneles solares. Se podría apoyar a los agricultores que tengan policultivos, cultivos que no requieran mucha agua, o que practiquen la agricultura orgánica.

## **10.5 Posibles fuentes alternas de abastecimiento**

Es importante considerar las fuentes de abastecimiento alternas, entre estas se consideran las siguientes:

- **Mejorar la eficiencia de las bombas en los pozos**

Se recomienda realizar una investigación preliminar antes de seleccionar las bombas que se utilizaran, con el fin de obtener los niveles máximos de eficiencia

en hidráulica, volumétrica y mecánica, así como identificar los factores que afectan a las eficiencias de las bombas.

- **Tratamiento y reúso de aguas residuales**

Debido a la disminución en la disponibilidad de agua limpia, las aguas residuales están siendo revaloradas y vistas como un recurso alternativo. Existen diversos métodos para su tratamiento, siendo de menor costo de construcción y operación las de método anaerobio. Según su nivel de tratamiento puede ser usada para fines industriales y agrícolas o para fines domésticos y públicos, que requieren de un mayor tratamiento

Las plantas de tratamiento de método aerobio son las llamadas de “lodos activados.” Consisten en una asociación de bacterias que digieren la materia orgánica al estar en presencia de oxígeno. Dicho oxígeno se mantiene al agitar e inyectar constantemente aire a las aguas residuales con la ayuda de costosos motores y compresoras. Otra desventaja además del costo de operación y construcción son los bioproductos que genera: nuevos microorganismos (lodos de purga) y dióxido de carbono. Los lodos de purga son inestables, por lo que requieren tratamiento antes de su disposición (el 60% es convertido en metano y dióxido de carbono y el lodo restante se deposita en un relleno sanitario).

El método anaerobio transforma el 70% de la materia orgánica contenida en las aguas residuales en metano y dióxido de carbono. Los tanques en los que se almacena el agua no requieren de agitación y ocupan menos espacio y requieren de menos maquinaria y energía que los utilizados en los procesos aerobios. Este tratamiento genera pocos lodos, los cuales son estables y pueden utilizarse para el mejoramiento de suelos (PCYMA, 2009).



## • **Cosecha de agua de lluvia**

La cosecha de agua de lluvia es la acumulación y deposición del agua de lluvia para ser utilizada, en vez de que se infiltre al subsuelo. Esta práctica es muy antigua y era uno de las principales fuentes de abastecimiento de agua, sobre todo en lugares que carecen de aguas superficiales. Posteriormente, cuando las zonas urbanas fueron desarrollándose, la cosecha de agua de lluvia fue reemplazada por sistemas de abastecimiento de agua centralizados. Ahora, que el agua potable es cada vez más escasa, surge la posibilidad de cosechar agua de lluvia de nuevo, para fines industriales, de riego de áreas verdes y cultivos, agrícolas e incluso domésticos si se le da un tratamiento adecuado (Waterfall, 2004).

El método más común es la colecta por escorrentía de los techos impermeabilizados de las casas y demás construcciones. Los techos de tejas y los que se encuentren cubiertos por láminas corrugadas de acero templado son los más fáciles de usar y los que proveen el agua más limpia. El agua se colecta en canalones que se colocan en los aleros del edificio, luego se drenan en un tubo de bajada (que debe de poder girar de modo que la primera colecta se deseche).

Entre los beneficios de esta fuente alterna de abastecimiento de agua tenemos que los materiales para colectar el agua son relativamente baratos, los métodos de construcción son sencillos, los costos de mantenimiento y sus requerimientos son bajos y que el agua colectada puede ser consumida siempre y cuando la superficie de colección se encuentre limpia. Sus desventajas son la contaminación por desechos de animales si no se limpian bien las estructuras de captación, crecimiento algal, o entrada de insectos, roedores y otros animales de pequeño tamaño si no se construye adecuadamente el contenedor y la

proliferación de mosquitos y vectores si no se le da un adecuado mantenimiento (WaterAid, 2013).

- **Compra de derechos de pozos**

La compra de los derechos de nuevos pozos por parte de empresas o personas para la extracción del recurso, serían nuevas fuentes de aprovechamiento.

- **Plantas desalinizadoras de agua de mar**

La desalinización del agua de mar es el proceso mediante el cual se reduce la presencia de sales disueltas en dicha agua con el fin de ser utilizada para fines industriales, agropecuarios, públicos y domésticos. Los métodos de desalinización del agua son diversos. Los procesos térmicos de destilación (Evaporación de Efectos y Etapas Múltiples, Destilación relámpago de etapas múltiples, Compresión de vapor, utilizando energía solar, etc.) y los que requieren el uso de membranas (Ósmosis Inversa, Electrodialisis) son los más utilizados, aunque existen otro tipo de procesos como los de intercambio de iones y los de congelación (Dévora-Isiordia *et al.*, 2012).

El proceso de ósmosis inversa para desalinización de agua de mar es el de menor costo de operación, además que se puede recuperar energía al utilizar el agua de rechazo de las membranas y su impacto ambiental es bajo (Lechuga *et al.*, 2007).

## **10.6 Reglas de operación y ámbitos de suministro del sistema de agua potable**

Los propietarios de predios, negocios o establecimientos que deseen contar con servicio de agua potable deben solicitar a la JAPAY la instalación del servicio de agua potable y descargas domiciliarias de alcantarillado. El personal encargado

de esta instalación debe ser autorizado por la JAPAY y puede empezar sus labores de instalación del servicio hasta que el propietario pague el derecho de contrato.

Cada predio, negocio o establecimiento debe contar con una toma y una descarga por separado, conectadas directamente a la red de distribución de agua potable y a los conductos de alcantarillado. El instrumento medidor (el cual es obligatorio para todos los usuarios y considerado como propiedad de la JAPAY) debe ser colocado de tal forma que se tenga fácil acceso a él, para que su lectura de consumo, prueba o reposición se pueda realizar fácilmente. Dicho instrumento medidor no puede ser retirado o cambiado de ubicación sin previo consentimiento del organismo operador.

Siempre que se realice una modificación a la instalación de los servicios de agua potable y alcantarillado, se debe notificar a la JAPAY donde se encontraban la toma o descarga anteriormente y cuál será su nueva ubicación. Los trabajos de reinstalación, reparación y reposición de la infraestructura de servicio de agua potable y alcantarillado de un predio o establecimiento deben ser realizados por el personal autorizado del JAPAY, antes habiendo solicitado el permiso y realizado el pago correspondiente.

El pago por el servicio es obligatorio y se realiza cada dos meses en el caso de los usuarios domésticos. Los derechos de conexión y las tarifas por el servicio de agua potable y alcantarillado se fijan con base en estudios socioeconómicos realizados de preferencia anualmente. Dichos estudios toman en cuenta el índice nacional de precios al consumidor para las clases comerciales, industriales y de servicios y el índice de salarios mínimos a las clases domésticas, el costo de las obras y el global del sistema construido, el mantenimiento, mejoramiento y

ampliación de las redes de los mismos, las condición socioeconómica de la población en cuestión, y el volumen de agua y el uso que se le dé.

Si el medidor de consumo se encuentra averiado por razones ajenas al usuario, la tarifa se cobrar promediando el importe de los bimestres anteriores. Si el medidor se encuentra averiado como consecuencia directa o indirecta del usuario, el importe es el doble del promedio de los bimestres anteriores.

Nadie se encuentra exento del pago por el servicio de agua potable, ni particulares, ni privados, ni dependencias federales, estatales o municipales. De no pagar la tarifa de uno o más bimestres, a los usuarios domésticos se les limita el servicio hasta que se pongan al corriente de sus pagos. Sin embargo, a los usuarios de tipo industrial, comercial y de servicios se les corta el servicio en caso de atrasarse en sus pagos.

Para suministrar agua potable a un nuevo fraccionamiento se debe de establecer un “Convenio para la extracción, introducción y suministro de agua potable y sistema de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales “entre la empresa o el fraccionador y el organismo operador y un Convenio de establecimiento de los compromisos técnico-administrativos para la introducción del servicio de agua potable en el número de viviendas que se planea construir. Este último, entre otras disposiciones, debe establecer que la empresa constructora será la encargada de construir por su cuenta las obras completas para la introducción de la red de agua potable en dichas viviendas o fraccionamiento, así como los diversos pagos que deberá realizar a la JAPAY, por concepto de supervisión y vigilancia técnica, de recepción de la obra hidráulica, de integraciones a redes existentes, de medias tomas instaladas por la JAPAY, de aprovechamiento de red, etc.

Las tomas clandestinas son sancionadas con multas que van de 5 a 20 salarios mínimos. Los usuarios que cambien de domésticos a comerciales deben informar de este cambio a la JAPAY en un lapso máximo de 10 días. De no hacerlo en tiempo, se sanciona con multa de 5 a 10 salarios mínimos.

Se impone multa de 5 a 30 salarios mínimos a las personas que impiden al personal de la JAPAY realizar la lectura o examen de los aparatos medidores, a los usuarios que conecten bombas directamente a las líneas de conducción, distribución o tomas individuales para succionar el agua y a los que cometen cualquier otra infracción a las disposiciones de la Ley Orgánica de la Junta de Agua Potable y Alcantarillado de Yucatán.

Se impone multa de 20 a 40 salarios mínimos a quienes utilicen para otros fines sin autorización previa de la JAPAY el agua de los hidrantes de uso exclusivo del Cuerpo de Bomberos.

Se impone multa de 10 a 30 salarios mínimos a quienes realicen trabajos sin la autorización de la JAPAY o a quienes realicen manipulaciones para aprovechar el servicio de agua potable o alcantarillado para beneficiar fraccionamientos o empresas constructoras de infraestructura urbana.

### **10.7 Acciones del organismo operador frente a la sequía**

El Organismo Operador JAPAY no tiene medidas específicas en época de sequías, sin embargo cuando ha habido escasez de agua en la ciudad, realiza ciertas recomendaciones a los usuarios de no utilizar tanta agua y ser conscientes, sobre todo a los usuarios domésticos que cuentan con más de un vehículo o piscinas.

Otra medida que ha implementado la JAPAY es fortalecer y dar mantenimiento a la red en el periodo invernal, para que cuando comience el verano, época de mayor demanda, el sistema sea eficiente y haya menor probabilidad de fugas.

El Colegio de Postgraduados propone sistemas de cosecha de agua de lluvia para hacer frente a la sequía en diversas entidades del país, sin embargo el Organismo Operador señala que en Yucatán no hay problema de abasto debido al acuífero, que a pesar de las sequías no se abate y se recupera con las lluvias.

## **10.8 Procedimiento para la elaboración de un Plan Municipal contingente para la mitigación de la sequía**

Actualmente el organismo operador no cuenta con un plan contingente para la ciudad de Mérida, por lo que se sugiere realizarlo a la brevedad posible. Para la elaboración de este plan a nivel ciudad para la mitigación de la sequía operativa se requerirá de un equipo de planificación de escasez de agua, asegurándose del desarrollo del plan, objetivos y principios del funcionamiento, con el fin de aplicar las medidas preventivas y de mitigación adecuadas para disminuir la vulnerabilidad a la sequía operativa de la ciudad. Los pasos que se consideran se muestran a continuación:

- **Paso 1.** Inicio del desarrollo del plan de gestión de la sequía. Para ello se establece un equipo de planificación de escases de agua, el cual estará integrado por personal de universidades (UADY). Asegurando la participación en el desarrollo del plan, objetivo general y particulares, para aplicar las medidas preventivas y de mitigación contra la sequía operativa de la ciudad. El equipo de planificación cuenta con la cooperación del organismo operador JAPAY y la Comisión Nacional del Agua CONAGUA, para mantener acciones, coordinar y comunicarse durante el desarrollo del plan.
- **Paso 2.** Pronóstico de suministros en relación con la demanda, análisis de la sequía operativa y sus impactos. El equipo de planificación realiza la evaluación de la severidad de las sequias operativas y sus efectos en el abastecimiento de agua. Analizando documentos oficiales del programa nacional contra las sequías, en cuanto a la demanda, oferta y fuentes de agua, la información se puede obtener directamente de CONAGUA, JAPAY a través de solicitudes, documentos oficiales, e incluso de información hemerográfica.

La cooperación con el organismo operador JAPAY, otras instituciones relacionadas (CONAGUA), es vital para analizar situaciones de interrupción del suministro de agua y retroalimentación para evitar riesgos. La dirección de servicios públicos y municipales para el análisis del estado de la infraestructura de drenaje y alcantarillado de la ciudad de Mérida. La cooperación con la dirección de gobernación para la planeación de campañas de concientización de la población en general. La información que se generara de la cooperación de estas instituciones, será útil para la selección de medidas de mitigación y estrategias futuras de respuesta.

- **Paso 3.** Evaluación de las opciones de mitigación y vulnerabilidad a la sequía operativa. En cuanto a la confiabilidad del suministro de agua potable por parte del organismo operador, no es la adecuada debido a que se existen deficiencias en la infraestructura y no existen fuentes alternas de energía para el bombeo de agua. Esta información nos permite identificar los mecanismos de activación de sequía a nivel operativo.

Entre las estrategias de respuesta a la sequía operativa podemos mencionar: Implementar metodologías para el suministro de agua, aplicar campañas para el uso eficiente de agua e información pública, imponer restricciones al uso de agua, implementar programas de renovación de infraestructura de la red, tarifas de temporada y tomar en cuenta las opiniones de los usuarios respecto a la calidad del suministro de agua.

- **Paso 4.** Establecimiento de niveles de detonación de mecanismos de activación y mitigación de sequía operativa. Algunas propuestas de medidas combinadas de mitigación y estrategias de respuesta contra la sequía a futuro son:



- Manejo de eficiente de agua a través de adecuados almacenamientos, canales sistemas de riego etc.
- Cosecha de agua de lluvia
- Mejoramiento de las eficiencias del sistema de agua potable
- Implementación de programas que fortalezcan la cultura del agua
- Sensibilizar a la población sobre el uso del agua
- Aplicación de sistemas de riego eficiente en áreas verdes
- Protección de fuentes de agua y zonas de recarga hídrica

Es importante incluir una guía para el desarrollo de la educación y sensibilización del agua dirigido a la población. La guía debe contener:

- Prácticas para el cuidado y ahorro del agua
  - Estrategias para el adecuado uso de agua en la comunidad
  - Consejos para el riego de huerto o jardín
  - Medidas para contribuir a la reducción del uso de agua
  - Ahorro de agua a nivel familiar
  - Alternativas para la desinfección del agua en el hogar
  - Causas de contaminación del agua
  - Perjuicios por la contaminación del agua
- **Paso 5.** Se evalúan los efectos por tapa de sequía (D0, D1, D2, D3 y D4) en la demanda de suministro de agua. La sequía operativa se puede evaluar en dos niveles: nivel 1 en el que se puede dar una interrupción del suministro de agua de manera temporal debido a fugas, fallos en el bombeo de agua o en el servicio de corriente eléctrica por periodos de tiempo cortos. El nivel 2 la interrupción del suministro de agua se puede dar de manera prolongada debido a destrucción de la infraestructura por

fenómenos meteorológicos como huracanes y es impreciso definir cuándo se restablecería el servicio de agua.

Las tapas de sequía en el nivel 1 por ser de muy corta duración (horas) no aplicaría para implementación de medidas de mitigación en las etapas de sequía.

Las medidas de mitigación en el nivel 2 de sequía operativa, aplicarían para las etapas de sequía D1, D2, D3 y D4. Ya que no se sabe cuándo se reanudara el servicio de abastecimiento. La etapa D0 no aplicaría por tratarse de un tipo de sequía muy leve.

Las medidas de mitigación a considerar son:

- Utilización de fuentes de reserva de agua
- Suministro de agua mediante pipas
- Implementación de monitoreos y control de uso de agua en todos los sectores
- Reutilización de agua
- Identificación de posibles fuentes de extracción agua
- Control estricto de uso de agua para áreas verdes
- Implementar planes de suministro de energía eléctrica auxiliar por parte de CFE, a la red de agua potable
- Aplicar restricciones al uso del agua
- Limitar la dotación de agua por persona
- Adquirir plantas generadoras de corriente eléctrica
- 

Las Acciones de mitigación según nivel de sequía se presentan en las tablas 40, 41, 42 y 43 de este documento.

**Paso 6.** Plan de contingencia para la comunidad para el desarrollo de estrategias de respuestas frente a la sequía operativa. El plan de contingencia tendrá en su estructura:

- Información histórica de la infraestructura, abasto y producción de agua para el sistema urbano
- Información histórica sobre los patrones de demanda y consumo de agua en la ciudad
- Balance hídricos, propuestas de mejoras y medidas de mitigación de sequía operativa
- Descripción de los escenarios de escasez considerados. Incluyendo los de prevención y mitigación.

El plan también incitara a el desarrollo de campañas de educación sobre sequia operativa y a la formalización de la cooperación entre el organismo operador, el gobierno municipal y los habitantes de la ciudad, para elaborar acuerdos y convenios.

**Paso 7.** Implementación y difusión del plan de contingencia de escasez de agua.

Para la difusión del plan, se recomienda que el comité técnico interinstitucional contratado por los organismos de cuenca, y con la participación del organismo operador de agua potable de la ciudad, se integre un borrador del plan.

Se publicará esta versión preliminar, poniéndose a discusión de la comunidad. Es recomendable definir los periodos de deliberación para las propuestas, comentarios y cuestionamientos sobre el documento.

Se elaborará el nuevo plan, integrando los cambios y propuestas, así como la incorporación de un comité encargado de la aplicación e implementación del programa. En el que se incluirán a los diversos sectores de la sociedad.

Con la realización y difusión del plan de contingencia será una oportunidad para la gestión hídrica y administraciones públicas, para dar consistencia a las actuaciones de resolución, mitigación y prevención de situaciones de escasez. Pondrá de manifiesto las diferentes circunstancias de garantía de cada sistema pero también evidenciará las carencias de información con el rigor y la certidumbre deseable sobre factores básicos para prevenir y gestionar contingencias.

Otro punto importante es la evaluación de los recursos con que se cuenta distinguiendo las circunstancias de normalidad de las de escasez que normalmente representarán un recorte en las disponibilidades globales de los sistemas hídricos.

### **10.9 Recomendaciones para la difusión y actualización del PMPMS**

Finalmente una vez concluido el Programa de Medidas Preventivas y de Mitigación de la Sequía de la ciudad de Mérida, se recomienda establecer procesos formales para revisarlo, aprobarlo y actualizarlo por lo menos cada 3 años. Se sugiere un proceso de revisión pública, así como la revisión y aprobación por parte del organismo operador y del gobierno, de manera que se ajuste a las políticas vigentes.

Posteriormente se sugiere su difusión en la ciudad de Mérida dentro de los Consejos de Cuenca regionales, así como entre otros foros de diversos sectores en la ciudad de Mérida. Es deseable dar a conocer dicho programa entre funcionarios de las dependencias públicas, así como entre la sociedad en general, esto puede ser en forma de un archivo descargable albergado tanto en la página del PRONACOSE como en la de la CONAGUA. También se puede

generar una lista de interesados a los cuales se les pueda mandar información automática de las actualizaciones.

#### **10.10 Frecuencia y actualización de los PMPMS**

La implementación de los programas PMPMS está en función del avance de las necesidades detectadas por los usuarios durante la elaboración del mismo y se da a través de los consejos de cuenca y representantes de cada sector. La revisión está a cargo del comité de planeación y asesor técnico (UADY). Es el consejo de planeación integrado por personal de instituciones federales, estatales y municipales, el que recopilará todas las observaciones y definirá la factibilidad para realizar cambios al programa. Se sugiere actualizar el plan cada 3 años y/o a solicitud de alguno de los representantes del grupo técnico de trabajo. Dicha solicitud deberá ser revisada y se votará en el consejo la pertinencia de la actualización.

## **AGRADECIMIENTOS**

Se agradece al Ing. Jorge Ermilo Barrera Juré y al Ing. William Espejo Salazar de la Junta de Agua Potable y Alcatarillado de Yucatán por las facilidades y la información proporcionada para la elaboración de este documento.

Asimismo se agradece al Ing. José Luis Acosta Rodríguez, Ing. Sergio Peña Fierro, Ing. Francisco Arguelles Ferrera, Ing. Heber Estrella Herrera, Ing. Pedro García Chío, QBA. José Antonio Adolfo Garcilazo de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) por la gestión de información y aportes para la elaboración del presente documento.

## BIBLIOGRAFÍA

- Ayuntamiento de Mérida (2013). Plan Municipal de Desarrollo 2012-2015 (2013). Mérida, Yucatán, México. Pp. 125.
- Bautista F (2011). Vulnerabilidad y riesgo de contaminación de las aguas subterráneas en la Península de Yucatán. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 13 (2) Pag. 7-8.
- Bravo Lozano A, Mojarro Dávila F, Medina Garcia G (2006). Limitaciones del agua: eficiencia del agua y la producción de cultivos. En Amador M, Serna A, Medina G (comp.). *Sequía: Vulnerabilidad, impacto y tecnología para afrontarla en el Norte Centro de México*. Segunda Edición. Instituto nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Campo experimental Zacatecas.
- CCA (Comisión de la Comunidad Andina) (2011). Indicadores socioeconómicos. 27 de mayo de 2001. Decisión 753. Lima, Perú.
- CEA (Comisión Estatal de Agua en Jalisco) (2012). Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de aguas residuales en el proceso de lodos activados. Tomo 1. México.
- CENAPRED (Centro Nacional de Prevención de Desastres). (2002). *Sequías*. Series Fascículos. Gobierno Federal. 1era Ed. México D.F.
- CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente) (1981). Carta periódica del proyecto de desarrollo tecnológico de las instituciones de agua potables y alcantarillado. Lima, Perú. Julio 1981 Publicación trimestral 2.
- COMEY (Coordinación Metropolitana de Yucatán) (2011) Programa Integral de Desarrollo Metropolitano PIDEM. Análisis Estratégico de la ZMM (Zona Metropolitana de Mérida) Perfil Geo-ambiental. Pp. 53-70.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2004). Situación del subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (Editor). México.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2005). Situación del subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (Editor). México.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2006). Situación del subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (Editor). México.

- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2007). Situación del subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (Editor). México.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2008). Situación del subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (Editor). México.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2009a). Situación del subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (Editor). México.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2009b). Manual de incremento de eficiencia física, hidráulica y energética en sistemas de agua potable. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (Editor). México. 175 pp.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2010a). Situación del subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (Editor). México.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2010b). El agua en México: Causas y encauses. Jiménez B. Cisneros, Torregrosa ML. Armentia, Aboites, L.Aguilar (Eds).México.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2010c). Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (Editor). México.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2011a). Situación del subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (Editor). México.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2011b). Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (Editor). México.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2012a). Situación del subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (Editor). México.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2012b). Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (Editor). México.



- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2013a). Programas Federales de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento a Cargo de la Comisión Nacional del Agua. Esquema de Contraloría Social. CONAGUA. Pp. 40.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2013b). Situación del subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (Editor). México.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2013c). Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (Editor). México.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2014a). Guía práctica para la elaboración del PMPMS para usuarios urbanos. Versión 2.0. México.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2014b). Ley Federal de Derechos, Disposiciones Aplicables en Materia de Aguas Nacionales. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2014c) Programa Nacional Hídrico. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (Editor). México. pp. 163.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2014d). Situación del subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (Editor). México.
- CONAPO (Consejo Nacional de Población (CONAPO) (2001). Índices de Desarrollo Humano, 2000. México, DF. Pp. 25-29.
- CONAPO (Consejo Nacional de Población (CONAPO) (2011) Índices de Marginación por Entidad Federativa y Municipio 2010. Consejo Nacional de Población. Primera Edición.
- CONAPO (Consejo Nacional de Población) (2012). Índice de Marginación por localidad 2010. Enero 2012. Pp.12
- CONAPO (Consejo Nacional de Población) (2014). Proyección de la Población 2010-2050. Consejo Nacional de Población. Secretaría de Gobernación (SEGOB). Disponible en: <http://www.conapo.gob.mx/es/conapo/proyecciones>. Consultado: 08 de septiembre de 2014.
- Consejo Consultivo del Agua (2010). La gestión del agua en las ciudades de México, indicadores de desempeño de organismos operadores. Primer reporte, 32 pp.

- Dévora-Isiordia GE, González-Enríquez RP y Ponce-Fernández NE (2012). Técnicas para desalinizar agua de mar y su desarrollo en México. Ra Ximhai 2. (2012): 57-68.
- DOF (Diario Oficial de la Federación) (1990). Ley de Contribución de Mejoras por Obras Públicas Federales de Infraestructura Hidráulica. Publicada el 26 de diciembre de 1990. México. Pp. 7.
- DOF (Diario Oficial de la Federación) (1992). Ley de Aguas Nacionales. 1 de diciembre de 1992.
- DOF (Diario Oficial de la Federación) (1995). Norma Oficial Mexicana Nom-117-Ssa1-1994, Bienes y Servicios. Método de prueba para la detección de cadmio, arsénico, plomo, estaño, cobre, fierro, zinc y mercurio en alimentos, agua potable y agua purificada por espectrometría de absorción atómica. Publicada el 16 de agosto de 1995. México.
- DOF (Diario Oficial de la Federación) (1996a). Norma Oficial Mexicana NOM-002-CNA-1995, toma domiciliaria para abastecimiento de agua potable especificaciones y métodos de prueba. México.
- DOF (Diario Oficial de la Federación) (1996b). Norma Oficial Mexicana NOM-127-Ssa1-1994, Salud Ambiental, agua para uso y consumo humano – límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Secretaría de Salud. Publicada el 18 de enero de 1996. México.
- DOF (Diario Oficial de la Federación) (1997a). Norma Oficial Mexicana NOM-003-CONAGUA-1996, Requisitos durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación de acuíferos. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Publicada el 3 de febrero de 1997. México. Pp. 1-10.
- DOF (Diario Oficial de la Federación) (1997b). Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Publicada el 6 de enero de 1997. México. Pp. 33.
- DOF (Diario Oficial de la Federación) (1998a). Norma Oficial Mexicana NOM-004-CONAGUA-1996 Requisitos para la protección de acuíferos durante el mantenimiento y rehabilitación de pozos de extracción de agua y para el cierre de pozos en general. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Publicada el 12 de junio de 1998. México.

- DOF (Diario Oficial de la Federación) (1998b). Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. México. Publicada el 3 de junio de 1998. México. Pp. 20.
- DOF (Diario Oficial de la Federación) (1998c). Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. México. Publicada el 21 de septiembre de 1998. México. Pp. 6.
- DOF (Diario Oficial de la Federación) (2001). Norma Oficial Mexicana NOM-179-SSA1-1998, vigilancia y evaluación del control de la calidad del agua para uso y consumo humano, distribuida por sistemas de abastecimiento público. Secretaría de Salud. Publicada el 24 de septiembre de 2001. México. Pp. 22-55.
- DOF (Diario Oficial de la Federación) (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2000, Conservación del recurso agua – Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Publicada el 17 de abril de 2002. México. Pp. 2-18.
- DOF (Diario Oficial de la Federación) (2003). Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, Protección Ambiental.- Lodos y Biosólidos.- Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Publicada el 15 de agosto de 2003. México. Pp. 18-60.
- DOF (Diario Oficial de la Federación) (2005). Norma Oficial Mexicana NOM-230-SSA1-2002, Salud Ambiental, agua para uso y consumo humano, requisitos sanitarios que se deben cumplir en los sistemas de abastecimiento públicos y privados durante el manejo del agua. Procedimientos sanitarios para el muestreo. Secretaría de Salud. Publicada el 12 de julio de 2005. México. Pp. 70-81.
- DOF (Diario Oficial de la Federación) (2009a). Norma Oficial Mexicana NOM-014-CONAGUA-2003, Requisitos para la recarga artificial de

acuíferos con agua residual tratada. Publicada el 18 de agosto de 2009. México.

- DOF (Diario Oficial de la Federación) (2009b). Norma Oficial Mexicana NOM-015-CONAGUA-2007, Infiltración artificial de agua a los acuíferos.- Características y especificaciones de las obras y del agua. Publicada el 18 de agosto de 2009. México.
- DOF (Diario Oficial De La Federación) (2012a). Lineamientos que establecen los criterios y mecanismos para emitir acuerdos de carácter general en situaciones de emergencia por la ocurrencia de sequía, así como las medidas preventivas y de mitigación, que podrán implementar los usuarios de las aguas nacionales para lograr un uso eficiente del agua durante sequía. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Publicado el 22 de noviembre de 2012.
- DOF (Diario Oficial de la Federación) (2012b). Decreto por el que se declara reformado el párrafo quinto y se adiciona un párrafo sexto recorriéndose en su orden los subsecuentes, al artículo 4o. de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. Publicado el 8 de febrero de 2012.
- DOF (Diario Oficial de la Federación) (2012c). Ley de Desarrollo Rural Sustentable. Publicada el 12 de enero de 2012. México. Pp. 68.
- DOF (Diario Oficial De La Federación) (2012d). Norma Oficial Mexicana NOM-001- CONAGUA-2011, sistemas de agua potable, toma domiciliaria y alcantarillado sanitario – hermeticidad - especificaciones y métodos de prueba. Publicada el 17 de febrero de 2012. México. Pp. 33-68.
- DOF (Diario Oficial De La Federación) (2012e). Norma Mexicana, NMX-AA-159-SCFI-2012, que establece el procedimiento para la determinación del caudal ecológico en cuencas hidrológicas. Publicada el 20 de septiembre de 2012. México.
- DOF (Diario Oficial de la Federación) (2012f). Acuerdo por el que se instruyen acciones para mitigar los efectos de la sequía que atraviesan diversas entidades federativas. Publicado el 25 de enero de 2012. México Pp. 3.
- DOF (Diario Oficial de la Federación) (2013a). Acuerdo General por el que se suspende provisionalmente el libre alumbramiento en las porciones no vedadas, no reglamentadas o no sujetas a reserva de los 175 acuíferos

que se indican (Continúa en la Cuarta Sección). Consultado: 25 de octubre de 2014.

- DOF (Diario Oficial de la Federación. Plan Nacional de Desarrollo (2013-2018) (2013b). Publicado el 20 de mayo de 2013. Disponible en: [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5299465&fecha=20/05/2013](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5299465&fecha=20/05/2013). Consultado: 25 de octubre de 2014.
- DOF (Diario Oficial de la Federación). (2013c). Acuerdo por el que se dan a conocer los estudios técnicos de aguas nacionales subterráneas del acuífero Península de Yucatán, Estados de Yucatán, Campeche y Quintana Roo. Clave 3105.
- DOF (Diario Oficial de la Federación) (2014a). Ley de Aguas Nacionales. Última reforma publicada el 11 de agosto de 2014. México. Pp. 109.
- DOF (Diario Oficial de la Federación) (2014b). Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas. Última reforma publicada el 11 de agosto de 2014. México. Pp. 69.
- DOF (Diario Oficial de la Federación) (2014c). Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Última reforma publicada el 4 de junio de 2014. México. Pp. 50.
- DOF (Diario Oficial de la Federación) (2014d). Ley de la Agencia Nacional de Seguridad Industrial y de Protección al Medio Ambiente del Sector Hidrocarburos. Publicada el 11 de agosto de 2014. México. Pp. 13.
- DOF (Diario Oficial de la Federación) (2014e). Ley General de Cambio Climático. Última reforma publicada el 7 de mayo de 2014. México. Pp. 45.
- DOF (Diario Oficial de la Federación) (2014f). Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Última reforma publicada el 16 de enero de 2014. México. Pp. 126.
- DOGEY (Diario Oficial del Gobierno del Estado de Yucatán) (1975). Ley sobre Abastecimiento de Agua Potable en el Medio Rural del Estado de Yucatán. Número 412. Publicada el 1 de diciembre de 1975. Yucatán, México. Pp. 17.
- DOGEY (Diario Oficial del Gobierno del Estado de Yucatán) (1985). Ley de Fraccionamientos del Estado de Yucatán. H. Congreso del Estado de Yucatán. Decreto número 307. Publicada el 26 de septiembre de 1985. Yucatán, México. Pp. 36.
- DOGEY (Diario Oficial del Gobierno del Estado de Yucatán) (1992). Ley Orgánica de la Junta de Agua Potable y Alcantarillado del Estado de

- Yucatán. H. Congreso del Estado de Yucatán. Decreto número 531. Última reforma 16 de marzo de 1992. Yucatán, México. Pp. 25.
- DOGEY (Diario Oficial del Gobierno del Estado de Yucatán) (1994). Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación del Agua en el Municipio de Mérida. Publicado el 29 de noviembre de 2004. Mérida, Yucatán, México. Pp. 8.
  - DOGEY (Diario Oficial del Gobierno del Estado de Yucatán (1999). Ley de protección civil del Estado de Yucatán. Publicado el 16 de agosto de 1999. Mérida, Yucatán, México.
  - DOGEY (Diario Oficial del Gobierno del Estado de Yucatán) (2004). Reglamento de Construcciones del Municipio de Mérida. Publicado el 14 de enero de 2004. Mérida, Yucatán, México. Pp. 88.
  - DOGEY (Diario Oficial del Gobierno del Estado de Yucatán) (2005). Reglamento de Protección al Ambiente y del Equilibrio Ecológico del Municipio de Mérida. Publicado el 15 de diciembre de 2005. Mérida, Yucatán, México. Pp. 34.
  - DOGEY (Diario Oficial del Gobierno del Estado de Yucatán) (2010) Ley de desarrollos inmobiliarios del Estado de Yucatán. Publicada: 7 de diciembre de 2010. Mérida, Yucatán, México.
  - DOGEY (Diario Oficial del Gobierno del Estado de Yucatán) (2012). Ley de Gobierno de los Municipios del Estado de Yucatán. H. Congreso del Estado de Yucatán. Última reforma 3 de enero 2012. Yucatán, México. Pp. 149.
  - DOGEY (Diario Oficial del Gobierno del Estado de Yucatán) (2013a). Ley de Desarrollo Rural Sustentable del Estado de Yucatán. H. Congreso del Estado de Yucatán. Publicada el 15 de Febrero de 2013. Yucatán, México. Pp. 78.
  - DOGEY (Diario Oficial del Gobierno del Estado de Yucatán) (2013b). Decreto que establece el Área Natural Protegida denominada Reserva Estatal Geohidrológica del Anillo de Cenotes. Publicado: 28 de octubre de 2013. Mérida, Yucatán, México.
  - DOGEY (Diario Oficial del Gobierno del Estado de Yucatán) (2013c). Ley de Hacienda del Municipio de Mérida, Yucatán. H. Publicada el 23 de diciembre de 2013. Yucatán, México. Pp. 141.
  - DOGEY (Diario Oficial del Gobierno del Estado de Yucatán) (2014a). Ley para la Gestión Integral de los Residuos en el Estado de Yucatán. H.

- Congreso del Estado de Yucatán. Última reforma publicada el 25 de abril de 2014. Yucatán, México. Pp. 65.
- DOGEY (Diario Oficial del Gobierno del Estado de Yucatán) (2014b). Ley de Protección al Medio Ambiente del Estado de Yucatán. H. Congreso del Estado de Yucatán. Última reforma publicada el 25 de abril de 2014. Yucatán, México. Pp. 80.
  - DOGEY (Diario Oficial del Gobierno del Estado de Yucatán) (2014c) Ley de desarrollos inmobiliarios del Estado de Yucatán. Última reforma: 21 de octubre de 2014. Mérida, Yucatán, México.
  - Duch-Gray J. (1991). Fisiografía del Estado de Yucatán. Primera edición. Universidad Autónoma de Chapingo, México. 229 pp.
  - Espejo W (2014). Coordinador Técnico. Junta de Agua Potable y Alcantarillado del Estado de Yucatán (JAPAY. Comunicación Personal.
  - Estrada-Medina H, Tuttle W, Graham RC, Allen MF y Jiménez-Osornio JJ (2010). Identification of underground karst features using ground-penetrating radar in northern Yucatán, México.
  - Estrela T. (2006). La gestión de las sequías en España. I.T. 74, pp 52-57. España.
  - García G, Castillo J, Huchin W, Estrada H, Salazar C, Pérez JR, Ortiz JJ y Tun J (2013). Geosistemas. En: García-Gil G y Sosa-Escalante J (Eds.). Ordenamiento Territorial del Estado de Yucatán, Visión 2030. Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, Yucatán, México.
  - García PA (2006). Sequías: Teoría y Prácticas. UPV. Valencia, España.
  - GEOSCOPIO (2014). Guía para la mitigación de los efectos de la sequía. Biblioteca virtual. Disponible en: <http://agua.geoscopio.com/medioambiente/temas/sequia/inventario.php>. Consultado: 19 de noviembre de 2014.
  - Gobierno del Estado de Yucatán (1981). Decreto número 531. Ley Orgánica de la Junta de Agua Potable y Alcantarillado del Estado de Yucatán.
  - Gobierno del Estado de Yucatán (2013). Plan Estatal de Desarrollo Yucatán 2012-2018. Consejo Estatal de Planeación de Yucatán. Gobierno del Estado de Yucatán. Mérida, Yucatán, México. Pp. 169.
  - Gutiérrez ME, Espinoza T (2010). Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático, diagnóstico inicial, avances vacíos y potenciales líneas de acción en Mesoamérica. Banco Interamericano de Desarrollo. Septiembre de 2010.

- Guttman NB (1999). Accepting the standardized precipitation index: a calculation algorithm. *Journal of the American Water Resources Association*, vol. 35, no. 2, pp. 311-322.
- HISPANAGUA (2014). La sequía en España. Indicadores de sequía. Disponible en: [http://hispagua.cedex.es/sites/default/files/especiales/sequia/indicadores\\_sequia.htm](http://hispagua.cedex.es/sites/default/files/especiales/sequia/indicadores_sequia.htm). Consultado el 16 de octubre de 2014.
- INDECI (Instituto Nacional de Defensa Civil) (2006). Manual Básico para la estimación del Riesgo. Dirección Nacional de Prevención (DINAPRE) 2006 Perú Cap.3 Pp. 16.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática) (2010) Censo de población y vivienda 2010: Mérida. México.
- JAPAY (Junta de Agua Potable y Alcantarillado del Estado de Yucatán) (2013). Directorio de infraestructura de 2013. Documento proporcionado por la JAPAY.
- JAPAY (Junta de Agua Potable y Alcantarillado del Estado de Yucatán) (2014a). Organigrama de la Junta de Agua Potable y Alcantarillado del Estado de Yucatán. Recuperado de: [www.japay.yucatan.gob.mx/conozca/organigrama.php](http://www.japay.yucatan.gob.mx/conozca/organigrama.php). Consultado: 19 de febrero de 2015.
- JAPAY (Junta de Agua Potable y Alcantarillado del Estado de Yucatán) (2014b) Certificación ISO 9001-2008. Disponible en: <http://www.japay.yucatan.gob>. Consultado el 28 de noviembre de 2014.
- Lechuga AJ, Rodríguez M y Lloveras MJ (2007). Análisis de los procesos para desalinización de agua de mar aplicando la inteligencia competitiva y tecnológica. *Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY*, 11-3, pp. 5-14.
- León Diez. C (2009). Guía de técnicas para la incorporación del análisis de riesgo en los ordenamientos ecológicos municipales y regionales. México 30 de septiembre 2009.pp. 76-80
- Lugo R (2013). Más allá del cuidado del agua. Disponible en: <http://www.am.com.mx/opinion/sanfrancisco/sistema-de-micromedicion-3029.html>. Consultado: 23 de febrero de 2014.
- Mckee TB, Doesken NJ, Kleist J. (1993). The relationship of drought frequency and duration of time scales. Eighth Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, Jan17-23, 1993, Anaheim CA, pp.179-186.



- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (2007). Sistema de Gestión del Plan Especial. En: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Plan especial de actuación en situaciones de alerta y eventual sequía en la cuenca hidrológica del norte. PMPMS 2007. Capítulo 7. Gobierno de España.
- Nabaltis I y G Tsakiris (2009). Assessment of hydrological drought revisited. *Water Resources Management*, vol 23, pp. 881-897.
- NADM (National Climate Data Center. North America Drought Monitor). (2013). Disponible en: <http://www.ncdc.noaa.gov/temp-and-precip/drought/nadm/nadm-maps.php>. Consultado: 18-Setiembre-2013.
- Olivares R (2010). Sistema de información de agua potable y saneamiento. Reflexiones en torno a un seminario de análisis. ANEAS. Septiembre de 2010.
- ONU (Organización de las Naciones Unidas) (2014). Decenio Internacional Para la Acción “El Agua Fuente de Vida” 2005-2015 .ONU. Consultado el 19 de septiembre de 2014 en [www.un.org/spanish/waterforlifedecade/](http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/). Consultado: 18 de febrero de 2015.
- Orellana R, Espadas C, Conde C y Gay C (2012). Atlas. Escenarios de cambio climático en la península de Yucatán. Problemas de desarrollo. *Revista Latinoamericana de Economía*, vol. 43, núm. 168, enero-marzo 2012, pp. 191-193.
- Pacheco J, Avila Calderon L, Rocher y Cabrera A (2004). Delineación de la zona de protección hidrológica para el campo de pozos de la planta Mérida I, en la ciudad de Mérida, Yucatán México. *Revista Facultad de Ingeniería UADY*. 8-1. 2004, pp 7-16.
- Palmer, W. C, 1965: Meteorological Drought. Res. Paper No.45, 58pp., Dept. of Commerce, Washington, D.C.
- PCYMA (Programa de Competitividad y Medio Ambiente) (2009). Repensar la cuenca. La gestión de ciclos del agua del valle de México. 2009. Disponible en: <http://cuencavalledemexico.com>. Consultado el 10 de diciembre de 2014.
- PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo) (2014). Índice de Desarrollo Municipal en México: nueva metodología. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. México. 104 pp.

- Por Esto (2014) Garantizan calidad del agua potable en Mérida. Disponible en: [http://www.poresto.net/ver\\_nota.php?zona=yucatan&idSeccion=1&idTitulo=234824](http://www.poresto.net/ver_nota.php?zona=yucatan&idSeccion=1&idTitulo=234824). Consultado: 29 de diciembre de 2014.
- PRONACOSE (Programa Nacional contra la sequía) (2014). Indicadores de Sequía por municipio en México. Disponible en: <http://www.pronacose.gob.mx/Contenido.aspx?n1=4&n2=16&n3=16>. Consultado: 19 de septiembre de 2014.
- Russel CS, Arey DG y Kates RW (1970). Drought and wáter supply. Johns Hopkins University Press. Baltimore (EE.UU.) 232 pp.
- Sánchez GV (2014). El agua que bebemos: la necesidad de un nuevo sistema de tarifas en España. Ed. Dykinson. Sexta edición. Madrid, España.
- SE (Secretaría de Economía) (2012). Proyecto de Norma Mexicana PROY-NMX-AA-168-SCFI-2012. Drenaje pluvial urbano. Especificaciones para el manejo de agua pluvial en zonas urbanas.
- Valiente OM. (2001). Sequía: Definiciones, Tipologías y Métodos de cuantificación. Investigaciones Geográficas No 26. Pp. 59-80.
- WaterAid (2013). Rainwater harvesting, technical brief. <http://www.wateraid.org/-/media/Publications/Rainwater-harvesting.pdf>.
- Waterfall PH (2004) Harvesting Rainwater for Landscape Use. Segunda edición. The University of Arizona, pp. 52.
- Wilhite, D.A. & Glantz, M.H. (1985) Understanding the drought phenomenon: The role of definitions, Water International, 10 (3), 111-120.